

М. М. ЩЕГОЛЕВ

ТОПЛИВО, ТОПКИ  
и  
КОТЕЛЬНЫЕ  
УСТАНОВКИ

МОСКВА · 1953

Проф. М. М. ЩЕГОЛЕВ

# ТОПЛИВО, ТОПКИ И КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

*ИЗДАНИЕ 4-е  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ*

*Д о п у щ е н о  
Министерством культуры СССР  
в качестве учебника по специальности  
„Тепло-газоснабжение и вентиляция“  
инженерно-строительных вузов*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ  
Москва — 1953



## Рецензенты:

кафедра теплотехники Ленинградского инженерно-строительного института  
и проф. д-р техн. наук *А. П. Ковалев*

Научный редактор канд. техн. наук *И. С. Мякишев*

В книге изложены все необходимые сведения, касающиеся котельных установок, вырабатывающих тепло для целей отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и производственных нужд.

Материал, помещенный в 4-м издании, обновлен, переработан и отражает последние достижения нашей отечественной теплотехники.

Книга является учебником по курсу «Топливо, топki и котельные установки» для студентов специальности «тепло-газоснабжение и вентиляция» строительных вузов и написана в соответствии с утвержденной программой.

## ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- ВТИ — Всесоюзный теплотехнический институт имени Ф. Э. Дзержинского.  
ЦКТИ — Центральный котлотурбинный институт имени И. И. Ползунова.  
ЦККБ — Центральное котельно-конструкторское бюро (в настоящее время включено в ЦКТИ).  
ТКЗ — Таганрогский котельный завод «Красный котельщик».  
ВНИИСТО — Всесоюзный научно-исследовательский институт санитарно-технического оборудования.  
ВНИИТ — Восточный научно-исследовательский институт топливоспользования.  
Оргэнерго — Всесоюзный государственный трест по рационализации энергохозяйства заводов и электростанций.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие . . . . .	7
Введение . . . . .	9

### Раздел первый

#### Топливо

<i>Глава I. Основные характеристики топлива . . . . .</i>	17
§ 1. Главнейшие виды топлива . . . . .	—
§ 2. Состав топлива . . . . .	18
§ 3. Кокс и летучие вещества . . . . .	22
§ 4. Зола и шлаки . . . . .	24
§ 5. Теплотворная способность топлива . . . . .	29
§ 6. Отбор средней пробы топлива . . . . .	41
§ 7. Зависимость между органическим составом, выходом летучих и теплотворной способностью . . . . .	45
<i>Глава II. Разновидности топлива . . . . .</i>	—
§ 8. Древесина . . . . .	—
§ 9. Торф . . . . .	51
§ 10. Ископаемый уголь . . . . .	54
§ 11. Сланцы . . . . .	59
§ 12. Нефтяные остатки . . . . .	60
§ 13. Газообразное топливо . . . . .	62
<i>Глава III Топливные ресурсы СССР . . . . .</i>	64
§ 14. Топливные эквиваленты . . . . .	—
§ 15. Топливные базы СССР и их запасы . . . . .	65
§ 16. Перспективы промышленного использования топлива . . . . .	66

### Раздел второй

#### Топки

<i>Глава IV. Основные характеристики процессов горения . . . . .</i>	68
§ 17. Общие понятия о котельной установке . . . . .	—
§ 18. Простейшая схема топочного устройства . . . . .	73
§ 19. Процесс горения . . . . .	—
§ 20. Значение толщины слоя топлива . . . . .	78
§ 21. Регулирование количества сжигаемого топлива . . . . .	81

§ 22. Необходимый расход воздуха . . . . .	85
§ 23. Объем продуктов сгорания газов . . . . .	88
§ 24. Определение количества окиси углерода в продуктах сгорания . . . . .	93
§ 25. Определение коэффициента избытка воздуха по составу газов . . . . .	97
§ 26. Определение состава и объема продуктов сгорания по заданным: составу рабочего топлива, коэффициенту избытка воздуха и химической неполноте сгорания . . . . .	99
§ 27. Определение элементарного состава газообразного топлива в процентах по весу . . . . .	104

## **Глава V. Баланс тепла котельной установки . . . . .** 106

§ 28. Теплосодержание газов . . . . .	—
§ 29. Общее уравнение баланса тепла . . . . .	110
§ 30. Тепло, полезно используемое установкой . . . . .	112
§ 31. Потеря тепла от механической неполноты сгорания . . . . .	117
§ 32. Потеря тепла от химической неполноты сгорания . . . . .	125
§ 33. Потеря тепла с отходящими газами . . . . .	127
§ 34. Потеря тепла в окружающую среду и с физическим теплом золы и шлака . . . . .	134
§ 35. Изменение отдельных составляющих теплового баланса в зависимости от форсировок . . . . .	137
§ 36. Условный коэффициент полезного действия топки . . . . .	138
§ 37. Коэффициент полезного действия котельной установки брутто и нетто . . . . .	139

## **Глава VI. Теплопередача в топке . . . . .** 144

§ 38. Теоретическая температура горения . . . . .	—
§ 39. Прямая отдача топки . . . . .	146
§ 40. Методы определения прямой отдачи . . . . .	151

## **Глава VII. Конструкции топок . . . . .** 158

### ***А. Простые решетки и шахтные топки . . . . .*** —

§ 41. Классификация топочных устройств . . . . .	—
§ 42. Топки для дров . . . . .	—
§ 43. Топки для торфа . . . . .	181
§ 44. Простые колосниковые решетки для сжигания антрацита и высокосортных углей с повышенным выходом летучих . . . . .	194
§ 45. Простые колосниковые решетки для сжигания многозольных углей . . . . .	206

### ***Б. Механические и камерные топки . . . . .*** 210

§ 46. Механические топки . . . . .	—
§ 47. Механические топки для отопительно-производственных котельных установок средней теплопроизводительности . . . . .	229
§ 48. Топки для сжигания пылевидного топлива . . . . .	236
§ 49. Топки для сжигания нефтяных остатков . . . . .	264
§ 50. Топки для сжигания газа . . . . .	273
§ 51. Эксплуатация отопительных котельных и автоматика при сжигании газа . . . . .	280

## Раздел третий

## Котельные установки

<b>Глава VIII. Котлы . . . . .</b>	<b>286</b>
§ 52. Общее понятие. Котлы паровые и водогрейные, их подразделение . . . . .	—
§ 53. Внешняя коррозия стенок водогрейных котлов и экономайзеров . . . . .	290
§ 54. Чугунные отопительные котлы устаревших конструкций . . . . .	293
§ 55. Чугунные отопительные котлы новейших систем . . . . .	298
§ 56. Этапы развития стальных котлов . . . . .	309
§ 57. Цилиндрические котлы . . . . .	311
§ 58. Жаротрубные котлы . . . . .	312
§ 59. Котлы с дымогарными трубами . . . . .	321
§ 60. Водотрубные котлы . . . . .	325
§ 61. Циркуляция паро-водяного потока в котлах . . . . .	326
§ 62. Горизонтально-водотрубные котлы . . . . .	332
§ 63. Вертикальные котлы . . . . .	343
§ 64. Вертикально-водотрубные котлы . . . . .	349
§ 65. Сепарация влаги из насыщенного пара . . . . .	372
§ 66. Прямоточный котел системы проф. Л. К. Рамзина . . . . .	375
§ 67. Котлы с многократной принудительной циркуляцией . . . . .	379
§ 68. Арматура паровых котлов . . . . .	381
<b>Глава IX. Пароперегреватели . . . . .</b>	<b>384</b>
§ 69. Конструкции пароперегревателей . . . . .	—
§ 70. Схемы включения пароперегревателей . . . . .	387
§ 71. Регулирование перегрева . . . . .	389
<b>Глава X. Водяные экономайзеры . . . . .</b>	<b>391</b>
§ 72. Особенности водяных экономайзеров и их расположение . . . . .	—
§ 73. Чугунные экономайзеры . . . . .	392
§ 74. Арматура экономайзера, обходной боров. ограничения для температур входящей и выходящей воды . . . . .	398
§ 75. Стальные экономайзеры . . . . .	399
§ 76. Особенности водотрубных водогрейных котлов . . . . .	401
<b>Глава XI. Воздухонагреватели . . . . .</b>	<b>410</b>
§ 77. Назначение воздухонагревателей . . . . .	—
§ 78. Конструкции воздухонагревателей . . . . .	412
<b>Глава XII. Очистка дымовых газов . . . . .</b>	<b>417</b>
§ 79. Влияние золы на работу котлоагрегата . . . . .	—
§ 80. Батарейные циклоны . . . . .	—
§ 81. Инерционные золоуловители ВТИ . . . . .	423
§ 82. Электрофильтры . . . . .	425
§ 83. Комбинированные золоуловители . . . . .	—
<b>Глава XIII. Изготовление котлов . . . . .</b>	<b>426</b>
§ 84. Материал для котлов . . . . .	—
§ 85. Расчет котлов на прочность . . . . .	429
§ 86. Расчет котельных барабанов . . . . .	—
§ 87. Расчет днищ . . . . .	434
§ 88. Расчет отверстий . . . . .	438
§ 89. Расчет жаровых труб . . . . .	439

## Раздел четвертый

## Тепловой и аэродинамический расчет котельной установки

<b>Глава XIV. Тепловой расчет</b> . . . . .	442
§ 90. Баланс тепла . . . . .	—
§ 91. Расчет газоходов паровых котлов . . . . .	445
§ 92. Расчет пароперегревателей . . . . .	457
§ 93. Расчет водяных экономайзеров . . . . .	459
§ 94. Расчет воздухоподогревателей . . . . .	461
§ 95. Расчет газоходов водогрейных котлов . . . . .	464
<b>Глава XV. Аэродинамический расчет</b> . . . . .	465
§ 96. Тяговое устройство . . . . .	—
§ 97. Газовые сопротивления установки . . . . .	468
§ 98. Общие указания и поправки к расчетам . . . . .	479
§ 99. Расчет дымовой трубы . . . . .	484

## Раздел пятый

## Подсобное оборудование котельных установок

<b>Глава XVI. Топливоподача и золоудаление</b> . . . . .	489
§ 100. Склады топлива . . . . .	—
§ 101. Схемы подачи топлива и удаления золы . . . . .	491
<b>Глава XVII. Трубопроводы котельных и питательные устройства</b>	
§ 102. Паропроводы . . . . .	497
§ 103. Питание паровых котлов низкого давления и водогрейных котлов . . . . .	500
§ 104. Питание паровых котлов с давлением более 0,7 атм . . . . .	502
<b>Глава XVIII. Водоподготовка</b> . . . . .	507
§ 105. Приготовление питательной воды . . . . .	—
§ 106. Нормы качества котловой воды . . . . .	508
§ 107. Содово-известковый способ водоподготовки . . . . .	510
§ 108. Водоумягчение методом катионирования . . . . .	513
§ 109. Фосфатирование питательной и котловой воды . . . . .	518
§ 110. Испарительные установки . . . . .	519
§ 111. Деаэрация питательной воды . . . . .	520
§ 112. Ступенчатое испарение . . . . .	522
§ 113. Внутрикотловая обработка воды . . . . .	524
§ 114. Термическая внутрикотловая обработка питательной воды . . . . .	529
§ 115. Термокатионитовый водоочиститель . . . . .	531
§ 116. Водоподготовка в отопительных системах с водяным теплоносителем . . . . .	537
<b>Глава XIX. Здания котельных и тепловой контроль за работой котельных установок</b> . . . . .	540
§ 117. Архитектурная компоновка . . . . .	—
§ 118. Основные внутренние габариты зданий котельных . . . . .	—
§ 119. Тепловой контроль за работой котельных установок . . . . .	541

<b>Рекомендуемая литература</b> . . . . .	544
---	-----

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс по топливу, топкам и котельным установкам предназначен для студентов, специализирующихся в области тепло-газо-снабжения и вентиляции.

Котельные установки, рассматриваемые в курсе, не предназначены для паросиловых станций, их назначение — давать тепло для нужд отопления, вентиляции и производственных потребителей.

Детальное рассмотрение вопросов построения и эксплуатации таких установок и составляет главнейшую задачу этой книги.

Необходимо подчеркнуть значение крупных квартальных или районных отопительно-производственных котельных установок. Только широкое их распространение и ликвидация индивидуальных котельных домового отопления даст возможность достигнуть экономии топлива, ввести механические топки, механизировать подачу топлива, удаление золы, организовать улавливание золы из отходящих газов, высвободить значительное количество рабочих и предельно облегчить труд обслуживающего персонала.

Директивы XIX съезда Коммунистической партии, определившие пути развития народного хозяйства на ближайшие годы, предусматривая внедрение высшей техники во все отрасли производства, конечно, распространяются и на область производства тепловой энергии. Нет сомнения, что после проведения в жизнь директив XIX съезда Коммунистической партии котлостроение для отопительно-промышленной энергетики поднимется на более высокую ступень развития.

В каком же направлении должна развиваться отопительно-котельная техника?

Необходимо продолжать изучение условий сжигания различных видов топлива и главным образом местного топлива, чтобы исключить его перевозку на сколько-нибудь значительное расстояние. Далее, путем создания рациональных конструкций паро-



вых и водогрейных котлов, а также прочего оборудования котельных следует стремиться предельно повышать их к. п. д.; необходимо также улучшить технику эксплуатации котельных установок и их контроля.

В отопительных котельных автоматизация процессов получения тепла и выдачи его в требующихся количествах потребителям пока освоена только в установках, работающих на газообразном топливе. Механизация процессов при работе на твердом топливе только еще начинает внедряться, поэтому комплексная механизация и автоматизация производственных процессов должны считаться первоочередной задачей.

В учебном плане специальности «Тепло-газоснабжение и вентиляция» основными профилирующими дисциплинами являются: топливо, топки и котельные установки, теплоснабжение, газоснабжение, отопление и вентиляция. Глубокое изучение этих дисциплин поможет выпускаемому инженеру отопителю овладеть специальностью и плодотворно работать, развивая далее прогрессивную советскую технику.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность профессорам докторам технических наук А. П. Ковалеву, А. К. Сильницкому, С. Н. Шорину, доцентам кандидатам технических наук Ю. Л. Гусеву, И. С. Мякишеву и Б. В. Степанову за ряд ценных указаний, сделанных при просмотре рукописи учебника.

---

## ВВЕДЕНИЕ

В 1765 г. русским механиком И. И. Ползуновым была построена первая паровая машина непрерывного действия, механическая работа которой могла использоваться на заводских предприятиях для облегчения труда рабочих и повышения производительности труда. Высоко образованный человек, хорошо знакомый с работами своего гениального современника М. В. Ломоносова, И. И. Ползунов созданием своей паровой машины опередил почти на 20 лет заграничные изобретения, в частности паровую машину Уатта, патент на которую был получен в 1784 г. Однако правящая верхушка феодально-крепостнической царской России не поняла значения гениального открытия И. И. Ползунова, и оно было забыто.

Иностранцы, занимавшие высокие посты в Академии наук и других учреждениях, не признавали и не ценили достижений нашей науки и техники, умышленно тормозили внедрение в жизнь новых открытий, а зачастую приписывали их себе.

В дальнейшем, с развитием в России капитализма, начала развиваться промышленность, однако тенденция недооценки своих творческих сил, преклонения перед заграничными авторитетами, зависимость от иностранного капитала, всячески тормозившего развитие отечественной промышленности, мешали прогрессу нашей науки и техники.

Великая Октябрьская социалистическая революция положила этому конец.

По инициативе В. И. Ленина был создан план ГОЭЛРО, сыгравший огромную роль в деле развития нашего народного хозяйства.

В годы сталинских пятилеток Коммунистическая партия и правительство неуклонно проводили политику индустриализации нашей страны.

Нет нужды доказывать, какую огромную роль в деле индустриализации играют энерговооруженность промышленности и механическая энергия — основной фактор, приводящий в движение многогранное сложнейшее оборудование, рожденное современной техникой.

Мощный подъем индустриализации промышленности и сельского хозяйства побудил перестроить котельную и топочную технику на новых основах с учетом максимального использования местного топлива.

В настоящее время на электростанциях СССР в отличие от капиталистических стран максимально используется местное топливо, на котором вырабатывается  $\frac{4}{5}$  всей электроэнергии.

Котлостроение в СССР по существу было создано заново.

Для мощных электростанций потребовались крупнейшие котлоагрегаты с высоким коэффициентом полезного действия (к. п. д.). Были созданы специализированные заводы, изготавливающие котельное оборудование.

Непосредственная творческая связь с заводами-изготовителями во многом способствовала успешной работе теплотехнических научно-исследовательских институтов: Всесоюзного теплотехнического института имени Ф. Э. Дзержинского, Центрального котлотурбинного института имени И. И. Ползунова, Энергетического института Академии наук СССР имени Г. М. Кржижановского и др.

Содружество научно-исследовательских институтов, проектных организаций и промышленности позволило в кратчайший срок догнать и перегнать зарубежное котлостроение.

Были созданы надежные в работе паровые котлы экранного типа, прямоточные котлы лауреата Сталинской премии Л. К. Рамзина, на изготовление которых требуется значительно меньше металла, чем для котлов прежних типов. Переход на топки для сжигания угольной пыли позволил использовать отбросы топливоперерабатывающих заводов и антрацитовые штыбы, получив при этом высокий к. п. д.; были освоены топки с жидким шлакоудалением, облегчающие эксплуатацию котлоагрегатов и очистку от золы уходящих газов.

Широкое распространение получили шахтно-цепные топки для торфа Т. Ф. Макарьева, топки для сжигания фрезерного торфа лауреата Сталинской премии А. А. Шершнева, шахтно-мельничные топки и т. п.

Научно-исследовательскими институтами изучены условия сжигания топлива, теплопередачи, циркуляции пароводяного потока, водный и паровой режимы котлов, детально разработан расчет на прочность котлоагрегатов и целый ряд других вопросов.

Для изучения процессов аэродинамики и теплопередачи котлоагрегата огромную роль сыграла теория моделирования, разработанная акад. М. В. Кирпичевым и его школой.

Эти исследования облегчили задачи проектирования простых и надежных котлоагрегатов высокого давления. Сжигание низкосортного влажного топлива вызвало необходимость применять для горения подогретый воздух с температурой до  $400^\circ$  и выше,

что в свою очередь потребовало новых конструктивных решений для пароперегревателей, водяных экономайзеров, воздухоподогревателей с целью увеличения коэффициентов теплопередачи и повышения температурного напора между греющей и нагреваемой средой.

Строительство современных паросиловых станций идет в двух направлениях — ЦЭС и ТЭЦ.

ЦЭС—конденсационная центральная электрическая станция—предназначается для выработки электрической энергии и строится по возможности в непосредственной близости к месту добычи топлива.

Это объясняется тем, что из себестоимости отпускаемой электроэнергии более 50% падает на расходы, связанные с приобретением топлива и его транспортированием. Поэтому понижение топливной слагающей сказывается на снижении стоимости отпускаемой электроэнергии с ЦЭС.

На такой станции обыкновенно концентрируется большая мощность, и станция предназначается для снабжения электроэнергией целого района. В подобных условиях возможно максимально механизировать процессы подачи топлива, золоудаления и пр.

Теплоэлектроцентрали строятся в непосредственной близости к промышленному комбинату или городу, с тем чтобы снабжать потребителя не только электрической энергией, но и теплом для целей отопления и нужд производства. Эта станция обладает весьма высоким к п. д., значительно превышающим соответствующий коэффициент ЦЭС, благодаря чему сильно снижается расход топлива.

Следует только отметить, что, располагая станцию в промышленном центре, необходимо обратить особое внимание на обезвреживание ее отходов, в первую очередь дымовых газов. Если, например, сжигаемое в таких условиях топливо имеет много золы и серы, то отходящие газы надо особенно тщательно очищать, чтобы они не загрязняли воздух. Связанные с этим дополнительные расходы на установку и эксплуатацию, однако, ни в какой степени не могут уничтожить преимущества теплоэлектростанции, как наиболее экономично работающей. Как правило, нужно стремиться строить только ТЭЦ.

Если радиус охвата электросетей, идущих от ТЭЦ, достигает 200—400 км, то предельный радиус тепловых сетей равен 15 км.

Ограниченность радиуса раздачи тепла от станции к потребителям вызывает ряд неудобств.

ТЭЦ приходится строить непосредственно в городе, что затрудняет подачу к ней топлива и золо-шлакоудаление.

Кроме того, одновременно в городе даже при наличии очистки отходящих газов ухудшаются санитарно-гигиенические условия. С целью ликвидации отмеченных затруднений поставлен вопрос

о строительстве ТЭЦ дальнего теплоснабжения городов с расположением станции на расстоянии до 100 км от города.

Являясь пионером в деле теплофикации, СССР в настоящее время стоит на первом месте по развитию централизованного теплоснабжения.

Необходимо отметить, что в ряду источников механической энергии (топливо, вода и ветер) топливу принадлежит первое место. Топливо содержит запас химической энергии, находящейся

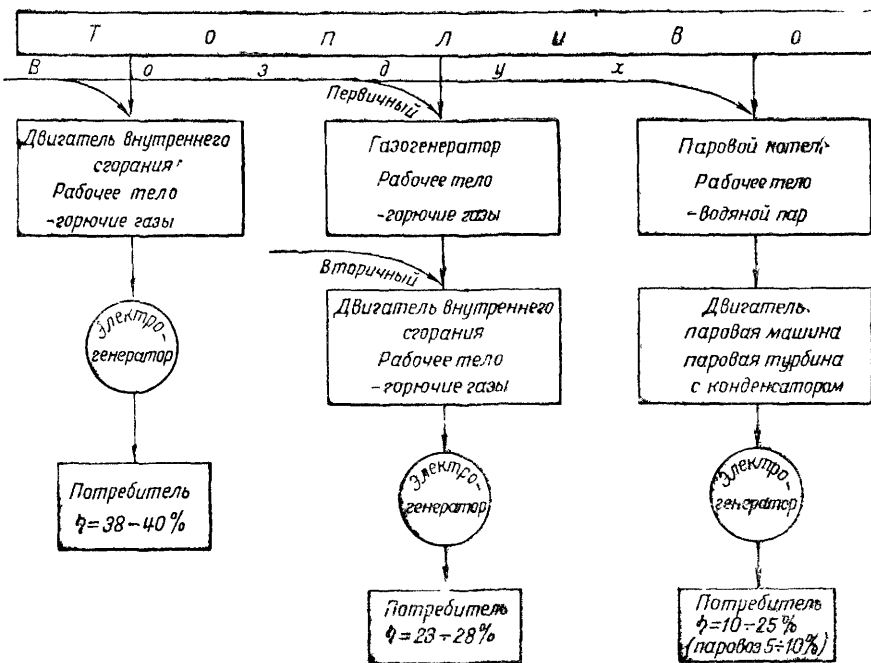


Рис. 1

в нем в потенциальном состоянии. В процессе сгорания, т. е. при реакции соединения горючих элементов топлива с кислородом воздуха, происходит преобразование химической энергии в тепловую. В итоге этой реакции получают газы, тепло которых и используется далее для получения механической энергии. Эта трансформация энергии может осуществляться по трем основным схемам (рис. 1).

Наиболее простой является схема *I*. топливо, смешиваясь с воздухом, сгорает непосредственно в самом двигателе, в результате чего образуются газы с высокой температурой и давлением, тепловая энергия которых и преобразуется в механическую работу. По такому принципу работают двигатели внутреннего сгорания и газовые турбины. Топливом в подобных случаях является нефть или продукты ее перегонки.

В случаях использования твердого кускового топлива схема получения механической энергии усложняется (рис. 1, схема *II*); дополнительно устанавливается газогенератор, в котором топливо сначала газифицируется, а затем уже направляется в двигатель внутреннего сгорания или газовую турбину.

*И*, наконец, наиболее сложным путем протекает трансформация энергии по схеме *III* с включением промежуточного рабочего тела — водяного пара. Здесь химическая энергия топлива преобразуется в тепловую энергию продуктов горения, тепло которых далее используется для получения водяного пара в паровом котле. Из котла пар идет в паровую машину или турбину, где тепловая энергия его преобразуется в механическую работу. Пар далее направляется в конденсатор, где обращается в воду и насосом перекачивается опять в котел.

Исторически машины-двигатели начали строиться и внедряться в промышленность по схеме *III*, так как общее развитие техники в то время позволило конструктивно оформить лишь паровой поршневой двигатель. Создание двигателей по схемам *I* и *II* задерживалось, так как получаемые при этом высокие температуры газов требовали большой точности изготовления машин и применения специальных металлов. Это не обеспечивалось машиностроительной промышленностью того времени.

В настоящее время используются все три схемы одновременно, но для промышленного получения электроэнергии схема *III* имеет преимущественное распространение. Это объясняется тем, что хотя экономичность паросиловых установок несколько и ниже (см. рис. 1), чем двигателей, работающих по первым двум схемам, но они позволяют использовать все виды топлива, включая и низкосортное местное. Кроме того, паровые двигатели более надежны в длительной эксплуатации и позволили создать более компактные паротурбогенераторы большой мощности. В СССР строятся турбины мощностью до 150 000 квт.

Следует отметить, что наблюдающаяся в настоящее время тенденция дальнейшего повышения начального давления и температуры перегрева пара приближает экономичность паросиловых установок к двигателям, работающим по первой схеме.

В СССР в настоящее время поставлен вопрос о создании тепло-электростанций, которые по своей экономичности перекроют все мировые достижения. Предусматривается повышение давле-



ния пара до 185—300 *ати* при температуре перегрева пара 550° с доведением к. п. д. станции до 39%.

Большие перспективы открываются в области применения схемы II с использованием подземной газификации угля, на возможность чего впервые указал еще Д. И. Менделеев, а впоследствии эту идею энергично поддержал В. И. Ленин.

Коэффициент полезного действия каждой из трех рассмотренных выше схем получения механической энергии может быть зна-

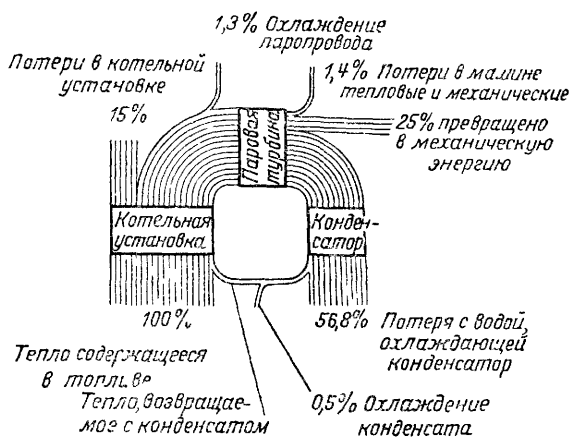


Рис. 2

чительно повышен при использовании низкопотенциального тепла в установке.

В двигателях внутреннего сгорания можно использовать тепло выхлопных газов и воды, охлаждающей их цилиндры (тогда использование топлива значительно повышается). Приходится только снабжать установку дополнительным оборудованием, которое при малых мощностях сильно ее усложняет. По этим причинам использование тепловых отбросов в устройствах этого типа распространяется сравнительно медленно. Гораздо проще и эффективнее можно использовать тепловые отбросы в случаях получения механической энергии по схеме III.

Распределение расходов тепла в паровой установке конденсационного типа, работающей без использования тепловых отбросов, изображено на рис. 2. Размер отдельных потерь будет меняться в зависимости от индивидуальных особенностей установки, но порядок цифр сохранится. Наибольшие размеры приобретает потеря с водой, охлаждающей конденсатор. Почти 60% тепла, вносимого с топливом, расходуется на нагревание воды, перекачиваемой через

конденсаторы и далее выбрасываемой опять в ту же реку или озеро, откуда она забиралась насосами центральной электрической станции. Количество этой воды примерно в 60 раз превышает расход пара на турбину, причем температура воды по выходе из конденсаторов не превышает 23—30°.

Если заставить турбину работать с давлением пара на выходе более 1 *ати*, не устанавливая конденсатора, то удельный расход пара на получение механической работы сильно возрастет. Из того

же количества пропущенного через турбину пара будет выработано меньше электроэнергии, но зато весь отработавший в турбине пар, имеющий температуру более 100°, можно будет использовать на нужды производственных процессов, отопления и т. п. В таком случае к. п. д. установки в целом сильно возрастет (до 70% и выше). Подобные

станции, расходующие много пара и вырабатывающие относительно немного электрической энергии, получают распространение в местах расположения сетей высокого напряжения, связывающих в кольцо ряд районных электростанций. Режим работы такой станции

определяется тепловым графиком, а получаемая электроэнергия направляется в общую сеть. Если электроэнергию в общую сеть передать нельзя, а промышленный комбинат должен иметь свою тепловую и электрическую энергию, на станции устанавливают турбины с промежуточным отбором, т. е. часть пара пропускают через конденсатор, а из турбины производят отбор пара требуемых параметров для производственных целей или отопления. Распределение по количеству пара, идущего в конденсатор и отбираемого на нужды теплоснабжения, производится в зависимости от теплового и силового графиков. Чем больше тепловой энергии потребляет промышленный комбинат, тем меньше получается так называемый конденсационный хвост и тем выше будет к. п. д. установки.

Таким образом, схемы паровых установок с использованием отработавшего тепла располагаются по своей экономичности между двумя крайними пределами (рис. 3): от чисто конденсационной установки, работающей с минимальным к. п. д., до установки без конденсатора с полным использованием тепла, к. п. д. которой достигает предельных значений. В середине помещается установка с отбором пара, причем чем больше этот отбор, тем выше к. п. д.

Когда станция располагается непосредственно на месте добычи топлива, например, на торфяном болоте, где нет потребителей

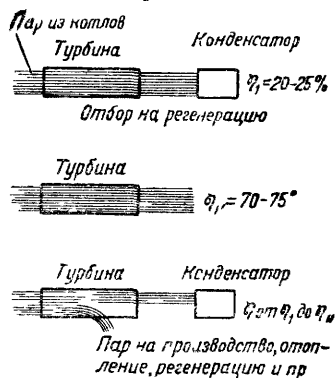


Рис. 3

тепловой энергии, то количество отбираемого пара достигает минимальных значений и он расходуется только на регенерацию, т. е. на подогрев питательной воды, направляемой из конденсаторов обратно в котлы. Но даже и это мероприятие, заставляя работать турбину по регенеративному циклу, повышает экономический к. п. д. на 6—10%.

Отдельные заводы и поселки, не нуждающиеся в большом количестве тепловой энергии для технологических процессов и еще не охваченные теплофикационной сетью, ток получают от районных электростанций, а теплом снабжаются от собственных котельных.

Условия социалистического хозяйства предоставляют широкие возможности для укрупнения котельных и присоединения к одной котельной ряда объектов, потребляющих тепловую энергию, расходуемую на производственные цели, отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение целых кварталов. Укрупнение котельных позволяет в больших масштабах использовать новейшее оборудование и механизацию, что дает возможность добиться большой экономии топлива при меньшем количестве обслуживающего персонала.

Проектирование, монтаж и эксплуатация таких котельных, в том числе и заводских, должны возлагаться на инженеров-отопителей как работников, наилучшим образом ориентированных в характерных особенностях режима работы потребителей тепловой энергии.

К сожалению, еще не везде четко представляют себе значение и задачи инженера-отопителя, вследствие чего нередко даже крупные отопительные котельные проектируются недостаточно продуманно и на эксплуатацию их не обращается должного внимания.

В результате такого отношения к отопительным котельным в практике эксплуатации даже заводских котельных часто наблюдается значительный пережог топлива.

Отопительные установки имеют много специфических особенностей, отличающих их от котельных паросиловых станций. Это обстоятельство отражено и в данной книге, направленной в основном на детальное ознакомление с относительно мелкими агрегатами.

## ТОПЛИВО

## Глава I

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВА

## § 1. ГЛАВНЕЙШИЕ ВИДЫ ТОПЛИВА

По определению Д. И. Менделеева, «топливом называется горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения тепла».

Общезвестны основные разновидности топлива—дрова, торф, уголь, сланцы, нефтяные остатки, газ. Все они представляют собой органические соединения, способные при высоких температурах вступать в реакцию с кислородом воздуха, при чем происходит выделение тепла. Существует немало реакций, протекающих с выделением тепла, однако в качестве топлива применяются наиболее дешевые и удобные для сжигания реагенты. Топливо добывается в большом количестве, запасы его в природе весьма значительны. Требующийся для реакции кислород берется из окружающего воздуха. В результате реакции получают сильно нагретые газообразные продукты сгорания, тепло которых используется в котельной установке. Охлажденные газы через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу.

Для сжигания может использоваться как естественное топливо, так и искусственное, полученное после переработки естественного топлива с целью выделения из него ценных продуктов, к которым относятся смолы, бензины, бензолы, минеральные смазочные масла, краски, фармацевтические продукты, серноокислый аммоний, идущий для нужд сельского хозяйства, и др. Ниже приводится главнейший перечень разновидностей естественного и искусственного топлива.

Естественное топливо	Искусственное топливо
Древесина	Древесный уголь
Торф	Торфяной кокс
Бурые угли	Каменноугольный кокс и полукокс
Каменные угли	Брикеты из отходов твердого и жидкого топлива
Антрациты	Мазут, бензин, керосин
Сланцы	Генераторные газы, газ коксо- совальных печей, доменный газ и пр.
Нефть	
Природный горючий газ	

## § 2. СОСТАВ ТОПЛИВА

Топливо, расходуемое на сжигание в топках котлов или печей, называется рабочим топливом. Если мы отберем пробу рабочего топлива и исследуем ее в химической лаборатории, определив элементарный состав, то получим следующее равенство:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_n^P + A^P + W^P = 100\%, \quad (1)$$

где индексом „р“ отмечается рабочее топливо.

Эта характеристика рабочего состава топлива дается в процентах к весу. Указанные элементы не являются механической смесью, они находятся в топливе в виде сложных соединений.

Горючими элементами топлива являются  $C^P$ ,  $H^P$  и  $S_n^P$  — углерод, водород и летучая горючая сера — в отличие от серы негорючей, входящей в состав минеральных негорючих примесей топлива, образующих после его сжигания золу  $A^P$ . Чем больше процентное содержание горючих элементов в топливе, тем выше его теплотворная способность — величина, указывающая количество больших калорий, выделяемых при сжигании 1 кг топлива.

$O^P$  — кислород, находящийся в топливе; тепла, как известно, не выделяет.

$N^P$  — азот, находящийся в топливе; элемент инертный, не участвующий в реакциях горения. Из топлива азот попадает в отходящие газы и примешивается к азоту воздуха, подаваемого для горения. Азот и кислород называются внутренним балластом топлива в отличие от балласта внешнего, к которому относятся зола и влага.

Зола  $A^P$  — это негорючая минеральная часть топлива; в нее входят по преимуществу соли щелочных и щелочно-земельных металлов, окислы кремния, железа, алюминия и пр., а также и минеральная сульфатная сера в соединениях  $CaSO_4$  и  $MgSO_4$ .

Накопление золы в ископаемом топливе происходит не сразу, а в три периода. Сначала появляется так называемая зола внутренняя (первичная), находившаяся в растениях, послуживших материалом для образования торфяников, а впоследствии и угольных пластов. Затем количество золы в топливе увеличивается за счет заноса земли и песка ветром и водой (вторичная зола). И, наконец, зола в топливо попадает при его добыче от загрязнения породой (третичная зола).

Общая сера, находящаяся в топливе, разбивается на две части — горючую и негорючую  $S_n^P = S_n^P + S_k^P$ .

Минеральная сера входит в состав золы, а летучая в свою очередь может быть расчленена на две составляющие:

$$S_n^P = S_n^P + S_k^P,$$

где  $S_o^p$  — органическая сера, входящая в состав основного ядра топлива, его материнского вещества;

$S_k^p$  — сера колчеданная, находящаяся в соединении с железом ( $FeS_2$  — серный колчедан), вкрапленная в топливо до известной степени случайно и в значительной степени поддающаяся отбору при сортировке топлива.

Сера в топливе, невзирая на то, что часть ее сгорает, считается примесью нежелательной, так как продукты ее сгорания вредно действуют на котельную установку и загрязняют окружающий воздух.

Влага в топливе  $W^p$  — также примесь балластная, ее наличие особенно сильно сказывается в смысле снижения теплового эффекта горения, так как мало того, что вода своим присутствием уменьшает долю горючих элементов в единице веса топлива, она при горении топлива испаряется, отнимая на это часть тепла реакции.

Находящаяся в топливе влага подразделяется на внешнюю и гигроскопическую. Находясь в сухом месте, топливо теряет внешнюю влагу и называется в таком случае воздушносухим. Оставшаяся часть влаги — гигроскопическая — удаляется из пробы топлива лабораторным путем.

Кроме рабочего топлива, т. е. состава, характеризующего данное топливо при его загрузке в топку, при изучении структуры топлива приходится пользоваться также искусственно созданными производными этого основного состава, лишая их того или иного элемента. Так, исключая из рабочего состава влагу, можно получить характеристики сухого вещества топлива по выражению

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S_a^c + A^c = 100\% \quad (2)$$

Зная состав рабочего топлива, этот пересчет сделать нетрудно. Если из 100 вес. ч. топлива выкинуть проценты, выражающие влажность, то оставшееся количество весовых частей каждого элемента будет относиться уже не к 100, а к  $100 - W^p$ . Если хотят произвести пересчет опять в отношении к 100, то, очевидно, проценты состава каждого элемента надо сначала отнести к единице, разделив на  $100 - W^p$ , и затем умножить на 100. Формула пересчета примет вид:

$$C^c = C^p \frac{100}{100 - W^p}; \quad H^c = H^p \frac{100}{100 - W^p} \quad (3)$$

и т. д.

Зольность топлива принято считать на безводное топливо, т. е. на сухую массу, иначе могут получиться ошибочные представления о его засоренности.



**Пример 1.** От двух торфяных болот были отобраны пробы торфа, химической лабораторией произведен анализ, в результате которого выяснился приводимый ниже рабочий состав топлива (в %).

Наименование элемента	Первая проба	Вторая проба
C <sup>P</sup>	26,9	37,4
H <sup>P</sup>	2,6	3,9
O <sup>P</sup>	18,0	19,9
N <sup>P</sup>	1,2	2,0
S <sub>л</sub> <sup>P</sup>	0,2	0,2
A <sup>P</sup>	6,1	6,0
W <sup>P</sup>	45,0	30,0
Итого . . .	100	100

Определить, в какой пробе торф более зольный. Разная степень влажности каждой из отобранных проб дает сбивчивые указания на зольность; эта характеристика выясняется вполне отчетливо при пересчете на сухой состав:

для первой пробы

$$A^c = A^P \frac{100}{100 - W^P} = 6,1 \frac{100}{100 - 45} = 11,1\%$$

для второй пробы

$$A^c = A^P \frac{100}{100 - W^P} = 6,6 \frac{100}{100 - 30} = 9,4\%$$

Влага и зола, являясь примесями балластными и внешними, в количественном отношении сильно колеблются даже для одного и того же рода топлива. Примесь влаги зависит от рода топлива и методов его добычи, транспортирования, хранения на складе и пр. Количество золы тоже непостоянно; для углей оно зависит от характера пласта, оборудования шахт, а также от способов обогащения (сортировок, моек и пр.).

Зольность торфа зависит от способа добычи. Довольно устойчивая зольность дров увеличивается для сплавных дров по сравнению с дровами сухопутной доставки. Поэтому влага и зола, а также и колчеданная сера не могут служить характеристикой основной структуры исследуемого топлива — его органической части. Класс, например, угля, его геологическое происхождение, качество основной органической части определяются после отделения внешнего балласта и серы. Серу органическую отделять не

следовало бы, но аналитически такое деление серы летучей горючей на две составляющие — органическую и колчеданную — химические лаборатории начали производить сравнительно недавно. Поэтому в органический состав топлива вводят только углерод, водород, кислород и азот, отделяя влагу, золу и летучую серу:

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100; \quad (4)$$

более точно:

$$C^o + H^o + O^o + N^o + S^o = 100. \quad (4')$$

Пересчеты элементарного состава топлива с одной массы на другую производятся по формулам, аналогичным уже приведенной формуле (3).

Например:

$$C^o = C^p \frac{100}{100 - (A^p + W^p + S_n^p)};$$

$$O^o = O^c \frac{100}{100 - (A^c + S_n^c)}$$

и т. д.

Чтобы лучше выявить средневзвешенные величины, характеризующие состав топлива определенного месторождения, необходимо отобрать большое количество проб и сделать сотни анализов. Только обрабатывая цифры, полученные в результате столь значительного количества анализов, можно будет с большей или меньшей вероятностью судить о качестве данного топлива, добываемого из пласта, рудника, болота и пр. Большинство анализов топлива, которыми располагают лаборатории, дает возможность определить не органическую структуру, а беззольно-безводный состав, или так называемую горючую массу топлива:

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S_n^r = 100. \quad (5)$$

Если анализов на органический состав мало и по ним рискованно судить о структуре топлива, то вместо органического состава пользуются весьма близко примыкающей к нему характеристикой горючей массы.

**Пример 2.** Состав горючей массы подмосковного угля следующий (в %)

$$C^r = 67,0$$

$$H^r = 5,0$$

$$N^r = 1,3$$

$$O^r = 20,8$$

$$S_n^r = 5,9$$

---


$$100,0$$

Определить состав рабочего топлива при влажности  $W^P = 33\%$  и зольности на сухое вещество  $A^C = 31\%$ .

В первую очередь надо пересчитать зольность сухого вещества на рабочее топливо

$$A^P = A^C \frac{100 - W^P}{100} = 31 \frac{100 - 33}{100} = 20,8\%$$

Затем подсчитывают внешний балласт топлива:

$$B = A^P + W^P = 20,8 + 33 = 53,8\%$$

после чего можно подсчитать состав рабочего топлива, пользуясь формулами

$$C^P = C^r \frac{100 - (A^P + W^P)}{100} = 67,0 \frac{100 - 53,8}{100} = 67,0 \cdot 0,462 = 31,0\%$$

Аналогично находят:

$$H^P = 5,0 \cdot 0,462 = 2,3;$$

$$O^P = 20,8 \cdot 0,462 = 9,6;$$

$$N^P = 1,3 \cdot 0,462 = 0,6;$$

$$S_{II}^P = 5,9 \cdot 0,462 = 2,7;$$

$$A^P + W^P = 53,8,$$

Составляющие рабочего состава топлива в сумме равны 100%

### § 3. КОКС И ЛЕТУЧИЕ ВЕЩЕСТВА

Если твердое топливо нагревать без доступа воздуха, то оно распадается на две части: летучие вещества и твердый остаток — кокс (рис. 4). В летучие вещества переходят испаряющаяся из топлива влага, кислород, азот в виде сложных соединений с другими элементами, летучая сера, водород как в чистом виде, так и в соединениях с углеродом в виде различных углеводородов. В коксе остаются часть углерода и зола. Практически процесс коксования идет несколько сложнее, и в твердом остатке, кроме углерода и золы, обнаруживаются и другие элементы, но в незначительном количестве. Лабораторное определение выхода летучих должно проводиться в строго определенных стандартных условиях, иначе нельзя получить сравнимых величин.

Навеску топлива в 1 г помещают в фарфоровый или кварцевый тигель, перекрывающийся крышкой, чтобы предотвратить горение навески. Тигель помещают в электропечь, где и выдерживают в продолжении 7 мин. при температуре 850°. Убыль веса, выраженная в процентах к весу навески топлива, после вычитания содержания влаги топлива в процентах и дает значение выхода горючих летучих.

Количество летучих в топливе обозначается аналогично с составом топлива в процентах к весу рабочего топлива или горючей массы и пр. ( $V^P$ ,  $V^r$  и т. д.).

В составе летучих веществ и кокса находятся горючие элементы, поэтому каждая из двух частей топлива горит, но условия их

сжигания весьма различны. Характеристика топлива по выходу летучих накладывает отпечаток на конструкцию топки и методы ее эксплуатации. При сжигании в топках твердого кускового топлива процесса выхода летучих в его чистом виде не происходит, так как к топливу все время подводятся новые порции воздуха; однако свежезаброшенное топливо в первую очередь начинает по большей части бурно газифицировать, и затем процессы горения и газификации идут одновременно. Если, например, взять дрова — топливо с очень высоким выходом летучих (более 80% от веса топлива), то при сжигании их на колосниковой решетке конструктор должен озаботиться должным развитием объема топочного пространства, в котором будут сгорать горючие летучие вещества (рис. 12). Весь воздух, требующийся для горения как кокса на решетке, так и летучих веществ в топочном пространстве, подводится обычно через поддувало и колосниковую решетку. Таким образом, значительная часть воздуха, направляясь в топочное пространство, пройдет через колосники и слой топлива транзитом. Этот воздух будет охлаждать колосники и лежащий на них слой топлива, поэтому при сжигании дров колосники не будут сильно нагреваться и могут быть простой формы.

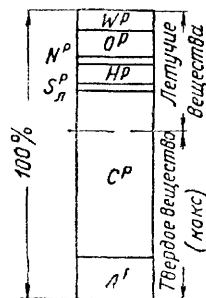


Рис. 4

Совершенно иная картина получается при сжигании антрацита — топлива с минимальным выходом летучих (около 4%). В этом случае через слой топлива почти не требуется пропускать транзитного воздуха для сжигания летучих веществ и не будет наблюдаться того охлаждения слоя, которое получалось при дровах. В результате этого колосники при сжигании антрацита сильно греются и часто перегорают.

Свойство топлива распадаться при нагревании на летучие вещества и твердый осадок (кокс) используется в промышленности для получения угля из дерева, кокса из каменного угля и торфа. Особенно большое значение имеет спекающийся кокс каменного угля, так как он обладает большой механической прочностью и используется в доменных печах и вагранках.

Однако не всякий уголь дает кокс в виде плотных и монолитных брусков. Имеется целый ряд ископаемых топлив, дающих в процессе перегонки кокс в виде сыпучего горошка; такое топливо, если оно к тому же имеет незначительный выход летучих, а следовательно, из него невозможно получить большое количество смолы или других продуктов перегонки, идет на цели сжигания и называется энергетическим.

Необходимо особо подчеркнуть, что принципиально наиболее рациональным использованием ископаемого топлива, запасы ко-

торого вообще ограничены, является предварительная его сухая перегонка с получением побочных высокоценных продуктов и затем уже сжигание. Практически пока это положение выполняется преимущественно в отношении топлива с повышенным процентом выхода летучих.

Образцами энергетического топлива являются антрациты и тощие угли, обладающие рассыпающимся коксом при малом выходе летучих, но в то же время выделяющие большое количество тепла при их сжигании. Указанные выше разновидности коксовой массы — спекающаяся и сыпучая — являются как бы границами для промежуточных стадий коксующести. Например, имеются угли, кокс которых слипается, но легко разрушается от незначительных усилий, у других углей кокс принимает вспученную форму с оплавлением только внешних поверхностей и т. п. Характер кокса топлива играет большую роль в топочных процессах. Если сжигается на колосниковой решетке топливо, кокс которого распадается на мелкие частицы (примером может служить тощий уголь), то такое топливо может давать большой вынос несгоревших мельчайших частиц кокса в котельные газоходы, где температурные условия уже таковы, что сгореть эти частички не смогут, а будут уноситься в дымовую трубу или осаждаться в нижних частях газоходов и в дальнейшем удаляться вместе с золой. Наоборот, топливо, дающее спекающийся кокс, образует при сжигании сверху слоя корочку, предохраняющую от уноса мелкие частицы. В топках, сильно форсируемых, т. е. выделяющих большое количество калорий на квадратной единице площади горения, вследствие больших скоростей воздуха и газов, проходящих через слой топлива, унос особенно велик. Сюда относятся паровозные топки, при эксплуатации которых иногда к углю, имеющему сыпучий кокс, прибавляют небольшое количество спекающегося угля. Например, к подмосковному углю добавляют донецкий уголь марки ПЖ или ПС. Спекающийся уголь сжигают также в кузнечных горнах; получающаяся сверху корка способствует образованию в очаге равномерно распределенных высоких температур.

#### § 4. ЗОЛА И ШЛАКИ

Как уже указывалось, минеральные примеси, находящиеся в топливе, при сжигании последнего образуют золу, которая аналогично с коксом может получаться в виде сыпучей массы или сплавленных пластин и кусков, называемых шлаком.

Зольность топлива определяется в лабораториях путем прокаливании навески мелко раздробленного топлива весом 1—2 г в фарфоровых тиглях, причем в отличие от определения выхода летучих в данном случае надо обеспечить присутствие кислорода в процессе прокаливании, чтобы избежать частичного коксования

навески. По разности веса до и после прокаливания судят о зольности топлива. Необходимо отметить некоторую условность подобной характеристики зольности, так как в процессе озоления происходят химические реакции между отдельными минеральными примесями, входящими в состав золы, причем при этих реакциях может, например, произойти утяжеление золы, так как во вновь образующиеся соединения войдет кислород окружающего воздуха или часть элементов улетучится и т. п. Поэтому, чтобы получить сравнимые характеристики по зольности, необходимо процесс получения золы вести в строго стандартных условиях. Открытую фарфоровую чашечку помещают в электрический муфель, где минеральное топливо прокаливают при температуре  $800^{\circ}$ , а мазут, дрова и растительные отходы — при  $500^{\circ}$ . Озоление навески ведется медленно, в течение 2 час., и без появления пламени.

Большие расхождения между лабораторной и истинной зольностью получаются при озолении навески сланцев. Карбонаты кальция и магния ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) при нагревании разлагаются с образованием  $\text{CO}_2$ , вследствие чего вес лабораторной золы резко уменьшается. Для этого топлива лаборатория дает поправку к полученной зольности на разложение карбонатов.

При теплотехнических испытаниях часто составляют так называемые золовые балансы. Определяя путем взвешивания количество золы, остающейся на колосниковой решетке и в поддувале, и зная из анализа топлива вес золы, приходящийся на 1 кг сожженного топлива, выясняют количество золы, вынесенной в газоходы котла и дымовую трубу. Тут возможны ошибки. В золе в процессе прокаливания происходят химические реакции, и она обладает способностью выделения летучих, причем выход летучих увеличивается с повышением температуры. Так как температура шлакообразования в топке превышает  $1000^{\circ}$ , а лабораторная зола образуется при температуре  $800^{\circ}$ , то вес лабораторной золы получается больше. В особенности эти расхождения могут достигать больших значений при бурых углях и сланцах, зола которых содержит значительное количество кальция и серы.

Зола топлива, сжигаемого на колосниковой решетке, в большинстве случаев плавится, затем по мере стекания вниз и удаления от зоны высоких температур остывает, затвердевает и образует довольно пористые шлаки. Иногда зола бывает настолько легкоплавка, что не затвердевает даже по выходе из зоны высоких температур слоя топлива; тогда эта плотная тестообразная масса, забивая отверстия в колосниковой решетке, служащие для прохода воздуха, увеличивает газовое сопротивление топки, обволакивает часть кусков топлива и затрудняет их сжигание. Кроме того, легкоплавкий шлак трудно удалить из топки, не прихватив заодно и горящий уголь. При сжигании пылевидного топлива в



случаях, если конструкция котла и топки не учитывает легкоплавкости шлаков, расплавленная масса золы может забить проход газов между трубками котла; она нарастает в виде сталактитов, висящих над топочным пространством, удаление которых сопряжено со значительными трудностями. Налипание расплавленных масс шлака на кирпичную обмуровку топки вызывает обычно ухудшение работы топки и необходимость в более частом ремонте, так как при отбивании прикипевшего шлака часто откалывается и разрушается кирпичная кладка топки. Разрушение кладки возможно также вследствие химического воздействия горячего шлака. Места кладки, в которых наблюдается подобное ошлакование, стараются защищать поверхностями, охлаждаемыми водой (экранами), при устройстве которых прилипание шлака уменьшается.

Степень легкоплавкости золы сильно зависит от ее состава. Например, зола древесного топлива вовсе не шлакуется, а зола торфа шлакуется, и часто попадает торф с такой легкоплавкой золой, что очень усложняется эксплуатация топок.

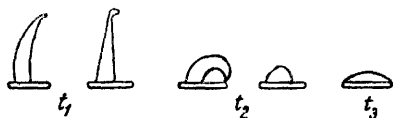


Рис. 5

Поведение золы в топке имеет решающее значение при выборе типа топки и ее конструктивных деталей. Особенно с

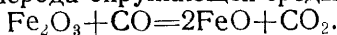
этим приходится считаться при сжигании твердого топлива под крупными котлами, оборудованными слоевыми или камерными топками, когда вследствие высоких форсировок и относительно слабого охлаждения топочного факела поверхностями нагрева котла и экранов в топке развиваются весьма высокие температуры. Поэтому в настоящее время химические топливные лаборатории подробно изучают золу и шлаки различных топлив, вырабатывая стандартные методы исследования плавления.

При лабораторных исследованиях золы на плавкость в особую электропечь помещают несколько выполненных из исследуемой золы пирамид «конусов» высотой 20 мм со стороной основания 7 мм. Одна из граней пирамиды должна быть перпендикулярна основанию.

При сжигании твердого кускового топлива шлакообразование происходит в полувосстановительной газовой среде, поэтому при лабораторных исследованиях золы на плавкость среду, в которой расплавляется сформированный из золы «конус», составляют из газов, в состав которых входят главным образом  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ , при полном отсутствии кислорода.

Расплавление золы в этой среде по сравнению с средой полного сгорания дает понижение температуры плавления главным образом за счет образования легкоплавкой закиси железа  $\text{FeO}$ ,

выделяемой в результате реагирования находящейся в золе окиси железа с окисью углерода окружающей среды по формуле



При дальнейшей реакции FeO с кремнеземом создаются наиболее легкоплавкие соединения.

При пылевидном сжигании топлива условия шлакообразования видоизменяются, так как имеется избыток кислорода и зола становится более тугоплавкой.

В процессе постепенного нагревания пирамидок в электрической печи отмечают три момента (рис. 5):

1) температура начала деформации  $t_1$ , которую определяют в момент закругления или наклона вертушки пирамиды;

2) температура размягчения  $t_2$  — фиксируется в момент, когда верхушка пирамиды наклонится до основания или же пирамида превратится в шар;

3) жидкоплавкое состояние и температура, ему соответствующая,  $t_3$  — наступает в момент, когда содержимое пирамиды растечется по основанию.

В табл. 1 приводятся характеристики плавления золы, полученные топливной лабораторией ВТИ для ряда топлив СССР.

При рассмотрении табл. 1 обращают на себя внимание низкие цифровые значения температуры размягчения золы, т. е. того момента, когда шлаки начинают приобретать тестообразное состояние и могут забивать междутрубное пространство при сжигании под водотрубными котлами пылевидного топлива или, нарастая на стенки обмуровки, затруднять чистку топок, снижать их мощность и т. п.

Эта характерная особенность топлив СССР заставила теплотехников искать собственные пути в развитии топочной техники и создать оригинальные конструкции топок, коренным образом отличные от заграничных образцов. В частности экранные котлы, дающие максимальное снижение температуры в топке, оказались особенно уместными для наших условий работы. Например, при сжигании угольной пыли под котлами большой мощности практически оказалось, что топку следует сильно экранировать даже для такого топлива, как подмосковный уголь, температура плавления золы которого не так уж низка.

Следует также отметить резкие колебания температуры начала деформации для торфа (от 800 до 1410°); это обстоятельство побуждает предварительно изучать торфяники, предназначенные для обслуживания строящейся котельной установки; температурная характеристика золы получаемого торфа должна находить отражение в проекте топочных устройств.

Объемный вес удаляемых из котельной отходов равен: золы — 600 кг/м<sup>3</sup>, шлаков — до 900 кг/м<sup>3</sup>.

## Характеристики кокса, а также золы на плавкость для ряда топлив СССР

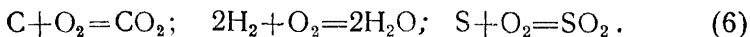
Район месторож- дения	Наименование месторож- дения	Марка и сорт	Обо- значе- ние	Характеристика кокса	Плавкость золы								
					средняя			пределы колебаний					
					$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_1$	$t_2$	$t_3$			
Донецкий бассейн	Газовый	Г	Спекшийся сплавленный Порошкообраз- ный или слабо спекшийся Порошко- образный	1050	1150	1220	950—	1200	1000—	1300	1050—	1370	
	Тощий	Т		1060	1150	1220	1000—	1150	1050—	1300	1150—	1350	
	Антрацит	А		1080	1180	1280	900—	1200	1000—	1350	1100—	> 1450	
Кузнец- кий бассейн	Кемеров- ское	Паровичный спекаю- щийся	К, ПС СС	1080	1180	1230	1000—	1150	1060—	1300	1100—	1350	
	Анжеро- Судженское	То же	ПС	1150	1340	1440	1050—	1200	1200—	1500	1250—	> 1500	
Подмосковный бассейн	Бурый	Б	Порошко- образный	1350	1500	> 1500	1000—	> 1500	1050—	> 1500	1100—	> 1500	
Урал	Челябин- ское	Бурый	Б	Порошко- образный	1050	1150	1220	1000—	1150	1100—	1350	1150—	1400
	Кизилос- ское	Парович- ный жир- ный	ПЖ, СС	1150	1400	1450	980—	1470	1150—	> 1500	1200—	> 1500	
	Егоршин- ское	Антрацит	А	От порошко- образного до спекшегося и слабо спекшегося Порошко- образный	> 1500	—	—	1370—	> 1500	1450—	> 1500	> 1500	
Торф кусковой и фрезерный				Порошко- образный	1070	1150	1200	800—	1400	900—	> 1500	1010—	> 1500

В настоящее время у нас в СССР разработаны и начинают получать распространение топки для сжигания пылевидного топлива, конструкция которых обеспечивает создание соответствующих температурных условий для удаления из топки шлака в жидком состоянии.

Чтобы получить требуемые температуры в различных пунктах топочной камеры, уже недостаточно данных, приводимых в табл. 1. Необходимо дополнительное изучение изменения вязкости шлака в зависимости от температурных условий с выявлением температуры так называемого ликвидуса, при которой в шлаке начинают выделяться кристаллы. С образованием кристаллов увеличивается вязкость шлака и затрудняется его вытекание из находящейся в нижней части топочной камеры лётки.

### § 5. ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОПЛИВА

Как уже указывалось, горючими элементами в топливе являются углерод С, водород Н и летучая горючая сера S. Элементарно их горение может быть представлено следующими уравнениями:



В процессе горения горючих элементов топлива выделяется при сжигании 1 кг:

углерода . . . . .	7 854	ккал/кг	
серы . . . . .	2 181	"	
водорода . . . . .	34 180	"	(при ус-
			ловии образова-
			ния воды, а не
			водяного пара,
			в противном случае —
			28 905 ккал/кг)

Если предположить, что элементы, входящие в состав топлива, находятся в нем в виде механической смеси, то теплотворная способность топлива может быть подсчитана как сумма на основании сведений о сгорании горючих элементов.

Однако определение теплотворной способности подобными методами дает значительное расхождение с действительной теплотворной способностью, определенной методом калориметрирования. Происходит это вследствие того, что нельзя топливо рассматривать как механическую смесь отдельных элементов. Молекулы топлива имеют весьма сложное строение, и в процессе горения происходит химическое разложение молекул с затратой на эти процессы тепла.

Таким образом, зная элементарный состав топлива, его теплотворную способность можно только приблизительно определить

по эмпирическим формулам; из них наиболее точная принадлежит Д. И. Менделееву и выражается так:

$$Q_b^p = 81C^p + 300H^p - 26(O^p - S_b^p) \text{ ккал/кг.} \quad (7)$$

Непосредственное определение теплотворной способности топлива производится путем сжигания навески топлива в атмосфере кислорода.

Для этих целей служит так называемая калориметрическая бомба, представляющая собой толстостенный сосуд, в котором помещается топливо и нагнетается кислород до давления в 25—30 ати.

Бомба (рис. 6) имеет емкость около 300 см<sup>3</sup> и выполняется из кислотоупорной стали. В крышке бомбы располагаются краны для подвода кислорода и выпуска сгоревших газов. Подвод кислорода производится по трубке в нижнюю часть бомбы; отводятся газы сверху. С крышкой бомбы соединяется стержень, к которому прикрепляется платиновая или кварцевая чашечка, в нее помещают навеску твердого топлива или наливают жидкое. Стержень и трубка, подводящая кислород, образуют электрическую цепь с топливом, причем стержень электрически изолируется от тела бомбы. По цепи пропускается электрический ток. Замыкание цепи производится стальной тонкой проволокой.

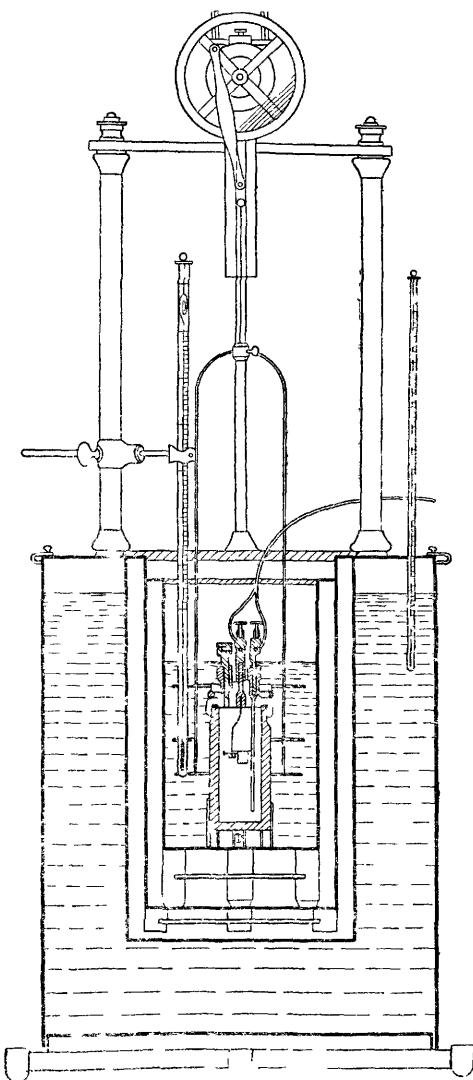


Рис. 6

Навеску твердого топлива берут равной 0,8—1,5 г, жидкого — 0,6—0,8 г. Из навески твердого топлива часто образуют брикетик, в который и впрессовывается замыкающая сеть запальная проволока, сгорающая при пропускании через нее электрического тока напряжением 12—15 в. Проволока, сгорая, поджигает и навеску топлива. Небрикетирующееся топливо (антрацит, тощий уголь, сланцы, очаговые остатки) сжигают в порошкообразном виде. Запальную проволоку изгибают так, чтобы она соприкасалась с топливом (с порошком твердого топлива или с жидким топливом).

Бомбу погружают в сосуд, наполненный водой и имеющий емкость 2 000—2 500 см<sup>3</sup>. Этот калориметр в свою очередь помещают в металлический футляр с двойными стенками, пространство между которыми заполняют водой. Этот футляр в значительной степени защищает калориметр от теплообмена с окружающей средой.

Калориметр снабжают особыми мешалками, приводимыми в движение от электродвигателя и служащими для выравнивания температуры воды.

Комната для калориметрирования должна быть обособленной, окна по возможности выходить на север, чтобы избежать воздействия лучей солнца.

После того как в бомбу положена навеска топлива и впущен кислород с давлением до 25—30 *ати*, через электрическую цепь пропускается ток, запальная проволока и навеска сгорают. Выделяющееся тепло нагревает воду калориметра; повышение температуры воды отмечается по специальному термометру с точностью до 0,001°.

Деления термометра рассматривают через оптическую трубу, прочно прикрепленную к штативу, чем исключается возможность известных индивидуальных ошибок в определении отметки стояния ртути.

В топливе и в баллоне с кислородом, откуда последний поступает в бомбу, имеется некоторое количество азота, способствующее образованию в бомбе азотной кислоты; точно так же летучая сера сгорает в присутствии воды в серную кислоту. Образование этих кислот сопровождается тепловыделением, которое нужно подсчитать и вычесть из полученной теплотворной способности, так как в эксплуатационной практике сжигания топлива таких кислот не образуется. Вода, образующая кислоты, получается в бомбе за счет конденсации водяных паров; чтобы полностью обеспечить растворение кислот, в бомбу наливают 10 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

При сгорании навески топлива тепло воспринимается не только водой калориметра, но и всей установкой, состоящей из калориметрического сосуда с налитой в него водой, мешалки, термометра и бомбы с ее содержимым. Теплоемкости отдельных частей разные, поэтому предварительно бомбу тарируют, сжигая в ней ве-

щество, теплотворная способность которого точно известна и не изменяется. При этом опыте выясняется водный эквивалент бомбы, т. е. тепловосприятие всех перечисленных частей установки заменяется тепловосприятием эквивалентного весового количества воды. В качестве вещества, сжигаемого при тарировке, обычно используется навеска бензойной кислоты.

Калориметр, находясь в комнате, даже без сжигания топлива в зависимости от температурных условий будет отдавать или воспринимать тепло окружающей среды. Поэтому разность температур, найденная в интервале от начала сжигания до конца повышения температуры воды в калориметре, еще не будет характеризовать теплотворную способность топлива. Надо ввести поправку на теплообмен прибора с окружающей средой, так как за это время он в свою очередь мог отдавать или воспринимать тепло. Систематически записывая температуру воды в течение некоторого времени до опыта, во время опыта и после, можно получить эту поправку. Поправка определится на основании выявления величины изменения температуры воды в калориметре только вследствие воздействия с окружающей средой. Зная вес запальной проволоки и ее теплотворную способность, можно внести поправку и на горение проволоки.

В итоге теплотворная способность топлива по бомбе определяется следующей формулой:

$$Q_6 = \frac{K[(t_n + h) - (t_0 + h_0) + \Delta t] - \Sigma qb}{a} \text{ кал/г,} \quad (8)$$

где  $Q_6$  — теплотворная способность по бомбе аналитической пробы в кал/г;

$a$  — вес навески топлива в г;

$K$  — водный эквивалент калориметра в г;

$t_n$  — конечная температура воды после сжигания пробы в град.;

$t_0$  — начальная температура воды перед сжиганием в град.;

$h$  и  $h_0$  — поправки к показаниям термометров (по тарировочным графикам) в град.;

$b$  — вес запальной проволоки в г;

$q$  — теплота горения запала; принимается: для стальной проволоки — 1 600 кал/г, для никелиновой — 775 кал/г, для бумажной швейной нити — 4 000 кал/г;

$\Sigma qb$  — сумма теплоты горения запала при применении проволоки с ниткой в кал.;

$\Delta t$  — поправка на теплообмен прибора с окружающей средой в град.

Азот в калориметрическую бомбу попадает вместе с кислородом из баллона, а также из навески топлива. В результате окисле-

ния азота кислородом при наличии воды образуется азотная кислота.

Основываясь на результатах многолетних опытов, А. И. Карелин предложил следующую эмпирическую формулу поправки на образование азотной кислоты в заданных условиях:

$$Q_N = 0,0015Q_6 \text{ кал/г.} \quad (9)$$

Поправка утверждена соответствующим ГОСТ.

При сжигании горючей серы, находящейся в топливе, образуется  $SO_2$  и при наличии воды — серная кислота  $H_2SO_4$ . На каждый грамм летучей серы, находящейся в топливе, при образовании серной кислоты выделяется 2 250 кал, или на 1% — 22,5 кал. Таким образом, поправка на образование серной кислоты может быть выражена так:

$$Q_s = 22,5S_n \text{ кал/г.} \quad (10)$$

Вычитая из величины теплотворной способности, полученной по бомбе, затраты тепла на образование кислот, определяют теплотворную способность топлива по так называемому высшему пределу:

$$Q_b = Q_6 - 0,0015Q_6 - 22,5S_n \text{ кал/г.} \quad (11)$$

Если производилось определение теплотворной способности рабочего топлива, то можно написать

$$Q_b^p = Q_6^p - 0,0015Q_6^p - 22,5S_n^p \text{ ккал/кг.} \quad (12)$$

При экспериментальном определении теплотворной способности топлива путем калориметрирования пары воды, получившиеся в результате реакции сгорания, конденсируются на относительно холодных стенках бомбы, возвращая скрытую теплоту парообразования. Поэтому теплотворная способность топлива, определенная в калориметрической бомбе, будет выше того количества тепла, которое можно реализовать в практических условиях сжигания топлива в топках котлов или печей.

Связь между теплотворной способностью по высшему и низшему пределам, учитывая потерю скрытой теплоты парообразования, может быть определена следующим образом.

Весовое количество водяных паров, образовавшееся в результате горения водорода, подсчитывается умножением веса водорода, находящегося в 1 кг топлива  $\left(\frac{H^p}{100}\right)$  [см. формулу (1)], на 9, так как при сгорании 1 кг водорода образуется 9 кг воды. Сюда прибавляется вес воды  $\left(\frac{W^p}{100}\right)$ , находящейся в топливе и испарившейся при его сгорании. Цифровое значение скрытой теплоты парообразования должно приниматься с учетом парциального



давления водяных паров в отходящих газах и округленно принимается равным 600 ккал/кг.

Теплотворная способность рабочего топлива определяется по формуле

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_{\text{в}}^{\text{р}} - 600 \left( \frac{9H^{\text{р}} + W^{\text{р}}}{100} \right) = Q_{\text{в}}^{\text{р}} - 6(9H^{\text{р}} + W^{\text{р}}) \text{ ккал/кг.} \quad (13)$$

Теплотворная способность газообразного топлива также может определяться в бомбе, но технически такой способ получается сложным, и для исследований часто пользуются калориметрами специально приспособленными для сжигания газа.

Взаимный пересчет теплотворной способности одного состава топлива на другой производится аналогично с пересчетами элементарного состава, только необходимо учитывать затрату тепла на испарение воды.

**Пример 3.** Теплотворная способность горючей массы антрацита, считая по высшему пределу, равняется  $Q_{\text{в}}^{\text{г}} = 8140$  ккал/кг.

Состав горючей массы:  $C^{\text{г}} = 93,8\%$ ;  $H^{\text{г}} = 1,95\%$ ;  $S_{\text{д}}^{\text{г}} = 2,0\%$ ;  $N^{\text{г}} = 1,2\%$ ;  $O^{\text{г}} = 1,05\%$ .

Определить низшую теплотворную способность сухой массы и рабочего топлива если известен балласт  $A^{\text{с}} = 9,7\%$ ,  $W^{\text{р}} = 5,5\%$ .

$$Q_{\text{н}}^{\text{г}} = 8140 - 54 \cdot 1,95 = 8035 \text{ ккал/кг,}$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 8035 \frac{100 - 9,7}{100} = 7256 \text{ ккал/кг,}$$

$$A^{\text{р}} = 9,7 \frac{100 - 5,5}{100} = 9,2\%;$$

$$B = A^{\text{р}} + W^{\text{р}} = 9,2 + 5,5 = 14,7\%;$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 8035 \frac{100 - 14,7}{100} - 6 \cdot 5,5 = 6821 \text{ ккал/кг.}$$

Теплотворную способность рабочего топлива также можно получить из следующего выражения:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_{\text{в}}^{\text{г}} \frac{100 - B}{100} - 6(9H^{\text{р}} + W^{\text{р}});$$

$$H^{\text{р}} = H^{\text{г}} \frac{100 - B}{100} = 1,95 \frac{100 - 14,7}{100} = 1,66\%.$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 8140 \frac{100 - 14,7}{100} - 6(9 \cdot 1,66 + 5,5) = 6821 \text{ ккал/кг.}$$

Как отмечалось ранее, теплотворная способность топлива может быть точно определена только путем сжигания средней пробы топлива в калориметре.

## Характеристики твердого и жидкого топлива

№ п/п	Район месторождения	Наименование месторождения	Сорт и марка	Рабочая масса топлива								тепло- творная способ- ность $Q_{Д}^P$ в ккал/кг	Выход лету- чих $V^P$ в %
				с о с т а в в %									
				влага $W^P$	зола $A^P$	с е р а		$C^P$	$H^P$	$N^P$	$O^P$		
		$S_K^P$	$S_O^P$										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

## Искапаемые угли

1	Донецкий бассейн		Д	12,0	19,8	2,1	1,6	51,1	3,7	1,1	8,3	4 900	43,0
2	То же		Г	8,0	14,7	1,9	1,4	62,2	4,2	1,2	6,4	5 900	39,0
3	"		ПЖ	6,0	18,8	2,8	0,8	62,5	3,8	1,1	4,2	5 980	32,0
4	"		Т	4,5	15,3	1,1	0,7	72,1	3,4	1,2	1,7	6 600	12,0
5	"		АМ	5,0	13,3	1,0	0,6	76,4	1,5	0,8	1,4	6 510	4,0
6	"		и АС										
7	"		АШ	7,0	20,4	1,1	0,6	67,2	1,3	0,7	1,7	5 710	4,0
8	"		АРШ	6,0	16,9	1,2	0,6	71,6	1,4	0,8	1,5	6 110	4,0
9	"		п/п мокр. п/п сух.	7,0 4,0	41,8 33,6	2,6 3,5	0,6 0,7	40,9 51,5	2,8 3,1	0,9 1,0	3,4 2,6	3 850 4 900	30,0 25,0
10	Кузнецкий бас- сейн . . . . .	Анджеро-Суд- женское	ПС	6,0	12,2	0,6		74,4	3,5	1,6	1,7	6 780	15,0
11	То же	Ленинское	Г	8,5	10,1	0,6		67,5	4,7	2,2	6,4	6 390	39,0
12	"	Кемеровское	К, ПС, СС	9,0	14,5	0,5		69,3	3,3	1,5	1,9	6 060	26,0
13	"	Араличевское	Т	7,0	15,0	0,5		69,4	3,2	1,6	3,3	6 320	10,0
14	Карагандинский бассейн		ПЖ/ПС	7,5	25,0	0,8		57,3	3,5	1,0	4,9	5 355	28,0
15	То же		Б	26,0	18,5	0,6		41,6	2,6	0,5	10,2	3 575	40,0
16	Подмосковный бассейн		Б	32,5	23,6	1,4	1,2	29,4	2,2	0,6	9,1	2 540	45,0

№ п/п	Район месторождения	Наименование месторождения	Сорт и марка	Рабочая масса топлива									Выход лету- чих $V^r$ в %
				с о с т а в в %								тепло- творная способ- ность $Q_{H_2}^p$ в ккал/кг	
				влага $W^p$	зола $A^p$	с е р а		$C^p$	$H^p$	$N^p$	$O^p$		
$S_k^p$	$S_o^p$	9	10			11	12					13	14
17	Урал . . . . .	Кизеловское	ПЖ, СС	6,0	28,2	3,6	1,9	51,3	3,7	0,9	4,4	5 030	40,0
18	"	Богословское	Б	29,0	14,2	0,3		39,8	2,5	0,7	13,5	3 310	45,0
19	"	Челябинское	Б	17,0	26,6	0,7	0,5	40,6	2,9	1,0	10,7	3 660	43,0
20	"	Егоршинское	А	5,0	21,8	0,4		65,9	2,6	1,0	3,3	5 810	9,0
21	Печорский бас- сейн . . . . .	Воркутское	ПЖ	8,0	21,2	0,4	0,5	60,2	3,7	1,6	4,4	5 670	30,0
22	Красноярский край . . . . .	Канский бассейн	Б	33,0	10,7	0,3	0,2	40,6	2,8	0,7	11,7	3 430	48,0
23	Хакасская авто- номная область	Минусинское	Д	13,0	10,4	0,1	0,4	59,8	4,2	1,7	10,4	5 570	42,0
24	Иркутская область	Черемховское	Д	12,0	15,0	0,4	0,6	56,9	4,2	1,2	9,7	5 330	45,0
25	Читинская область	Тарбагатайское	Б	25,0	11,3	0,3	0,6	47,1	3,3	0,9	11,5	4 200	43,0
26	То же	Арабагарское	Б	27,5	14,5	0,2	0,5	41,2	2,8	0,8	12,5	3 580	42,0
27	"	Черновское	Б	33,0	7,4		0,4	44,7	3,0	0,8	10,7	3 920	42,0
28	"	Букачачинское	Г	8,0	9,2		0,6	67,8	4,6	0,9	8,9	6 350	38,0
29	Бурят - Монголь- ская АССР . . .	Гусино-Озерское	Б	21,0	15,8		0,6	47,4	3,2	0,6	11,4	4 230	43,0
30	Хабаровский край	Кивдинское	Б	37,0	13,2		0,1	35,4	2,1	0,6	11,6	2 840	43,0
31	То же	Райчихинское	Б	40,0	7,2		0,2	37,2	2,3	0,5	12,6	3 010	43,0
32	"	Бурейское	Г	8,0	27,6		0,3	52,1	3,9	1,3	6,8	4 950	41,0
33	Приморский край	Сучанское	ПЖ	7,0	21,9		0,4	60,9	3,5	1,0	5,3	5 610	29,0
34	То же	"	Г	7,0	30,7		0,5	52,1	2,7	0,9	6,1	4 750	35,0

№ п/п	Район месторождения	Наименование месторождения	Сорт и марка	Рабочая масса топлива								тепло- творная способ- ность $Q_{\text{D}}^{\text{P}}$ в ккал/кг	Выход лету- чих $V^{\text{Г}}$ в %
				с о с т а в в %									
				влага $W^{\text{P}}$	зола $A^{\text{P}}$	с е р а		$C^{\text{P}}$	$H^{\text{P}}$	$N^{\text{P}}$	$O^{\text{P}}$		
$S_{\text{K}}^{\text{P}}$	$S_{\text{O}}^{\text{P}}$												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
35	Приморский край	Артемовское	Б	28,0	18,0	0,3		38,6	3,1	0,8	11,2	3 410	49,0
36	То же	Тавричанское	Б	13,0	21,8	0,5		48,2	3,6	1,1	11,8	4 400	45,0
37	"	Ворошиловское	СС	5,0	42,8	0,2		43,8	2,9	0,5	4,8	4 090	27,0
38	Украинская ССР	Александрйское	Б	55,0	10,8	0,5	1,2	22,2	2,0	0,3	8,0	1 780	57,0
39	Грузинская ССР	Ткварчельское	ПЖ	8,0	12,0	0,2	0,8	67,2	4,5	1,3	6,0	6 400	35,0
40	То же		ППМ	9,0	35,5	1,8	0,4	43,9	3,3	0,9	5,2	4 150	40,0
41	"	Тквибульское	Г	11,0	22,2	0,7	0,7	51,8	3,8	1,0	8,8	4 800	41,0
42	Казахская ССР	Берчогурское	Г	6,0	47,0	2,2	0,6	34,3	3,0	0,7	6,2	3 260	47,0
43	То же	Ленгеровское	Б	27,0	14,6	1,0	0,8	43,5	2,9	0,6	9,6	3 870	39,0
44	Узбекская ССР	Ангренское	Б	35,0	13,0	0,3	0,7	39,0	2,0	0,5	9,5	3 190	37,0
45	Киргизская ССР	Кизил Кийское	Б	27,0	11,7	1,2	0,4	46,0	2,6	0,6	10,5	4 010	38,0
46	То же	Сулюктинское	Б	21,0	11,9	0,6	0,1	51,7	2,7	0,5	11,5	4 410	36,0
47	"	Кок-Янгакское	СС	10,0	18,0	1,4	0,4	56,2	3,6	0,7	9,7	5 130	37,0
48	"	Таш-Кумырское	СС	9,0	11,8		0,5	62,5	3,9	1,0	11,3	5 730	37,0
49	"	Шурабское	Б	26,0	12,6	0,4	0,4	47,8	2,1	0,5	10,2	3 950	35,0
50	Остров Сахалин (Север) . . . .	Мгачинское	Д	7,0	8,4	0,2		67,8	5,3	1,3	10,0	6 295	47,0
51	То же	Октябрьское	К	4,0	11,5	0,4		74,4	4,3	1,7	3,7	7 040	23,0
52	Остров Сахалин (Юг) . . . . .	—	Д	10,0	16,2	0,4		56,8	4,4	1,2	11,0	5 370	46,0
53	То же	—	Г	8,0	9,2	0,3		68,3	5,0	1,7	7,5	6 540	40,0

№ п/п	Район месторождения	Наименование месторождения	Сорт и марка	Рабочая масса топлива								тепло- творная способ- ность $Q_H^D$ в ккал/кг	Выход лету- чих $V^Г$ в %
				с о с т а в в %									
				влага $W^D$	зола $A^D$	с е р а		$C^D$	$H^D$	$N^D$	$O^D$		
$S_K^D$	$S_O^D$												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

## Горючие сланцы

54	Эстонская ССР	Кява 2, Кукуруза, Вивиконд и др.	—	13,5	39,8+ +14,7*	1,2	0,4	23,6	3,0	0,1	3,7	2 330	80,0
55	Ленинградская область . . . . .	Гдовское	—	11,5	45,7+ +16,4*	0,9	0,3	19,4	2,5	0,1	3,2	1 880	80,0
56	Куйбышевская об- ласть . . . . .	Кашпирское	—	19,0	45,2+ +9,7*	1,4	2,0	16,0	1,9	0,3	4,5	1 500	70,0
57	Саратовская об- ласть . . . . .	Савельевское	—	20,5	46,1+ +8,0*	1,0	1,9	15,5	1,9	0,3	4,8	1 460	70,0

## Прочие твердые топлива

58	Коксик . . . . .	Крупностью 15-25 мм	—	15,0	11,0	0,7	70,7	0,4	0,9	1,3	5 610	4,0
59	Коксовая мелочь	Крупностью 0-15 мм	—	18,0	16,4	1,0	60,4	1,3	1,0	1,9	5 040	8,0
60	Торф . . . . .	Кусковой	—	40,0	6,6	0,2	30,9	3,2	1,3	17,8	2 560	70,0
61		Фрезерный	—	50,0	5,5	0,1	25,7	2,7	1,1	14,9	2 030	70,0
62	Дрова . . . . .	—	—	40,0	0,6	—	30,3	3,6	0,4	25,1	2 440	85,0
63	Древесный уголь	—	—	6,0	2,8	0,2	80,2	3,2	0,4	7,2	7 090	15,0

№ п/п	Район месторождения	Наименование месторождения	Сорт и марка	Рабочая масса топлива								тепло- творная способ- ность $Q_H^D$ в ккал/кг	Выход лету- чих $V^D$ в %
				с о с т а в в %									
				влага $W^D$	зола $A^D$	с е р а		$C^D$	$H^D$	$N^D$	$O^D$		
$S_K^D$	$S_O^D$												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

## Суррогаты твердого топлива

64	Одубина . . . . .	—	—	65,0	1,7	0,1	17,2	2,0	0,3	13,7	1 125	75,0
65	Солома . . . . .	—	—	10,0	4,5	0,1	42,8	5,3	0,5	36,8	3 750	—
66	Подсолнечная лузга . . . . .	—	—	15,0	2,4	0,2	42,5	4,9	0,4	34,6	3 685	80,0

## Жидкое топливо

67	Мазут . . . . .	Малосернистый 40**	—	3,0	0,2	0,6	84,7	10,8	0,7	9 420	—
68	.	Многосернистый 40**	—	3,0	0,3	3,1	82,5	10,6	0,5	9 280	—

\* Первое слагаемое — зола  $A^D$ , второе — минеральная углекислота  $(CO_2)_M^D$ .

\*\* Марка мазута.

Примечания. 1. Марки углей: А — антрацит; Б — бурый уголь; СС — слабо спекающийся уголь; ППМ — промежуточный продукт мокрого обогащения; ППС — промежуточный продукт сухого обогащения; п/п мокр. — промышленный продукт мокрого обогащения; п/п сух. — промышленный продукт сухого обогащения; прочие обозначения см. в табл. 11, 12 и 13.

2. При составлении таблицы в основном использованы данные топливной лаборатории ВТИ в обработке А. И. Карелина.

## Характеристики газообразного топлива

№ п/п	Наименование газа	Состав сухого газа в объемных процентах											$Q_{\text{H}}^{\text{с}}$ в ккал/ м <sup>3</sup>	Вес 1 м <sup>3</sup> (нормально- го) γ <sup>с</sup>	
		H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>			N <sub>2</sub>
	Природный газ														
1	Саратовский . .	Следы	0,2	—	—	—	—	94,0	1,2	0,7	0,4	0,2	3,3	8 533	0,765
2	Дашавский . . .		0,1	—	—	—	—	97,9	0,5	0,2	0,1	—	1,2	8 497	0,730
	Генераторный газ														
3	Из донецкого газ- ового угля . .	0,3	5,0	0,3	0,2	26,5	13,5	2,3	—	—	—	—	51,9	1 402	1,122
4	Из подмосковно- го угля . . . . .	1,2	6,5	0,3	0,2	25,0	14,0	2,2	—	—	—	—	50,6	1 411	1,130
	Газ подзем- ной газифи- кации														
5	Из каменного уг- ля . . . . .	0,6	10,3	—	0,2	18,4	11,1	1,8	—	—	—	—	57,6	1 027	1,191
	Доменный газ														
6	Из коксовых пе- чей . . . . .	—	10,5	—	—	28,0	2,7	0,3	—	—	—	—	58,5	940	1,296
7	Коксовый газ . . . . .	0,4	2,3	1,9	0,8	6,8	57,5	22,5	—	—	—	—	7,8	3 944	0,483

Примечание. При составлении таблицы использованы данные Н. В. Шишакова.

лориметрической бомбе. Методы отбора средней пробы топлива подробно будут рассмотрены в § 6. Необходимо только отметить, что состав большинства топлив весьма непостоянен даже для одного и того же места добычи, пласта угля, рудника, болота и т. п., поэтому, чтобы дать характеристику месторождения топлива, необходимо иметь многочисленные исследования средних проб и по ним уже судить о некоторых средних цифрах состава топлива, теплотворной способности его горючей массы и пр. Этим материалом обладают химические топливные лаборатории СССР, систематизацию которого пока проводила только лаборатория ВТИ, периодически публикуя качественные характеристики топлив СССР. На основе этих данных и подсчитана табл. 2, в которой приводится состав рабочей массы при характерных средних цифрах загрязненности золой и влагой. Низшая теплотворная способность дана для этих средних условий.

Если для заданных условий внешний балласт топлива (зола и влага) приходится брать отличным от среднего, то нетрудно сделать пересчет сначала на горючую массу, а затем на новые условия.

При проектировании можно брать состав и теплотворную способность по табл. 2. При экспериментировании отбирается средняя проба и затем ее исследуют в химической лаборатории, где определяют как элементарный состав топлива, так и его теплотворную способность.

## § 6. ОТБОР СРЕДНЕЙ ПРОБЫ ТОПЛИВА

Анализ топлива, как правило, производится в химической лаборатории, на долю же теплотехника выпадает весьма ответственная задача — правильно отобрать среднюю пробу топлива. При неправильно отобранной пробе самые точные исследования химической лаборатории будут характеризовать топливо, присланное в лабораторию, но не топливо, которое сжигалось под котлами. Поэтому неумелый отбор средней пробы даст неправильное представление о работе котельной, ее к. п. д., не позволит верно оценить работу кочегаров.

Отбор средней пробы топлива подразделяется на отбор первичной пробы и отбор пробы, направляемой в лабораторию. Первичная проба отбирается в зависимости от методов подачи топлива в котельные: из вагонеток, ленточных транспортеров, питателей и т. п.

Вес первичной пробы и количество таких проб зависят главным образом от размеров отдельных кусков и зольности топлива. Первичная проба сохраняется в особом ящике, в дальнейшем происходят ее разделка и отбор лабораторной пробы.



Нормы отбора проб твердого топлива в соответствии с ОСТ приводятся в табл. 3, 4 и 5.

Таблица 3

## Нормы отбора проб ископаемого угля

Предельная норма содержания золы АС в %	Минимальное количество порций, набираемых в первичную пробу, при размере кусков от 0 до 150 мм и соответствующем весе порции от 1 до 5 кг				
	0—25 мм	0—50 мм	0—75 мм	0—100 мм	0—150 мм
	1 кг	2 кг	3 кг	4 кг	5 кг
До 10			60		
10—15			90		
15—20			120		
20			180		

Таблица 4

Нормы отбора проб сланцев  
(В первичную пробу набирается 100 порций)

Размер кусков в мм . . . . .	0—40	0—100	0—200
Вес порций в кг . . . . .	3	5	8

Таблица 5

## Нормы отбора проб торфа при размере партии до 100 т

Характеристика торфа	Количество порций при весе отдельной порции в кг			
	до 1	более 1	до 5	более 5
Фрезерный торф . . .	45	30	—	—
Кусковой . . . . .	—	—	50	16

Отбор первичной пробы дров производится из полениц. Выборочно намечаются три поленицы, из которых и набирают отдельные поленья.

На каждой поленице намечается участок длиной 5 м. На расстоянии 30—40 см от верха поленицы проводится по торцам дров черта и выбираются намеченные поленья, находящиеся каждое на расстоянии 1 м друг от друга. Лучше выбирать поленья по диагонали, проведенной по торцам поленьев. Рекомендуются в первичную пробу отбирать от 50 до 100 поленьев.

Первичная проба мазута или газа одновременно служит и лабораторной пробой.

При испытаниях мелких отопительно-производственных котельных первичная проба может быть не больше количества топлива, сжигаемого за опыт. Первичная проба должна быть тщательно обработана (разделка пробы).

Под разделкой первичной пробы твердого топлива подразумеваются измельчение пробы, ее перемешивание и сокращение веса. Причем эти операции производятся одновременно.

Перед разделкой пробы все отобранное топливо тщательно перемешивают. Первичную пробу, не сокращая, измельчают до 25 мм. Далее операции измельчения и сокращения происходят в соответствии с данными табл. 6.

Таблица 6

## Вес пробы после ее сокращения

Максимальный размер кусков в мм	Минимальный вес пробы после ее сокращения в кг
25	60
13	15
3	3,75
1	0,75 (лабораторная проба)

В инструкциях по отбору лабораторных проб обычно рекомендуется брать пробу весом 0,5 кг при разделке до крупности 3 мм. Для влажного топлива требуется взять отдельную пробу на влажность при измельчении до 13 мм, иначе в процессе дробления до 3 мм топливо может потерять часть воды.

На рис. 7 показан метод последовательного сокращения проб. Топливо перемешивают и насыпают в виде конуса. Затем вершину конуса сплющивают так, чтобы получить нечто вроде лепешки. После этого по кругу под углом 90° проводят две диагонали. Два взаимно противоположных сектора отбрасывают, а остальное топливо дробят, перемешивают и опять насыпают в виде конуса. После последнего дробления и осаждения вниз вершины конуса, по кругу проводят взаимно перпендикулярные линии наподобие шахматной доски, после чего из половины заштрихованных на рис. 7 квадратов выбирают лабораторную пробу, которую высыпают в две герметически закупоренные банки и направляют в лабораторию. Содержимое одной

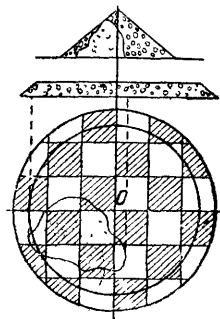


Рис. 7

банки подлежит исследованию. Вторая банка запасная — контрольная.

На рис. 7 показано случайное расположение топлива с увеличенной зольностью (обведено кривой линией). При сплющивании эта концентрация осталась без изменения, что должно лишний раз подчеркнуть необходимость тщательного перемешивания пробы.

Разделка проб торфа производится следующим образом: при измельчении кускового торфа в первую очередь торфины разрубают пополам, затем производят измельчение и сокращение в соответствии с данными табл. 7.

Таблица 7

Наибольший размер куска в см	Наименьший вес пробы после ее сокращения в кг
13—15 полуторфина	130—150
7—8	65—75
5—6	32—33
2—3	16—20
1—1,5	1—2 (лабораторная проба)

При разделке первичной пробы дров берут две лабораторные пробы: одну — на влажность, другую — на элементарный состав и теплотворную способность.

Чтобы получить пробу на влажность, от каждого полена отпиливают  $\frac{1}{4}$  по его длине и от свежего торца отпиливают отрез толщиной 20 мм. Отрезы раскалывают пополам и половинки укладывают с целью получения контрольной пробы в две герметически закупоривающиеся банки; таким образом, общее количество банок должно быть кратно двум.

В процессе распиловки собирают опилки, от которых отбирают вторую пробу — на элементарный состав и теплотворную способность.

Отбор средней пробы нефтетоплива производится так: на линии, подводящей нефтетопливо к форсункам паровых котлов или двигателей внутреннего сгорания, по возможности на вертикальном участке, устанавливают ответвление с краником (пробник). Через эту линию и производят непрерывный отбор пробы в особый сосуд, емкость которого в 1,5—2 раза превышает отбираемую пробу. После окончания испытания набранную таким образом пробу тщательно взбалтывают и разливают в две склянки емкостью не менее 1,5 л каждая, склянки плотно закупоривают, опечатывают и одна идет в лабораторию для исследований, а другая остается контрольной.

Если нефтепродукт нагрет выше  $50^\circ$ , то перед поступлением в сосуд отбираемую пробу предварительно пропускают через охлаждаемый водой змеевик.

Отбор средней пробы газа — из-за переменного его состава желательно производить непрерывно так, чтобы количество отбираемого газа было пропорционально его расходу в рассматриваемое время. От собранной таким образом первичной пробы может быть взята проба для лабораторного исследования.

## § 7. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ОРГАНИЧЕСКИМ СОСТАВОМ, ВЫХОДОМ ЛЕТУЧИХ И ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

На рис. 8 показаны отдельные виды твердого топлива, начиная от дров и кончая антрацитом, без учета серы и внешнего балласта. График наглядно показывает влияние внутреннего балласта на теплотворную способность и выход летучих.

По мере уменьшения внутреннего балласта ( $O^\circ + N^\circ$ ) увеличивается теплотворная способность органической массы за счет повышения главным образом содержания углерода в топливе. Содержа-

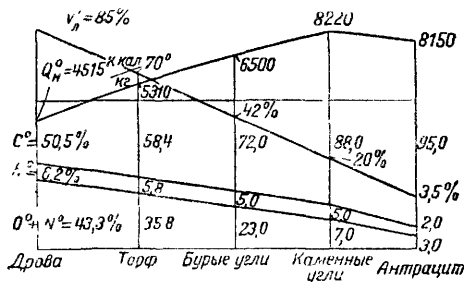


Рис. 8

ние водорода для всех видов твердых топлив остается более или менее стабильным и лишь у антрацита наблюдается некоторое снижение.

Поскольку водород имеет высокую теплотворную способность, антрацит, несмотря на суммарное повышение горючих элементов в топливе, имеет меньшую теплотворную способность, чем каменный уголь.

## Глава II

# РАЗНОВИДНОСТИ ТОПЛИВА

## § 8. ДРЕВЕСИНА

Состав и теплотворная способность. При правильном ведении лесного хозяйства на топливо может расходоваться только естественный прирост древесины. Превышение количества расходуемой древесины по сравнению с естественным приростом ведет к уничтожению лесных массивов, изменению

климата, пересыханию рек, ухудшению условий, способствующих развитию всякого рода растительности.

Древесина в большинстве топочных устройств сжигается в виде дров, и только в энергетических котельных крупного масштаба, оборудованных мощными котлами, дрова заменяют рубленой щепой, которую и сжигают в механических топках.

В состав растительной ткани входят целлюлоза и лигнин как основные вещества, образующие клеточки и сосуды, наполненные соком и воздухом. Кроме того, древесина содержит небольшое количество смолы, дубильных веществ, белков и пр.

Состав органической массы древесины (одновременно и состав горючей массы, так как в древесине имеются только следы серы) весьма устойчив и мало изменяется в зависимости от породы дерева, что подтверждается цифровыми значениями (табл. 8). Также мало изменяется и теплотворная способность органической массы.

Таблица 8

## Органический состав древесины

Породы	Органический состав древесины в %				Выход летучих V <sup>o</sup> в %	Теплотворная способность Q <sub>н</sub> <sup>o</sup> в ккал/кг
	C <sup>o</sup>	H <sup>o</sup>	O <sup>o</sup>	N <sup>o</sup>		
Лиственные .	50,5	6,1	42,8	0,6	85,0	4 460
Хвойные . . .	51,0	6,15	42,25	0,6	85,0	4 560
Смешанные .	51,0	6,1	42,3	0,6	85,0	4 510

Засоренность древесного топлива золой очень небольшая и мало изменяющаяся.

Зольность на сухое вещество составляет  $A^c = 1\%$ , и только для сплавных дров она иногда повышается вследствие засорения древесной коры песком. Повышение это вообще незначительно, и отмечаются только единичные случаи, когда зольность доходит до  $A^c = 2\%$ .

Второе слагаемое внешнего балласта — влага, — наоборот, колеблется в дровах в больших пределах. Свежесрубленное дерево, если к тому же оно срублено не зимой, когда влажность меньше, имеет влажность, доходящую до 50% и более. Пролежав после рубки около года в лесу, дрова высыхают, и их влажность доходит до 30%. Эти так называемые воздушносухие дрова и следует использовать для сжигания. Вывозить из леса свежесрубленные дрова нерационально, так как приходится расходовать энергию на перевозку большого количества находящейся в них воды.

Если дрова доставляются на место их сжигания сплавом, то влажность несколько повышается, однако после выдерживания

их на складе восстанавливается прежняя влажность. Раньше предполагали, что в сплавных дровах вследствие их длительного нахождения в воде происходит выщелачивание горючих составных частей, вследствие чего понижается теплотворная способность дров; однако проведенные в этом направлении опыты этих предположений не подтвердили.

Присутствие влаги в любом топливе всегда снижает его рабочую теплотворную способность, но особенно резко это сказывается на дровах и торфе, теплотворная способность органической массы которых невысока, а влажность, наоборот, очень высокая.

**Пример 4.** Определить рабочую теплотворную способность смешанных дров при влажности  $W^P$ , равной 30 и 50%.

$$A^P = A^c \frac{100 - W^P}{100}; \quad A^P = 1 \cdot 0,70 = 0,70\%,$$

$$A^P = 1 \cdot 0,50 = 0,50\%,$$

$$Q_H^P = Q_H^c \frac{100 - (A^P + W^P)}{100} - 6 W^P;$$

$$Q_H^P \text{ (при } W^P = 30\%) = 4510 \frac{100 - (0,7 + 30)}{100} - 6 \cdot 30 = 2950 \text{ ккал/кг};$$

$$Q_H^P \text{ (при } W^P = 50\%) = 4510 \frac{100 - (0,5 + 50)}{100} - 6 \cdot 50 = 1935 \text{ ккал/кг}.$$

Таким образом, воздушносухие дрова имеют теплотворную способность, колеблющуюся около 3 000 ккал/кг. Эта теплотворная способность мало зависит от породы дров, что на первый взгляд кажется странным, так как всем известно, что березовые или дубовые дрова лучше еловых или осиновых. Это недоразумение происходит потому, что приобретают дрова не по весу, а по объему, а вес 1 м<sup>3</sup> дубовых или березовых дров больше, чем еловых или осиновых.

Правда, различные породы деревьев отличаются друг от друга по молекулярному строению древесины, что сказывается, например, на размерах и цвете факела при горении.

**Требования, предъявляемые к дровам.** Дрова подразделяются на однородные и смешанные. Примесь иных пород в однородных дровах допускается до 5%, считая по кубатуре сдаваемой партии. Также классифицируются дрова по влажности, причем различают сухие, полусухие и сырые.

В сухих дровах влажность не превышает 25%. Сырыми считаются дрова, влажность которых превышает 35%.

Если анализа на влажность не производят, то сухими считают дрова, пролежавшие в лесу или на складе год после заготовки. К полусухим относят дрова весенней заготовки, пролежавшие не

менее шести месяцев после рубки, в том числе не менее двух летних месяцев.

Сортируют дрова по породам и количеству допускаемой гнили, разбивая на четыре группы.

Поленья пилят следующих размеров: 0,35; 0,5; 0,75; 1,0 м. Допускается заготовка дров и комбинированной длины для последующей перерезки на стандартные размеры.

Наиболее распространен метровый размер полена.

Объемной единицей измерения служит кубический метр, весомой — тонна.

**Вес дров.** Удельный вес плотной древесины, исключая пустоты, почти одинаков для всех пород дерева и равен 1,5. Кажущийся удельный вес древесины непостоянен и зависит от пористости той или иной породы.

Ниже приведены цифры кажущегося удельного веса (включая воздух и воду) для древесины различных пород с влажностью на рабочий состав, равной 30%.

#### Кажущийся удельный вес дерева

Дуб . . . . .	0,96	Сосна . . . . .	0,67
Береза . . . . .	0,84	Осина . . . . .	0,66
		Ель . . . . .	0,58

Практически приходится определять вес дров, сложенных в поленницы, причем этот вес будет в значительной степени зависеть от влажности дров. Для определения веса 1 м<sup>3</sup> дров любой влажности при нормальной его выкладке можно пользоваться табл. 9, в которой приведены веса дров в зависимости от породы и влажности.

Таблица 9

Степень влажности дров	Складочный вес 1 м <sup>3</sup> дров в кг				
	дуб	береза	осина	сосна	ель
Сухие — при весе 1 скл. м <sup>3</sup> дров не более . . . . .	540	472	360	383	337
Полусухие — при весе 1 скл. м <sup>3</sup> дров не более . . . . .	623	545	415	442	389
Сырые — при весе 1 скл. м <sup>3</sup> дров не более . . . . .	810	708	540	574	560

Задаваясь той или иной влажностью в процентах, по весу  $W^3$  можно просто произвести требующийся пересчет при одном только допущении, что с увеличением влажности объем кладки не изменяется.

Обозначая вес 1 м<sup>3</sup> дров заданной влажности через  $B^p$ , а табличной влажности  $W$  — через  $B$ , производим подсчет по формуле

$$B^p = B \frac{100 - W}{100 - W^p}. \quad (14)$$

Дрова — топливо малотеплотное, т. е. в единице объема содержится мало калорий; поэтому дрова невыгодно перевозить на значительное расстояние от места заготовки, так как железнодорожные вагоны не догружаются по весу.

Являясь местным топливом, дрова в лесных районах СССР зачастую бывают единственным видом топлива. Условия их сжигания хорошо изучены. При пониженной теплотворной способности у дров имеются и существенные преимущества — это легкая воспламеняемость, отсутствие серы и малозольность, что позволяет ограничиваться весьма примитивными и в то же время работающими достаточно эффективно топочными устройствами. Благодаря этим особенностям дрова являются топливом, широко распространенным в быту.

**Древесная рубленая щепа.** Применение механических топок и механизация подачи древесного топлива в котельных установках большой мощности заставили перейти к дроблению дров на щепу размерами 50×30×5 мм.

В таком виде древесину можно перемещать при помощи устройств, аналогичных используемым для кусковых топлив. Угольные механические топки лишь со сравнительно незначительными видоизменениями приспособливают к сжиганию этого рода топлива.

Расходы на рубку, включая сюда затраты на дроворубочные машины и электроэнергию (около 7,5 квт-ч/т), окупаются тем, что дрова, идущие на рубку, можно значительно увеличивать по длине и не колоть. Подобную же разделку на мелкие части приходится производить при сжигании пней или отбросов лесопильных заводов.

Вес 1 м<sup>3</sup> абсолютно сухой щепы равен в среднем 150 кг/м<sup>3</sup>; для таких же условий вес древесных опилок равен 180 кг/м<sup>3</sup>.

К топливам, по своей структуре близко подходящим к древесине, принадлежат: одубина, лузга подсолнуха, льняная костра, рисовая шелуха, солома и т. д.

В табл. 10 приводятся характеристики горючей массы теплотворной способности и балласта для части этих топлив.

Как топливо иногда используется городской мусор. Он имеет зольность на сухое вещество около 40—45% и влажность от 50 до 60%, в зависимости главным образом от сезона; весной и осенью влажность повышается. В среднем можно принимать засорен-



Таблица 10

Название	C <sup>г</sup>	H <sup>г</sup>	O <sup>г</sup>	N <sup>г</sup>	S <sup>г</sup> <sub>л</sub>	Q <sup>г</sup> <sub>н</sub>	A <sup>c</sup>	W <sup>p</sup>
Одубина . . . . .	51,7	6,0	41,3	0,9	0,1	4 515	5,0	60-75
Лузга подсолнуха . . .	51,5	5,9	41,9	0,3	0,2	4 570	2,8	15,0
Льняная костра . . . .	51,0	6,1	42,8		0,1	4 560	3,2	11,0
Рисовая шелуха . . . .	50,3	6,1	42,8	0,7	0,1	4 460	20,5	10,0
Солома . . . . .	50,0	6,2	43,1	0,6	0,1	4 455	5,0	10,0

ность  $A^p = 20\%$  и  $W^p = 52\%$ ; рабочая теплотворная способность мусора равняется  $Q_n^p \approx 900$  ккал/кг.

Количество мусора, приходящееся на одного жителя, в среднем может быть принято равным 0,5 кг в сутки.

**Древесный уголь.** При накаливании топлива без доступа воздуха, как уже указывалось выше, топливо распадается на летучие вещества и твердый остаток — кокс.

На этом принципе основано и углежжение. В примитивных формах оно может производиться в ямах, куда складываются дрова, сверху накрываемые слоем земли. Дрова частично поджигают, в процессе горения развивается высокая температура; остальная, большая часть дров начинает газифицироваться, а количество проникающего в кучу кислорода воздуха настолько невелико, что уголь и летучие вещества в своей значительной массе не сгорают.

Такой способ добычи угля до некоторой степени может быть оправдан небольшими одновременными затратами и отсутствием необходимости перевозки дров на значительные расстояния.

Более рациональным способом является сухая перегонка дерева в печах с использованием летучих веществ для получения из них высокоценных продуктов, например, метилового спирта, уксусной кислоты и пр. Древесный уголь в этом производстве получается как промежуточный продукт.

Древесный уголь является по сравнению с дровами топливом более теплоплотным, в нем значительно уменьшен внутренний балласт, снижена влажность и только несколько повышен процент зольности. Благодаря отсутствию серы древесный уголь является лучшим топливом для металлургических процессов. Конечно, современный масштаб потребления топлива гигантскими установками черной металлургии не дает возможности базироваться на этом топливе, и древесный уголь по преимуществу расходуется в более мелких устройствах.

Большое применение он находит в бытовом потреблении топлива. В связи с развитием механизации сельского хозяйства открываются широкие перспективы использования древесного топ-

лива, в частности угля, и соломы в качестве местного горючего для тракторов взамен дальнепривозного жидкого топлива.

В итоге процесса углежжения получается выход угля около 25%, считая от веса загруженного топлива. Состав органической массы древесного угля следующий:

	С°	Н°	О° + N°	Q <sub>H</sub> °
Кучный уголь . . . . .	91	2	7	7 695
Печной . . . . .	80	4	16	7 090

Выход летучих, считая на органическую массу, около 11%, зольность на сухое вещество А° около 2%, влажность около 10%. Древесный уголь сильно гигроскопичен, способен поглощать влагу и газы. Удельный вес его плотной массы близок к древесине и также может быть принят равным 1,5. Складочный вес 1 м<sup>3</sup> зависит от породы дерева и может быть принят для березового угля 200 кг, для хвойного — 150 кг.

### § 9. ТОРФ

Самым молодым по геологическому возрасту из ископаемых топлив является торф. Угольные месторождения образовывались из растительности доледникового периода.

Происхождение используемого в настоящее время торфа относится к послеледниковому периоду.

Обычно торф начинает накапливаться в постепенно зарастающих водоемах. Торфяное болото, образовавшееся на месте такого водоема, называется луговым. Торф в таком болоте по большей части еще плохо разложившийся и многозольный. Эта многозольность получается вследствие наноса водой в толщу зарастающего озера частей земляного покрова. С годами растительность лугового болота изменяет свой характер: если вначале на нем еще могут произрастать не только различные осоки, травы, но и деревья, то с годами, когда слой торфа увеличивается и корням растений уже трудно бывает достать илистую питательную среду, деревья на такой почве бывают мелкорослыми и в конце концов гибнут, а травы сменяются белым мхом, так называемым сфагнумом — неприхотливым растением, питающимся влагой атмосферного воздуха. Торф, образующийся в этой стадии развития болота, называется моховым, он, естественно, получается мало-зольным, так как в толщу болота попадает уже не почвенная вода, а только атмосферная.

Возраст луговых болот исчисляется столетиями, а моховых и боровых, если на них росли деревья, — тысячелетиями.

Запасы торфа в СССР огромны; естественный годичный прирост торфа далеко опережает его выработку. Торф является местным топливом, предприятия, потребляющие торф, должны по воз-

возможности находиться в непосредственной близости к торфяным болотам, что не способствует развитию торфодобычи в районах с малоразвитой промышленностью.

Так же как дрова, хорошо высушенный воздушносухой торф имеет влажность  $W^p = 30-40\%$ .

В центральной полосе СССР при хорошей предварительной осушке болота и правильно проведенных процессах добычи и последующей сушки сырца получить воздушносухой торф вполне возможно. Не приходится много говорить о желательности уменьшения влажности, что сократит затраты на перевозку, улучшит условия сжигания и пр., в то же время недосушенный торф гораздо более гигроскопичен и способен скорее насыщаться влагой, в особенности при хранении на открытом месте.

Засоренность золой торфяников РСФСР, по большей части имеющих зрелую торфяную массу моховых и борových болот, выражается в среднем, считая на сухое вещество,  $A^c = 8,5\%$ .

Для луговых торфов УССР средняя зольность значительно выше:  $A^c = 19\%$ .

Индустриализация Советского Союза и сопутствующие ей грандиозные масштабы потребления тепловой энергии требуют максимально развивать добычу торфа как топлива и увеличивать процент его участия в общем топливном балансе страны. Перед техникой сейчас стоят проблемы круглогодичной добычи и искусственной сушки торфа. В настоящий же момент имеются большие успехи в деле максимального внедрения механизации в довольно трудоемкий процесс добывания торфа.

Ручная добыча так называемого резного торфа, при которой торфяные кирпичи нарезаются лопатой вручную из предварительно осушенного торфяного массива, в настоящее время не играет сколько-нибудь существенной роли.

При механическом способе добычи торфяная масса выносится из разрабатываемого карьера элеваторами или экскаваторами-багерами, затем проходит через торфяной пресс, получает форму ленты, перерезается на отдельные кирпичи и далее распределяется механическими транспортерами по полю сушки. Торфяные кирпичи после просушки собирают в штабели и затем направляют к потребителю.

В последнее время начинает получать все большее распространение послыйный способ добычи торфа машинами, напоминающими сельскохозяйственные.

Торфяное болото как бы вспахивается особым фрезером, приводимым в движение трактором. После переворачивания при сушке разрыхленных слоев торфяной массы получается торфяная крошка, которая затем и штабелируется.

Невзирая на некоторые трудности, возникающие при хранении, транспорте и сжигании подобного вида торфа, фрезерный способ

получает преимущественное распространение, так как при его применении расходуется мало энергии и рабочей силы; стоимость весовой единицы фрезерного торфа франко-болото обходится примерно в 2 раза дешевле по сравнению с прочими механизированными способами добычи.

Параллельно с механическим способом получения торфяных кирпичей и все время конкурируя с ним, развивался гидравлический способ, основанный на том, что торфяная залежь размывается идущей под сильным напором струей воды. Получающаяся жижа, предварительно пропущенная через особые «растиратели», насосами перекачивается на суходол, где и сушится. В итоге образуется торфяная тестообразная масса, разрезаемая на кирпичи особой машиной, передвигающейся по суходолу.

Этот способ добычи торфа особенно удобен при разработках пнистых болот, так как размыв торфяника водой облегчает выкорчевывание пней.

При добыче гидроторфа требуются большие затраты на механическое оборудование, но меньшая затрата рабочей силы по сравнению с добычей механическими способами, за исключением получения фрезерного торфа — наиболее экономичного из всех способов разработки торфяных болот.

В заключение следует добавить, что каким бы способом ни добывался торф, болото предварительно готовят для работ; его осушают путем прорытия сети канав, затем приступают к вырубке кустарников и леса, растущих на болоте, корчеванию пней и снятию верхних низкокачественных слоев — очеса.

Влажность торфа в болоте до осушки обычно колеблется в пределах 89—94%, после осушки — около 87—88% для верховых моховых болот и 80—85% для низинных — луговых.

При машинноформовочном способе выработки торфяных кирпичей обыкновенно для них принимают следующие размеры:  $13,3 \times 13,3 \times 35,6$  см.

Объемный вес абсолютно сухих кирпичей, выложенных в штабели, может быть принят в среднем равным  $280 \text{ кг/м}^3$ . При загрузке в вагонетки этот вес несколько ниже, так как нарушается правильность расположения кирпичей. Для определения объемного веса загруженного в вагонетку торфа следует вес штабеля  $280 \text{ кг/м}^3$  умножить на 0,8—0,9 (в зависимости от объема и формы вагонетки). Объемный вес торфа заданной влажности может быть пересчитан по формуле (14).

Кирпичи гидроторфа, имея примерно те же размеры, получают довольно неправильной формы, поэтому объемный вес абсолютно сухого торфа в штабеле будет меньше  $200 \text{ кг/м}^3$ ; уменьшается также до 0,7 и поправочный коэффициент при пересчете на вес в вагонетках,

Средняя зольность гидроторфа почти не отличается от машинноформовочного, и, например, для торфяных болот Московской области в среднем  $A^c = 7,8\%$ . Влажность гидроторфа немного выше машинноформовочного; в среднем для того и другого может быть принята  $W^p = 40\%$ .

Фрезерный торф сильно колеблется по размерам крошки в зависимости как от типа болота, так и от типа машины и способа получения торфа. Количество зерен размером до 0,5 мм составляет примерно 30%, на долю зерен от 0,5 до 2 мм приходится также около 30%, но имеются и крупные куски очеса и плохо разложившегося торфа, вследствие чего около 10% падает кусков более чем 25 мм. В зимнее время во фрезерном торфе появляются смерзшиеся куски размерами 50×50 мм и более; количество таких смерзшихся кусков зависит от влажности торфа и иногда превышает 40%. Влажность отдельных фракций разная, она меньше в мелкой крошке и повышается с увеличением крупности. В среднем влажность фрезерного торфа  $W^p = 50\%$ ; подсушенный до влажности менее 40% фрезерный торф начинает пылить, что затрудняет его транспортирование и повышает потери при перегрузках. Зольность на сухое вещество колеблется главным образом от того, разрабатываются ли верхние слои малоразложившегося торфа, более многозольные, или нижние. В среднем для Московской области зольность на сухое вещество фрезерного торфа ниже, чем кускового,  $A^c = 7,5\%$ . Для торфяников Белоруссии, наоборот, кусковой торф имеет  $A^c = 10,5\%$ , фрезерный —  $A^c = 11,0\%$ .

При хранении в штабелях фрезерный торф под влиянием главным образом деятельности микроорганизмов самонагревается, и если температура внутри штабеля поднимется выше 70°, то не исключена возможность самовозгорания штабеля. Поэтому за штабелями организуют систематические наблюдения и измеряют температуры на глубине от 0,5 до 2 м. Объемный вес абсолютно сухого фрезерного торфа равняется примерно 290 кг/м<sup>3</sup>.

### § 10. ИСКОПАЕМЫЙ УГОЛЬ

Залегающий в большинстве случаев глубоко в недрах земли уголь является основой топливного бюджета СССР. Уголь, как говорил В. И. Ленин, «это настоящий хлеб промышленности». Добыча угля производится под землей, в тяжелых условиях. Чтобы, с одной стороны, облегчить работу, а с другой, — поднять выработку, процессы добычи угля максимально механизуются.

При добыче угля обращается внимание на его обогащение, чтобы в нем было меньше породы, повышающей зольность. Обогащение производится как под землей (причем следят, чтобы порода не попадала в уголь), так и на поверхности земли путем применения углемоек, сепараторов и пр. При использовании обо-

гашенных углей облегчаются условия сжигания, уменьшаются расходы по перевозкам, повышается к. п. д. котельных установок.

Одновременно с внедрением механизации успехам в развитии угледобычи способствует правильная организация трудовых процессов: внедряется работа по циклическому графику, широко развевается социалистическое соревнование и его высшая форма — стахановское движение.

Ископаемый уголь можно разделить на три группы: бурый уголь, каменный уголь и антрацит.

**Бурый уголь.** По своей органической структуре бурый уголь отличается повышенным содержанием внутреннего балласта ( $O^o + N^o$ ), вследствие чего теплотворная способность органической массы получается меньше 7 000 ккал/кг. По сравнению с каменным углем бурый уголь имеет более высокий выход летучих веществ, кроме того, он более гигроскопичен: влажность рабочего состава превышает 10%, в то время как у каменных углей она в большинстве случаев меньше. Бурые угли в большей степени по сравнению с каменными способны самовозгораться при хранении.

Уголь, находясь на складе, постепенно адсорбирует кислород воздуха. Этот процесс сопровождается нагреванием угля, вследствие чего последний может самовозгореться.

Явление самовозгорания еще мало изучено. Выяснено, что способность к самовозгоранию возрастает в связи с удлинением срока хранения угля на складе и увеличением высоты штабеля. Поэтому при немеханизированных складах не рекомендуется для углей, легко самовозгорающихся, делать штабель выше 2,5 м и хранить их на складе более месяца.

Для механизированных складов высота штабеля не ограничивается при условии послойного уплотнения штабеля тракторными катками. Уплотнение производится с целью воспрепятствовать проникновению воздуха в толщу слоя.

Бурый уголь в его органической части обладает достаточно высокой теплопроизводительностью, но из-за повышенной влажности, а часто и зольности в рабочем составе теплопроизводительность его резко снижается. Примером может служить подмосковный уголь, у которого  $Q_{н}^r = 6\ 240$ , а  $Q_{н}^p = 2\ 540$  ккал/кг и менее.

Имея высокий выход летучих веществ, благоприятствующий получению смолы и других высококачественных продуктов, бурые угли обыкновенно не коксуются, этот недостаток, однако, исправим. Для возможности коксования к бурым углям частично примешивают коксующиеся каменные угли.

**Каменный уголь.** Из всех разновидностей ископаемых углей, составляющих геологические запасы СССР, доминирует каменный уголь: на его долю приходится примерно 80% всех залежей. и им особенно богат Кузнецкий район,

Каменный уголь в свою очередь подразделяется на ряд разновидностей. Длиннопламенные и газовые угли имеют повышенный внутренний балласт ( $O^o + N^o$ ), затрудняющий спекание кокса. В процессе коксования эти угли отличаются повышенным выходом летучих. При горении образуется характерное длинное пламя. Имеются сорта каменного угля, приближающиеся по своему составу к чистому углероду, с минимальным количеством  $H^o$ ,  $O^o$  и  $N^o$  и высоким  $C^o$ , так называемые тощие угли, они дают неспекающийся кокс, так как углерод при коксовании не расплавляется.

В промежутке между длиннопламенными углями и короткопламенными — тощими — находятся жирные коксующиеся, они в первую очередь и используются для получения металлургического кокса, а также коксовального газа и высокоценных погонов.

Для внесения известной систематизации при маркировке предлагались схемы классификации углей по тем или иным признакам. Следует отметить затруднительность создания всеобъемлющей классификации, так как каждое месторождение имеет свои специфические, ему присущие особенности.

Каменные угли Донбасса имеют свою классификацию, разбиваясь по признакам коксуемости и выхода летучих (табл. 11).

Таблица 11

## Стандарт каменных углей Донецкого бассейна

Марка угля	Содержание летучих на горючую массу $V^t$ в % по весу	Характеристика кокса
Длиннопламенный Д . . . . .	43	Порошкообразный или слипшийся Спекшийся сплавленный, иногда вспученный, рыхлый
Газовый Г . . . . .	39	
Паровичный жирный ПЖ . . . . .	32	Спекшийся сплавленный плотный или умеренно плотный
Коксовый К . . . . .	22	То же
Паровичный спекающийся ПС . . . . .	16	Порошкообразный или слабо слипшийся
Тощий Т . . . . .	12	

В отличие от бурого угля каменный уголь обладает высокой теплотворной способностью органической массы, превышающей по своей величине таковую для всех родов твердого топлива (см. рис. 8).

Теплотворная способность рабочего топлива также высокая и доходит до 7 000 ккал/кг и более, главным образом из-за малой

гигроскопичности каменного угля, вследствие чего его влажность редко превышает 10%.

**Кокс и полукокс.** Как уже указывалось, наиболее целесообразно используется топливо в том случае, если предварительно оно подвергается воздействию термических процессов, сопровождающихся выходом летучих. В зависимости от того, какие цели ставят себе предприятия, перерабатывающие уголь, из каменного угля при температурах порядка 900° получают кокс, генераторный газ или смолу с последующей выработкой из нее ценных химических продуктов. Для производства металлургического и литейного кокса берут угли, дающие плотный сплавленный кокс; для газификации идет длиннопламенный газовый уголь, а для получения большого количества высококачественной смолы расходуются жирные угли, причем процесс коксования предпочтительнее вести при низких температурах (550°); в этом случае за счет повышенных качеств погонов получается полукокс — продукт непрочный, идущий на сжигание, но не используемый в металлургических печах.

Методом полукоксования пользуются также для получения из низкосортного твердого топлива значительного количества высокоценных побочных продуктов.

Наиболее прочный и плохо поддающийся истиранию кокс называется металлургическим, он используется на доменную плавку. Более слабый кокс — литейный — направляют в вагранки для переплавки уже готового чугуна.

Состав горючей массы, выход летучих, теплотворная способность горючей массы и загрязненность балластом для кокса приводятся ниже.

Размер кусков > 25 мм			
C <sub>r</sub> . . . . .	96,50%	S <sub>r</sub> <sup>r</sup> . . . . .	1,00%
H <sub>r</sub> . . . . .	0,40%	Q <sub>r</sub> <sup>r</sup> . . . . .	7 800 ккал/кг
N <sub>r</sub> . . . . .	1,20%	A <sup>c</sup> . . . . .	11,00%
O <sub>r</sub> . . . . .	0,90%	W <sup>p</sup> . . . . .	4,00%

Объемный вес кокса зависит от его плотности, в среднем равен примерно 450 кг/м<sup>3</sup>.

**Брикеты.** Спрессовывая мелочь кокса и полукокса углей, фрезерного торфа, опилок в форму кирпича, шара, яйцевидную и пр., можно получить удобное для транспортировки и хранения топливо. Если не удастся спрессовать мелочь без примеси связующего элемента, то при формовке добавляют каменноугольный пек — остаток смолы после ее переработки.

Ниже приводится характеристика брикета из углей Донецкого бассейна.



Размер кусков . . .	180×160×215 мм	$S_{об}^c$ . . . . .	1,3—1,6%
Средний вес . . . .	5 кг	$H^r$ . . . . .	4,4%
Содержание мелочи < 25 мм . . . . .	5%	$Q_H^r$ . . . . .	8 270 ккал/кг
$W^p$ . . . . .	4,0—5,5%	$V^r$ . . . . .	14,0%
$A^c$ . . . . .	7,5—9,5%	$Q_H^p$ . . . . .	730 ккал/кг

Размеры брикета бывают и меньше — до 30×60×55 мм.

**Антрацит.** Антрацит по своему составу более всех углей приближается к чистому углероду. Он отличается большой прочностью, хорошо выдерживает перегрузки и перевозки. Выход летучих у антрацита ничтожный (несколько процентов), поэтому при горении угли этого рода почти не дают факела, а также и дыма, обычно сигнализирующего о неправильной работе топки при сжигании длиннопламенного топлива. Рабочий состав антрацита в большинстве случаев имеет относительно невысокую зольность и малую влажность, объемный вес его выше других углей. Все эти особенности характеризуют антрацит наравне с хорошими каменными углями как топливо, весьма теплоплотное, вследствие чего и радиус его использования, считая от места добычи, может определяться уже тысячами километров.

Антрацит расходуется преимущественно на цели сжигания, так как выход летучих у него невелик, кокс его рассыпается и, следовательно, не может использоваться, например, для целей выплавки металла.

Теплотворная способность органической массы антрацита достаточно высокая, близкая к углероду, и уступает только некоторым сортам каменных углей вследствие сниженного процента водорода в органической массе (см. рис. 8).

Таблица 12

## Марки донецких антрацитов

Наименование	Марка	Размеры кусков в мм
Плита . . .	АП	> 100
Кулак . . .	АК	От 100 до 50
Крупный орех . .	АО	„ 50 „ 25
Мелкий орех . .	АМ	„ 25 „ 13
Семечко . . .	АС	„ 13 „ 6
Штыб . . .	АШ	„ 6 „ 0
Рядовой со штыбом .	АРШ	„ 100 „ 0

Таблица 13

## Марки подмосковного угля

Наименование	Марка	Размеры кусков в мм
Крупный . . .	К	От 150 до 50
Орех . . . . .	О	„ 50 „ 20
Мелочь с семечком	МС	„ 20 „ 0
Рядовая мелочь . .	РМ	„ 50 „ 0

**Маркировка углей.** Один и тот же тип угля в зависимости от размеров кусков и количества мелочи подразделяется на несколько сортов. Например, у донецкого антрацита и подмосковного угля имеются сортировки, указанные в табл. 12 и 13. Угли других месторождений имеют свою маркировку.

Объемный вес воздушносухих ископаемых углей колеблется в пределах от 600 до 1 000 кг/м<sup>3</sup>. Объемный вес большинства углей приближается к 900 кг/м<sup>3</sup>, меньшие цифры относятся к некоторым бурым углям (исключая подмосковный), наивысший объемный вес принадлежит антрациту.

## § 11. СЛАНЦЫ

Обладая высокой теплотворной способностью горючей массы, сланцы вследствие огромного количества золы являются одним из низкосортных топлив и обычно используются как топливо только при условии сжигания их на месте добычи без сколько-нибудь значительных транспортировок. Большой процент водорода и выход летучих на горючую массу, доходящий до 80%, дают возможность утилизировать сланцы как сырье для газификации, а также химической переработки с целью получения разного рода масел, моторного топлива, химических продуктов и горючего газа.

В табл. 2 приводятся характеристики сланцев трех крупнейших из разрабатываемых в настоящее время в РСФСР месторождений, из них Кашпирское (Куйбышевской области) и Савельевское (Саратовской области) находятся на берегу Волги, Гдовское — в Ленинградской области.

Большое количество серы в приволжских сланцах, придавая им ценность как сырью для получения сернистых соединений, снижает качество сланцев как топлива, так как ухудшаются условия его сжигания.

Большие залежи сланца имеются в Эстонской ССР, причем этот сланец лучшего качества, чем в указанных выше месторождениях, и преимущественно используется для газификации и химической переработки.

В директивах XIX съезда партии имеется решение об увеличении производства искусственного газа из сланцев в Эстонской ССР.

Пересчет состава рабочего топлива для табл. 2 производился с прибавлением к обычным составляющим внешнего балласта еще СО<sub>2</sub>, полученной в результате разложения, происшедшего при лабораторном определении зольности, карбонатов кальция и магния и тем снизившего определяемое количество золы в отличие от истинного.

По данным ВТИ, приводимым А. И. Карелиным, зольность сланцев, полученную лабораторным путем, следует исправить, так

как в процессе прокаливания навески топлива происходит окисление железа, находящегося в колчедане, а при горении серы в навеске образуются сульфаты, не имевшиеся ранее в золе топлива. Истинная зольность может быть подсчитана с учетом лабораторного анализа по формуле

$$A_{\text{ист}}^c = A^c - 2,5a - 0,375S_K^c, \quad (15)$$

где  $a$  для кашпирского и савельевского сланцев можно принимать равным 1,0; для эстонских и гдовского—0,6;

$$A_{\text{ист}}^p = A_{\text{ист}}^c \frac{100 - W^p}{100};$$

$$Q_H^p = Q_H^r \frac{100 - W^p - A_{\text{ист}}^p - (CO_2)_M^p}{100} - 6W^p - 9,7(CO_2)_M^p, \quad (16)$$

где 9,7 — тепловой эффект разложения карбонатов.

Вторая цифра в графе золы табл 2 и указывает значение  $(CO_2)_M^p$ .  
 $S_K^p$ ,  $S_O^p$ ,  $C^p$ ,  $H^p$ ,  $O^p$ ,  $N^p$ ,  $V^p$  подсчитываются по типовой формуле

$$X^p = X^r \frac{100 - W^p - A_{\text{ист}}^p - (CO_2)_M^p}{100}. \quad (17)$$

## § 12. НЕФТЯНЫЕ ОСТАТКИ

Как известно, правильная организация труда и механизация добычи твердого топлива позволяют в несколько раз повысить годовое количество его выработки и тем обеспечить необходимые темпы развития промышленности; механизация в области нефтедобычи дает подобный же эффект при минимальных капиталовложениях. При переходе от примитивного черпания нефти желонками на методы ее добычи глубинными насосами, опускаемыми непосредственно в скважину и приводимыми в движение штангами от привода, расположенного на поверхности земли, или подъема нефти на поверхность за счет давления воздуха или газа, накачиваемых в скважины, нефтеносность пласта используется наиболее полно.

Сырая нефть как топливо не используется. Она предварительно перерабатывается для получения бензина, керосина, масел, парафина и пр. Остающиеся нефтяные остатки — мазут — могут быть использованы для сжигания в топках.

Органическая масса нефти и нефтяных остатков состоит из углерода и водорода, которые образуют в них смесь различных углеводородов. Внутренний балласт ничтожен и исчисляется долями процента; при подсчетах в сумме  $O^o + N^o$  можно принимать

$N^{\circ} = 0$ . В нефтяных остатках имеются следы серы, выражаемые в среднем  $S_{\text{л}}^{\text{r}} = 0,72\%$  для месторождений Баку и Грозного. По мере развития добычи нефти других месторождений СССР — Волжского района, Средней Азии, ДВК — будут уточняться сведения об органическом составе нефтей и их засоренности, в частности серой, количество которой в отдельных случаях может сильно повышаться. Так, для многосернистых мазутов  $S_{\text{л}}^{\text{p}}$  доходит до  $3,9\%$ .

Загрязненность мазута внешним балластом зависит от условий добычи, хранения и перевозок; зольность совершенно ничтожна (доли процента); влажность мазута в местностях, ближе расположенных к промыслам, обычно не превышает  $1\%$ , а по мере удаления увеличивается и в среднем равняется около  $W^{\text{p}} = 3\%$ .

При правильном ведении процесса сжигания мазута образуются только летучие вещества без кокса. Мазут — топливо, легко воспламеняющееся; это свойство необходимо учитывать при хранении и подогреве.

Примесь парафина в нефтяных остатках, не отражаясь на их теплотехнических свойствах, способствует повышению температуры застывания, которая для некоторых мазутов доходит до  $+25^{\circ}$ . Для перекачки и сжигания такой мазут приходится систематически подогревать до  $50—100^{\circ}$ . Первоначальный разогрев мазута в цистернах, баках, нефтехранилищах для последующей перекачки его по трубопроводам осуществляется путем установки в них змеевиков, обогреваемых паром или горячей водой. Нефтехранилища и баки должны сообщаться с атмосферой вытяжной трубой. Линии наружной проводки мазутов утепляются, и рядом с нефтяным трубопроводом пропускаться паровая линия. Для последующей подачи мазута к форсункам он дополнительно подогревается в поверхностных теплообменниках.

При плановом распределении топлива мазуты, застывающие при высоких температурах, назначаются в местности с теплым климатом.

Мазут немного легче воды; удельный вес его колеблется в пределах  $0,890—0,998$ ; вследствие этого примешанная к мазуту вода при хранении в резервуарах может отстаиваться, опускаясь вниз. При вязких мазутах отстаивание может происходить только при прогреве.

Высокие тепловые качества мазута, удобство его перекачивания, хранения и транспортирования, а также максимальная теплоплотность делают его особенно ценным для применения на водном и железнодорожном транспорте.

В табл. 14 приводятся марки мазута и их основные характеристики в соответствии с ГОСТ 1501-42.

Таблица 14

## Характеристика мазута-топлива

Физико-химические свойства	Марки мазута			
	10	20	40	80
Вязкость при 75° в °Е, не более . . . . .	3,6	6,0	10,0	16,5
Температура вспышки по Бренкену в град. не ниже . . . . .	65	80	100	110
Температура застывания в град. не выше <sup>1</sup> . .	+5	+5	+10	+25
Содержание золы в % не более . . . . .	0,3	0,3	0,3	0,3
воды в % . . . . .	2	2	2	2
серы в % . . . . .	4	4	4	4
Температура у механических форсунок в град.:				
минимальная . . . . .	60	75	85	100
нормальная . . . . .	70	85	100	110
Температура у паровых форсунок в град.:				
минимальная . . . . .	45	55	65	80
нормальная . . . . .	55	70	85	95

<sup>1</sup> Для мазутов марок 10, 20 и 40 из парафинистых нефтей допускается температура застывания не выше 25°.

<sup>2</sup> Для мазутов, прошедших водные перевалки, допускается содержание воды не более 5%, а для мазутов, слитых при помощи подогрева острым паром, — не более 7%.

Вязкость мазутов указывается в так называемых градусах Энглера (°Е) и определяется путем отношения времени истечения 200 см<sup>3</sup> исследуемого мазута при заданной температуре из вискозиметра Энглера ко времени истечения 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при 20°С. Температура мазута, при которой происходит воспламенение его паров, называется температурой вспышки и определяется прибором Бренкена. Мазут наливают в особую чашку и постепенно подогревают до тех пор, пока выделяющиеся из чашки пары мазута в смеси с воздухом не дадут воспламенения. Последнее возникает при проведении над чашкой зажигательного устройства.

Температура воспламенения твердого топлива при наличии источников зажигания колеблется от 225 до 300° для торфа и дров, около 450° — для бурых углей и около 700° — для антрацита.

## § 13. ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО

Подобно мазуту газ является очень ценным топливом, в особенности при сжигании его в городах. При сжигании газа не образуется твердых отбросов, легко достигается полное горение. Большое значение имеет природный газ, который при наличии высокой теплотворной способности ( $Q_n^c = 8500 \text{ ккал/нм}^3$ ) экономически целесообразно транспортировать на значительные расстояния. Во время Великой Отечественной войны по инициативе И. В. Сталина

была начата постройка газопровода Саратов — Москва, и в настоящее время Москва получает большое количество высококалорийного топлива, удобного к использованию в бытовых устройствах. Также снабжаются естественным газом Киев, Львов и другие города.

Газообразным топливом являются также отходящие газы коксовальных и доменных печей. Такие газы по большей части используются на отопление близ расположенных котельных установок. В районах, прилегающих к крупным промышленным предприятиям и городам, газ может получаться из твердого топлива в специальных газогенераторных установках и далее транспортироваться как в котельные, так и для сжигания в промышленных и бытовых топочных устройствах.

Впервые на возможность получения газа из углей без извлечения их из земли указал Д. И. Менделеев в 1888 г. В. И. Ленин оценил значение подземной газификации, осуществление которой способствует развитию энерговооруженности страны, освобождает значительные рабочие кадры от тяжелых подземных работ, упрощает оборудование энергетических станций, улучшая санитарные условия в районах, примыкающих к подобным установкам.

Начало практического осуществления подземной газификации было положено И. В. Сталиным, по инициативе которого в 1933 г. была создана организация «Подземгаз», в задачи которой входили разработка и освоение методов подземной газификации.

Теплотворная способность сухого газа (при  $0^\circ$  и 760 мм рт. ст.) может быть определена по формуле

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 142C_{\text{m}}N_{\text{n}} + 55,9\text{H}_2\text{S} + 30,2\text{CO} + 25,7\text{H}_2 + \\ + 85,62\text{CH}_4 \text{ ккал/нм}^3, \quad (18)$$

где  $C_{\text{m}}N_{\text{n}}$  (проценты по объему) могут быть заменены этиленом— $\text{C}_2\text{H}_4$ , —ошибка получается незначительной.

Газ всегда содержит в себе некоторое количество водяных паров. Однако все анализы даются на сухой газ, а в случае надобности рабочий состав газа определяется путем следующего пересчета.

Например:

$$\text{CO}^{\text{P}} = \text{CO} \frac{0,805}{0,805 + z} \%,$$

где 0,805 — вес 1 нм<sup>3</sup> водяного пара в кг;  
z — влагосодержание газа в кг, нм<sup>3</sup>.

## Глава III

## ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ СССР

## § 14. ТОПЛИВНЫЕ ЭКВИВАЛЕНТЫ

Из рассмотрения отдельных видов топлива, начиная с древесины и кончая нефтяными остатками, видно, что теплотворная способность их рабочего состава изменяется в весьма широких пределах: для дров и торфа она равна около 3 000 ккал/кг, доходя для мазута до 10 000 ккал/кг. Даже у одного и того же вида топлива теплотворная способность сильно колеблется в зависимости от засоренности золой и главным образом влагой. Поэтому для возможности получения сравнимых между собой величин, например, запасов топлива, часто вес топлива принимают в условном топливе с  $Q_n^p = 7\,000$  ккал/кг, пользуясь выражением

$$X = \frac{Q_n^p}{7\,000}, \quad (19)$$

где  $X$  — множитель, указывающий, какая часть теплотворной способности условного топлива соответствует теплотворной способности рассматриваемого топлива.

Чтобы сравнить отдельные виды топлива путем сопоставления не только  $Q_n^p$ , но и теплового эффекта, производимого каждым из них в отдельности при сжигании в топках, составлялись таблицы практических топливных эквивалентов, однако ввиду недостаточной изученности ряда топочных устройств, их разнообразия и различного влияния на к. п. д., не говоря уже о факторах чисто эксплуатационного порядка, пользоваться подобными таблицами можно только при грубо прикидочных подсчетах.

Для отопительных котельных ориентировочно могут быть приняты следующие практические топливные эквиваленты<sup>1</sup>:

	<i>a</i>
для дров . . . . .	0,30
„ торфа . . . . .	0,24
„ подмосковного угля . . . . .	0,26
„ антрацита . . . . .	0,67
„ нефтяных остатков . . . . .	1,03

Умножением теплотворной способности условного топлива на коэффициент  $a$  получается количество тепла, полезно используемого при практическом сжигании 1 кг данного топлива ( $7\,000a = Q_1$  ккал/кг).

<sup>1</sup> Ручные решетки без экономайзера

## § 15. ТОПЛИВНЫЕ БАЗЫ СССР И ИХ ЗАПАСЫ

Крупнейшая топливная база Советского Союза находится в азиатской части. Достаточно указать на огромнейшие залежи высококачественных углей Кузнецкого бассейна, по своим запасам превышающего примерно в 5 раз мощность Донбасса, последняя же равняется около 89 млрд. т, или Карагандинского месторождения, запасы которого исчисляются в 53 млрд. т. До революции русская промышленность базировалась главным образом на донецких углях, игнорируя местное топливо, например, торф и подмосковный уголь, и почти совершенно не разрабатывая сибирских углей, причем при расположении заводов-потребителей топлива мало считались с необходимостью приближения подобных предприятий к источникам энергии — угольным месторождениям. В итоге топливоснабжение такого крупнейшего промышленного центра, как Ленинград, и прилегающего к нему Северо-Западного района базировалось на импортном английском угле, ввоз которого достиг в 1913 г. 7,8 млн. т, а Москва и Центральнопромышленный район ориентировались на дальнепривозные донецкий уголь и мазут. Только после Октябрьской революции это характерное для капиталистического строя анархическое хозяйничанье было заменено обдуманном планированием.

При составлении планов развития народного хозяйства большое внимание было обращено на освоение новых крупнейших месторождений металла и топлива.

Так создавалась вторая после Донбасса угольно-металлургическая база, использующая уральские руды и угли Кузбасса, а также угольные залежи третьего района — Караганды.

Параллельно с этим максимально форсировалась добыча местных углей: подмосковного, украинских, т кварчельских в Закавказье, среднеазиатских, печорских на Крайнем Севере, бурейских и букачачинских на Дальнем Востоке и др. Так были созданы новые угольные базы.

Таблица 15

## Запасы топлива в СССР

Вид топлива	Общегеологические запасы топлива
Ископаемые угли . . . . .	1 654 млрд. т натурального веса
Сланцы . . . . .	60,5 " " " "
Нефть . . . . .	6,4 " " " "
Торф воздушносухой . . . . .	145,3 " " " "
Природный газ . . . . .	986 " м <sup>3</sup> " "
Древесное топливо . . . . .	24,3 " " " "



В стране, занимающей огромную площадь, особо важен переход на местное топливо, будь то уголь, торф или сланцы. Это облегчает железнодорожный транспорт, ликвидирует перебои в снабжении, способствует росту местной промышленности.

По данным XVII международного геологического конгресса 1937 г., запасы топлива в СССР характеризуются следующими цифрами (табл. 15).

По материалам того же геологического конгресса можно привести интересную таблицу сопоставления запасов нефти в разных странах. Цифры, приводимые в таблице, весьма убедительно раскрывают причины, оказывающие влияние на направление внешней политики капиталистических стран.

Таблица 16

**Промышленные запасы нефти (в млн. т)  
натурального веса**

Страны	Промышлен- ный запас	Страны	Промышлен- ный запас
СССР . . . . .	3 877,2	Голландская Ост-	
США . . . . .	1 765,3	Индия . . . . .	138
Ирак . . . . .	395	Румыния . . . . .	61
Иран . . . . .	299	Япония . . . . .	59,5
Венецуэла . . . .	235,1	Прочие . . . . .	~ 247,1

### § 16. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА

Гигантские темпы индустриализации и развитие промышленности, сельского хозяйства и транспорта в СССР в значительной степени характеризуются все нарастающим повышением добычи основных видов топлива.

И. В. Сталин в своей исторической речи на предвыборном собрании избирателей Сталинского избирательного округа Москвы 9 февраля 1946 г. привел яркие показатели темпов развития топливодобычи в СССР.

Если в 1913 г. в России было добыто 29 млн. т угля и 9 млн. т нефти, то в 1940 г. угля уже было добыто 166 млн. т, т. е. в 5,5 раза больше, и 31 млн. т нефти, т. е. в 3,5 раза больше по сравнению с 1913 г.

В конце своей речи товарищ Сталин сказал: «Нам нужно добиться того, чтобы наша промышленность могла производить ежегодно до 50 миллионов тонн чугуна, до 60 миллионов тонн стали, до 500 миллионов тонн угля, до 60 миллионов тонн нефти. Только при этом условии можно считать, что наша Родина будет гарантирована от всяких случайностей. На это уйдет, пожалуй,

три новых пятилетки, если не больше. Но это дело можно сделать, и мы должны его сделать».

Нет сомнения, что это задание, с энтузиазмом воспринятое всей страной, будет выполнено и перевыполнено.

Иллюстрацией широчайшего роста производительных сил страны являются директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 гг., по которым в сравнении с 1950 г. увеличивается добыча:

чугуна . . . . .	на 76%
стали . . . . .	» 62%
проката . . . . .	» 64%
угля . . . . .	» 43%
нефти . . . . .	» 85%

В разделе первом директив даются подробные указания в отношении мероприятий, связанных с увеличением добычи топлива и его переработкой. Так, например, значительно должна быть увеличена мощность заводов по первичной переработке нефти и по ее крекированию. Одновременно предлагается развивать и производство искусственного жидкого топлива. Необходимо расширить добычу природного газа (на 80%) и его использование для бытовых нужд. Также предусматривается увеличение производства искусственного газа из сланцев. По твердому топливу предусматривается развитие добычи угля, предназначенного для коксования; указывается на необходимость улучшить качество угля, его обогащение и брикетировку. За текущее пятилетие будет увеличена и добыча торфа, местных углей и сланцев.

---

## РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

### ТОПКИ

---

#### *Глава IV*

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ

#### § 17. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

В качестве теплоносителя, доставляющего тепловую энергию к ее потребителям, обычно используется пар или горячая вода. В обоих случаях котельная установка представляет собой генератор, преобразующий в тепло химическую энергию топлива.

Основными элементами современной котельной установки являются: топка, котел, пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель, в целом — называемые котлоагрегатом, а также тягодутьевые, питательные устройства, оборудование топливоподачи и золоудаления. Рабочими телами, участвующими в процессах тепловых трансформаций, служит топливо, воздух, вода.

Топливо, сгорая в топке, т. е. вступая в химическую реакцию с кислородом воздуха, образует горячие газы, которые далее при помощи тяговых устройств проводятся по газоходам котлоагрегата, охлаждаются и выбрасываются в окружающую среду.

В барабане парового котла пар получается насыщенный, и в случае надобности он перегревается путем пропуска по особым змеевикам, располагаемым в большинстве случаев за первым газоходом котла. Полученные в топке газы, пройдя котел и перегреватель, обычно имеют высокую температуру — около 300—450°, и их невыгодно выбрасывать в трубу. Для повышения экономичности установки за котлом устанавливают дополнительные поверхности нагрева: экономайзер, подогревающий воду, идущую на питание котла, и воздухоподогреватель, снабжающий топку горячим воздухом.

В отопительных установках воздухоподогреватели по причинам, о которых будет указано в дальнейшем, пока не получили сколько-нибудь значительного распространения.

В настоящее время наибольшим распространением пользуются так называемые водотрубные котлы, представляющие собой

герметически закрытые сосуды, состоящие из большого количества кипяtilьных труб (рис. 9а и 9б), концы которых ввальцованы в барабаны или коллекторы. Котлы, кипяtilьные трубы которых только немного наклонены к горизонту (рис. 10 — котел в монтаже), называются горизонтально-водотрубными в отличие от вертикально-водотрубных (рис. 11) — с трубами, расположенными более отвесно. Котел заполняется водой примерно до середины верхнего барабана, верхняя часть которого используется для сбора пара. Горячие газы, полученные в топке, омывают трубы котла, внутри которых находится вода; последняя доводится до кипения, и образующиеся на поверхностях нагрева пузыри пара выносятся в паровое пространство. Кипяtilьные трубы, ближе расположенные к топке, обогреваются более интенсивно и в них образуется пароводяная эмульсия с объемным весом меньше, чем имеет вода. Так как все кипяtilьные трубы соединены между собой, образуя сообщающиеся сосуды, то из-за разных объемных весов в котельных трубах в котле начинается циркуляция. По мере обогреваемых трубам, находящимся в последних газоходах котла, вода из верхнего барабана опускается вниз, а по интенсивно обогреваемым трубам поднимается пароводяная эмульсия. Пар из последней выделяется в верхнем барабане с водяного уровня (зеркало испарения), а вода возвращается в систему труб котла.

Чем лучше циркуляция в котле, чем удачнее его конструкция, тем легче отделяется пар и скорее выравнивается температура воды в различных пунктах котла при растопках, тем, наконец, быстрее смешивается питательная вода с общей водой котла, приобретая температуру, соответствующую давлению. В отличие от котла, в котором температура воды во всех пунктах одинакова, в экономайзере она везде разная; этот процесс постепенного нагревания характерен для водяного экономайзера и для водогрейных котлов.

Котельная установка может и не иметь всех перечисленных элементов; так, могут отсутствовать воздухоподогреватель, водяной экономайзер, пароперегреватель, а также иногда и котел, заменяемый в водогрейной установке водяным экономайзером с непосредственно к нему приключенной топкой.

На рис. 9а и 9б приводится чертеж котельной установки, состоящей из вертикально-водотрубного котла с присоединенной к нему топкой, механически забрасывающей топливо в топку. Чтобы не затемнять чертежа, часть труб котла, как находящихся в пределах газоходов, так и в экранирующих топочную камеру, показана только в осевых линиях. На продольном разрезе показаны габариты пароперегревателя, а на следующей проекции можно видеть конфигурацию змеевиков пароперегревателя.

Концы змеевиков присоединены к входному и выходному коллекторам, расположенным по боковым сторонам котла вне его обмуровки.

За котлом установлен водяной экономайзер из чугунных ребристых труб. Питательная вода последовательно проходит по всем

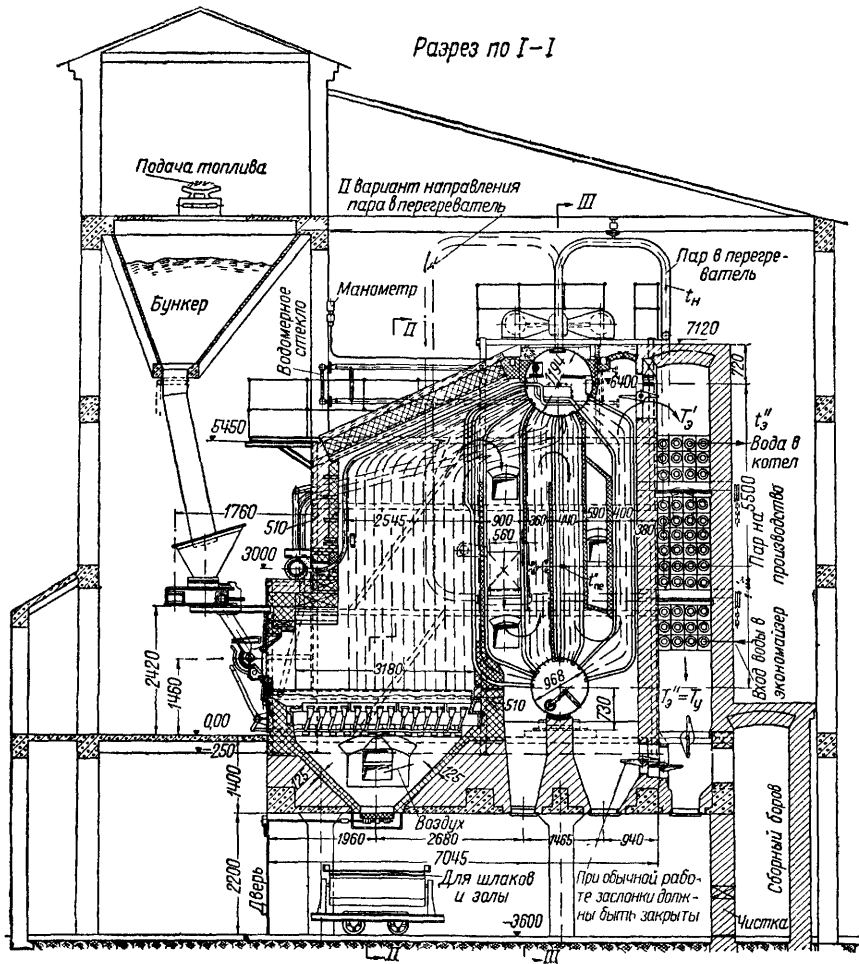


Рис. 9-а

трубам, двигаясь по рядам труб снизу вверх. По выходе из экономайзера подогретая вода направляется на питание котла в верхний барабан. На рис. 9а и 9б показано также устройство систем топливоподдачи и золоудаления. В верхней части здания котельной располагаются бункеры, в которые топливо подается механиче-

скими приспособлениями, а из них оно поступает к топкам за счет силы тяжести. Если котел оборудуется колосниковыми решетками с ручным обслуживанием, то обычно топливо подвозится к топочному фронту на вагонетках, перемещаемых по узкоколейной железной дороге вручную. Надобность в бункерах в таком случае отпадает.

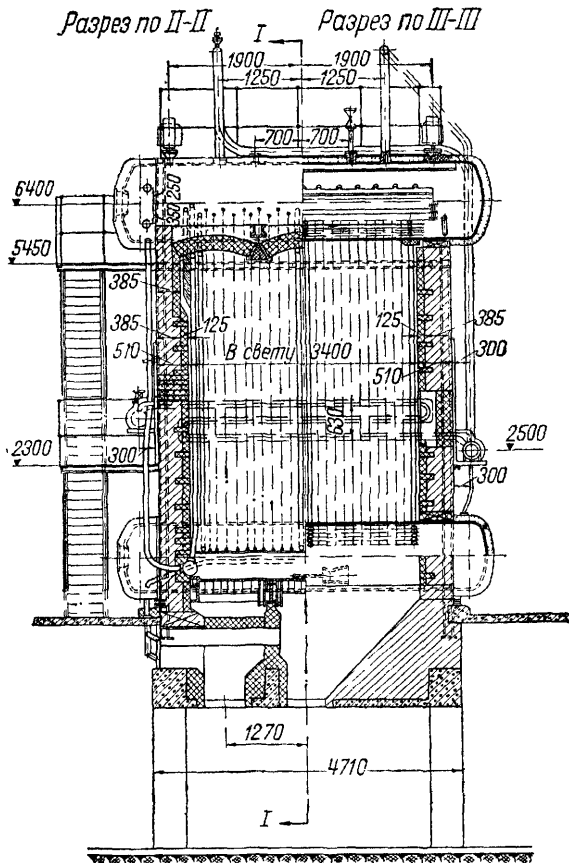


Рис. 9-6

В первом этаже котельного здания показана вагонетка, на которой отвозятся шлак и зола за пределы котельной. Шлак и зола с полотна колосниковой решетки постепенно отводятся в шлаковый бункер в результате покачивания колосников. В некоторых конструкциях шлак направляется в бункер при периодиче-

ской чистке топки, когда часть полотна колосниковой решетки поворачивается на угол в  $90^\circ$ , образуя таким образом проем, через который вручную и сбрасывается шлак. Очаговые остатки, поступившие в шлаковый бункер, сбрасываются в вагонетку, заливаются водой и вывозятся из котельной.

Обмуровка котла производится кирпичом, причем в местах с высокими температурами стены футеруются огнеупорным кир-

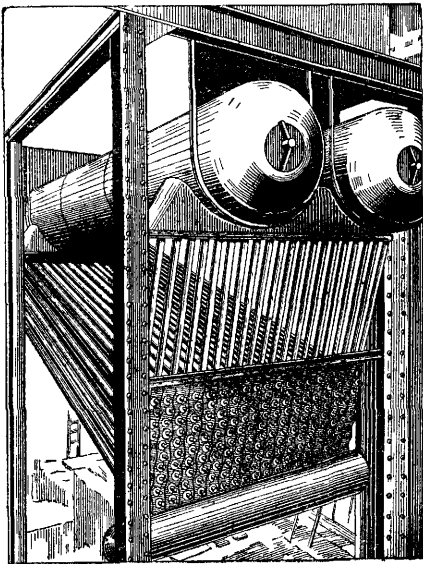


Рис. 10

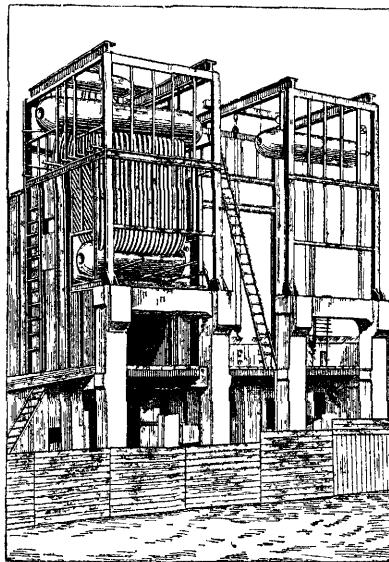


Рис. 11

пичом. Обмуровка выкладывается на глине. В местах пониженных температур иногда применяют сложный раствор. Обмуровка снаружи укрепляется металлическим каркасом. Газоходы котла отделяются друг от друга шамотными перегородками.

В случаях необходимости по тем или иным причинам выключения экономайзера газы могут быть направлены в сборный боров, минуя экономайзер (см. рис. 9а). Количество питательной воды, подаваемой насосом через экономайзер в котел, регулируется вручную или автоматически, с тем чтобы уровень питательной воды находился в пределах водомерного стекла.

Котел при изготовлении рассчитывается на определенное давление, наблюдение за которым производится по манометру. Последний является одним из основных приборов, по которому следят за работой котла. Если увеличивается расход пара, то давление в котле падает, кочегар начинает форсировать топку, увеличивая подачу воздуха и топлива.

## § 18. ПРОСТЕЙШАЯ СХЕМА ТОПОЧНОГО УСТРОЙСТВА

При сжигании твердого кускового топлива на колосниковой решетке под понятием «топка» подразумеваются: колосниковая решетка, поддерживающая слой кускового топлива, с целью проведения через него требующегося для горения воздуха, и топочное пространство, в котором сгорают горючие летучие вещества.

Работа простой колосниковой решетки с ручным обслуживанием (рис. 12) происходит таким образом: кочегар периодически забрасывает новые порции топлива на лежащий на решетке горящий слой и очищает топку от золы и шлака. Свежезагруженное топливо, попадая в зону высоких температур и на накалившиеся куски, начинает быстро подсушиваться, затем газифицироваться, причем выделяющиеся водяной пар и летучие вещества направляются в топочное пространство, где и сгорают их горючие эле-

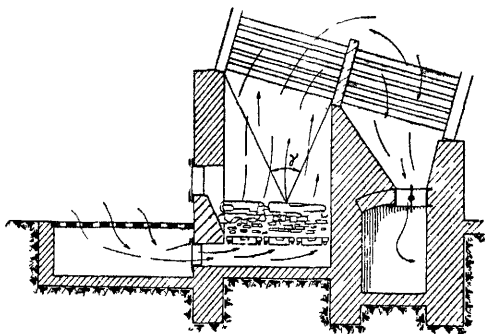


Рис. 12

менты, а кокс горит, находясь на колосниках. Необходимый для горения кислород доставляется с воздухом, поступающим под колосниковую решетку. Воздух за счет тяги и вентиляторного дутья входит в поддувало, далее проходит через колосниковую решетку, потом через слой топлива, вступая в реакцию с последним, оставшаяся часть воздуха попадает в топочное пространство и расходует на сжигание горючей части летучих веществ.

Следует отметить большое достоинство простой колосниковой решетки, связанное с двойным зажиганием свежезагруженного топлива. Топливо зажигается снизу от горящего на решетке слоя и сверху вследствие излучения горящего, сильно нагретого факела.

В дальнейшем при рассмотрении шахтных и механических топок можно проследить стремление подойти к двойному зажиганию с целью обеспечения быстрого горения топлива в слое.

## § 19. ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ

Если горючие элементы, находящиеся в топливе, сгорают полностью, т. е. после реакции горения углерода получается  $\text{CO}_2$ , водорода —  $\text{H}_2\text{O}$  и серы —  $\text{SO}_2$ , то отходящие из топки газы в своем составе не будут иметь горючих элементов. Однако при



неумелом конструировании топки или при неправильном ее обслуживании можно в результате реакции сгорания получить и горючие газообразные вещества; это указывает, что не вся химическая энергия выделилась в процессе сжигания, часть ее еще осталась в отходящих газах, и, следовательно, в дымовую трубу попадут не только газы полного сгорания, но и такие, которые еще могли бы сгореть и выделить тепло.

Конечно, подобная работа топки нежелательна, надо стараться полнее использовать химическую энергию топлива, а не выбрасывать ее частично в окружающую атмосферу. В дальнейшем будут рассмотрены причины, вызывающие потери от этой так называемой химической неполноты сгорания. В отличие от химической имеется еще механическая неполнота сгорания, происходящая вследствие того, что часть мелких частичек топлива проваливается в поддувало через щели колосниковой решетки (провал), а также выносится из слоя, осаждаясь затем в газоходах или вместе с отходящими газами рассеиваясь в окружающую среду (унос). При чистке топки от золы и шлаков неминуемо вместе со шлаками выбрасывается и некоторое количество горючего, составляя третью разновидность потери от механического недожога — потери в шлаках. При чистке топки шлаки выбрасываются с высокой температурой, создавая дополнительную потерю с физическим теплом шлаков.

Чтобы ярче обрисовать картину сжигания топлива в топке, следует выделить основные факторы, опуская второстепенные, поэтому при рассмотрении топочных процессов считается, что на колосниках горит кокс топлива, а в топочном пространстве — горючие летучие вещества, хотя часть летучих, выделяясь, горит и в самом слое, а кокса — в топочной камере.

В топочном пространстве сгорают горючие летучие вещества, и в нем для возможности нормального развития процесса горения обеспечивается температура порядка  $1000^{\circ}$ . Важно, чтобы каждая молекула газа, выходя из куска топлива, загораясь и двигаясь к котлу, смогла бы сгореть до момента ее соприкосновения с относительно холодной стенкой котла. В противном случае получают охлаждение и затухание конца пламени, соприкасающегося с котлом, часть горючих не сгорит и улетит в трубу, создавая потерю от химической неполноты сгорания, в состав которой могут входить различные углеводороды, водород и окись углерода.

Таким образом, молекула газа, увлекаемая тягой, летит и в то же время горит. Для сгорания требуется время; следовательно, надо установить определенной длины путь от слоя до стенки котла. Этот путь в свою очередь обусловит некоторый объем топочного пространства, необходимый для полного сгорания. Сложность

теоретических подсчетов скоростей горения различных по своему составу газов, выделяемых при накаливании кускового топлива и сгорающих в топочном пространстве, пока не позволяет расчетным путем решить вопрос о выборе должного объема топочного пространства. Обыкновенно для различных по своему составу топлив, а также и применительно к определенным системам топок экспериментально выясняется допустимое тепловое напряжение объема топочного пространства. Имея подробный цифровой материал, им уже в дальнейшем пользуются при проектировании однотипных топок.

Тепловое напряжение объема топочного пространства выражается зависимостью

$$\frac{Q}{V_T} \text{ тыс ккал/м}^3\text{час}$$

где  $Q = BQ_n^n$  — количество тепла, выделяющееся при сжигании  $B$  кг/час топлива с теплотворной способностью его рабочего состава  $Q_n^n$  ккал/кг;  
 $V_T$  — объем топочного пространства в  $\text{м}^3$ .

Для рассматриваемого случая сжигания топлива на колосниковой решетке объемом топочного пространства следует считать кубатуру, ограничиваемую снизу слоем топлива, сверху — трубами котла и с боков — стенами обмуровки. Но не всегда объем топочного пространства определяется таким образом. Соответствующие указания приводятся при рассмотрении топочных устройств. Значения  $\frac{Q}{V_T}$ , при которых не получается сколько-нибудь значительной потери от химической неполноты сгорания, приведены в табл. 25. Изменяя числитель этого выражения, т. е. изменяя  $B$ , одновременно надо соответственно изменить и  $V_T$ . Таким образом, конфигурация выполненного топочного объема обуславливает предельное сжигание топлива за 1 час.

На колосниковой решетке горит кокс топлива. Тяговые и дутьевые устройства позволяют установить разность давлений под слоем и над слоем топлива, за счет которой воздух будет пронизывать слой.

Горение углерода в слое экспериментально изучалось многими исследователями, отечественными и зарубежными, но результаты исследований до последнего времени получались весьма разноречивыми.

Лауреатом Сталинской премии Х И Колодцевым в результате применения очень точной и оригинальной методики экспериментирования изучена картина горения углерода в слое. Основные исследования были проведены при сжигании электродного угля, имеющего в своем составе 98,6% углерода.

Дополнительно были исследованы условия горения углерода в слоях: подмосковного угля, древесного угля и антрацита. Течение процесса горения по высоте слоя топлива указано на рис. 13, 14, 15. Как это видно из приводимых графиков, качественно характер горения слоя остается неизменным для всех топлив.

Частицы кислорода воздуха, входя в слой топлива, вступают в реакцию с углеродом с образованием  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ . Количество углекислоты довольно быстро нарастает, достигая максимума, после чего начинает резко увеличиваться количество окиси угле-

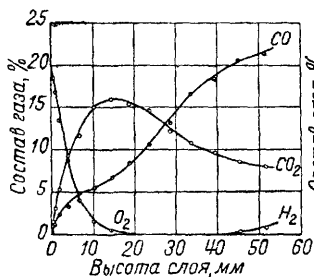


Рис. 13. Газообразование в слое антрацита. Размер частиц 7,2—9,0 мм, скорость дутья 0,5 м/сек

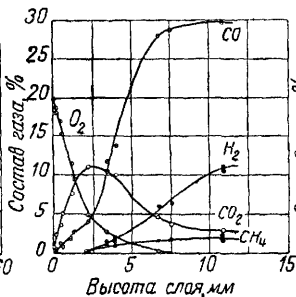


Рис. 14. Газообразование в слое подмосковного угля. Размер частиц 4,8—6,0 мм, скорость дутья 0,5 м/сек

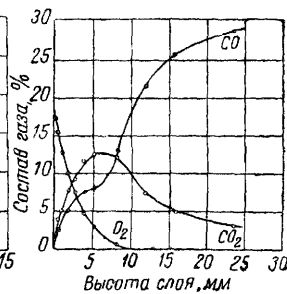
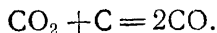


Рис. 15. Газообразование в слое древесного угля. Размер частиц 6,0—7,2 мм, скорость дутья 0,5 м/сек

рода, а  $\text{CO}_2$  падает. Необходимо отметить, что реакция с образованием  $\text{CO}$  называется неполным горением, так как тепла выделяется меньше, чем при сгорании в  $\text{CO}_2$ . Углерод, сгорая в  $\text{CO}$ , выделяет лишь 2 179 ккал/кг.

Весь процесс сгорания слоя подразделяется на две зоны: окислительную, в которой имеется свободный кислород, и восстановительную, где происходит реагирование  $\text{CO}_2$  и  $\text{C}$  по уравнению



Эта реакция идет с поглощением тепла.

Детально изучая при различных условиях горение углерода в слое, Х. И. Колодцев сделал ряд выводов, которые могут быть использованы в практических условиях при слоевом сжигании твердого топлива.

Главнейшие из этих выводов, освещающие характер горения слоя топлива, следующие:

1) при увеличении скорости дутья размер кислородной зоны остается неизменным, равным для антрацита примерно 2,5 диаметра, а на древесном и подмосковном углях — порядка 1,5 диаметра частиц сжигаемого топлива;

2) при заданном режиме процесса максимальное значение температуры в слое соответствует наибольшей концентрации  $\text{CO}_2$ , т. е. относится к концу кислородной зоны;

3) при нагревании воздуха размеры обеих зон — кислородной и восстановительной — заметно сокращаются.

Режим работы топки при слоевым сжиганием топлива может быть двояким.

Можно держать на решетке толстый слой топлива, с тем чтобы захватить и восстановительную зону, тогда через слой не будет проходить избыточный воздух, кислород которого требуется для сжигания горючих летучих веществ в топочном пространстве. В таком случае в топочное пространство приходится вводить вторичный воздух. Необходимо отметить, что в подобном случае перегружается работа топочного пространства, что вызывает необходимость увеличивать его размеры. В слое при отсутствии транзитного воздуха, направляющегося через слой в топочное пространство, развиваются более высокие температуры, вызывающие при сжигании антрацита на простых решетках коробление и перегорание колосников, а также плавление шлака; кочегару приходится выгребать из топки не спекшуюся, а тестообразную массу.

При сжигании высококалорийных топлив на простой решетке следует рекомендовать второй метод сжигания, когда весь требующийся для горения топлива воздух проводится через слой, что облегчает эксплуатационные условия по обслуживанию топки и разгружает работу топочного пространства.

В таком случае толщину слоя нужно ограничивать пределами кислородной зоны примерно на максимальных значениях  $\text{CO}_2$ .

Увеличение толщины слоя топлива за пределы указанных максимальных значений  $\text{CO}_2$  будет повышать потерю от химической неполноты сгорания (см. изменение процентов  $\text{CO}$  на рис. 13, 14, 15).

В практических условиях при эксплуатации топки из-за неровности слоев топлива и шлака в различных пунктах колосниковой решетки, а также вследствие неодинаковых размеров кусков топлива не все частицы кислорода воздуха, идущие по слою, принимают участие в реакции горения. Значительная часть воздуха проходит через слой, не вступая вообще в реакцию; в дальнейшем уже в топочном пространстве кислород этого воздуха, смешавшись с горючими летучими веществами, используется для их сжигания, но все же в отходящих газах всегда имеется свободный кислород даже и при неполноте сгорания, так как для реакции сгорания нужно хорошее взаимное перемешивание горючих газов и воздуха в топочном пространстве, часто практически осуществляемое в недостаточной степени.

Если слой топлива будет тоньше нормального, то хотя неполнота сгорания и уменьшится, но зато сильно увеличится в отходя-

щих газах количество ненужного, избыточного воздуха, так как уже чересчур много частичек кислорода воздуха пройдет через слой, не успев вступить в реакцию. Лишний воздух войдет в топку, нагреется и затем достаточно еще горячим будет выброшен в в дымовую трубу, повышая потерю тепла с отходящими газами. Кроме того, избыточный воздух, увеличивая объем топочных газов, будет снижать их температуру и тем самым тепловую эффективность. Следовательно, и чрезмерно тонкий слой топлива, несмотря на уменьшение неполноты сгорания, также ухудшает тепловую работу топочного устройства. Чем ровнее при правильно выбранной толщине кочегар держит слой топлива, чем равномернее куски этого топлива, чем, наконец, лучше завихривание факела в топочном пространстве, тем меньше пройдет излишнего воздуха, однако работа колосниковой решетки считается очень хорошей, если к воздуху, требующемуся для сжигания, добавляется только 30% избыточного.

Подыскать правильный размер слоя топлива можно, постепенно увеличивая его толщину, снижая тем самым количество ненужного и вредного излишнего воздуха; но это можно делать только до известного предела, иначе в топочном пространстве не смогут выгореть все продукты неполного сгорания, что будет вызывать потерю тепла от неполноты сгорания.

Поэтому хорошо работающая топка должна характеризоваться минимально возможным избытком воздуха при одновременном полном сгорании.

Таким образом, правильно выбранная толщина слоя топлива и соответственно развитый объем топочного пространства гарантируют хорошее качество процесса горения. При изменении количества сжигаемого в единицу времени топлива следует, пользуясь приспособлениями, увеличивающими или уменьшающими тягу или дутье под решетку, подавать в топку больше или меньше воздуха, причем слой топлива в соответствии с выводами Х. И. Колодцева должен оставаться неизменным по высоте.

## § 20. ЗНАЧЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ТОПЛИВА

При сжигании топлива на колосниковой решетке, на которую периодически вручную забрасываются новые порции топлива, нельзя удержать одинаковый по толщине слой. Он будет меняться, достигая максимальных размеров при загрузке свежих порций и утончаясь по мере выгорания топлива впредь до новой загрузки. Явления, происходящие при горении слоя с периодической загрузкой, иллюстрируются диаграммой проф. К. В. Кирша (рис. 16).

На диаграмме по оси абсцисс откладывается время, отмечается период между двумя загрузками топлива. Считая, что тяга не регулируется, общее количество воздуха, проходящего в топку через слой воздуха, изобразится линией *ab*, постепенно повышающейся по мере прогорания слоя и уменьшения вследствие этого его газового сопротивления. Из поступившего в топку воздуха не все его частицы используются на сгорание как в слое, так и в топочном пространстве, часть из них остается неиспользованной, причем чем меньше летучих в топочном пространстве, тем больше получается возможностей для проскальзывания, не вступая в реакцию, отдельных струек воздуха.

Учитывая эти соображения, на диаграмме нанесена линия *cd* изменения количества воздуха, подающегося использованию на цели сжигания. Загруженное на горячий слой свежее топливо сначала подсыхает, потом начинает бурно газифицироваться, для сжигания выделяющихся летучих веществ уже не хватает воздуха, появляется неполнота сгорания, постепенно

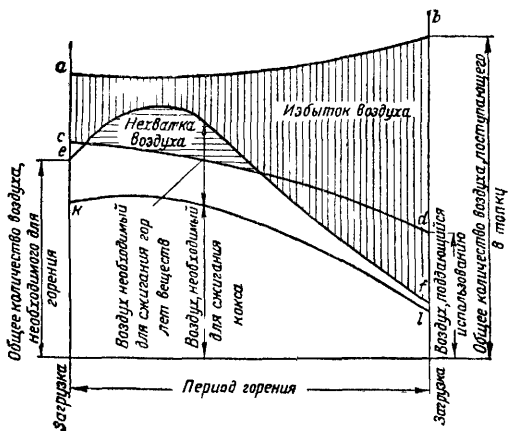


Рис. 16

исчезающая по мере затухания процесса коксования заброшенных порций топлива. К концу периода между отдельными загрузками горит главным образом кокс на решетке и при утонченном слое получается полное сгорание с большим избытком воздуха. Таким образом, при сжигании кускового топлива на колосниковой решетке с ручным обслуживанием приходится считаться с двумя потерями: химической неполнотой сгорания в первые моменты после загрузки и увеличенной потерей с отходящими газами в конце.

Изменение требуемого количества воздуха для горения в течение периода характеризуется кривой *ef*. В сущности были только два момента хорошей работы топки без чрезмерного избытка воздуха и при полном сгорании — это в местах пересечения линий *cd* и *ef*. Поэтому при сжигании топлива на колосниковых решетках приходится мириться с возникающими при этом тепловыми потерями, обусловленными периодическим забрасыванием топлива. При экспериментировании устанавливают такую среднюю

толщину слоя топлива, чтобы сумма потерь от неполного сгорания и с отходящими газами достигала бы минимального значения.

Следовательно, правильно выбранная толщина слоя топлива будет являться в данном случае линией, около которой колеблется слой топлива, повышаясь при загрузке и понижаясь при прогаре. Очевидно, чем меньше получится диапазон этих колебаний, тем ближе будут подходить условия горения к нормальным, меньше будут мешки, образуемые взаимным пересечением линий  $cd$  и  $ef$ , а этого можно достигнуть, чаще загружая топливо более мелкими порциями. Последнее мероприятие особенно следует подчеркнуть, так как кочегары часто его игнорируют.

Периоды между отдельными забросами топлива рекомендуется брать при антраците (наиболее теплоплотном топливе) 7—8 мин., для остальных топлив желательнее еще короче.

В практике топкостроения уже пытались уничтожить эти дефекты работы колосниковой решетки. Так, в топочное пространство в период максимальной газификации вводился добавочный воздух. Регулировка моментов впуска этого добавочного воздуха должна производиться каждый раз применительно к составу топлива и условиям его сжигания, иначе вместо пользы может получиться вред; главным образом вследствие этих обстоятельств это мероприятие и не получило распространения. Другим мероприятием, улучшающим тепловую работу топки и облегчающим труд кочегара, явилось сокращение почти до нуля интервалов времени между отдельными загрузками и введение непрерывной заброски топлива особыми механизмами, так называемыми «механическими кочегарами».

В шахтных топках (рис. 33), а также на механических решетках (рис. 66) слой топлива, изменяясь по толщине в пространстве, что для некоторых топлив и топок целесообразно и о чем будет говориться ниже, не изменяет своих размеров во времени. Поэтому в подобных случаях можно, установив должные соотношения по толщине слоя, достигнуть полного сгорания, и оптимальная сумма потерь получится при отсутствии одной из них, т. е. неполноты сгорания.

Требующийся объем топочного пространства выясняется в процессе проектирования топки. Нужную толщину слоя устанавливают при эксплуатации в зависимости от сорта топлива, крупности его кусков, влажности, структуры, степени горючести и пр.

Контролировать, удачно ли выбрана толщина слоя, можно двояко. Лучше всего, конечно, при помощи приборов — газоанализаторов, показания которых дают возможность судить как о полноте сгорания топлива, так и об избытке воздуха. В случаях отсут-

ствия приборов при сжигании всех топлив за исключением антрацита, почти не имеющего выхода летучих, появление химической неполноты сгорания определяется по дыму, а должный избыток воздуха можно приблизительно оценить по форме и цвету факела. При полном сгорании и одновременном малом избытке воздуха пламя получается прозрачное, соломенно-желтого цвета и длинное. В случаях большого избытка воздуха пламя, не изменяя своей прозрачности, становится коротким. При неполном сгорании пламя, оставаясь длинным, краснеет и в нем появляются темные прослойки. Труднее ориентироваться при сжигании антрацита. Признаком неполного сгорания являются голубые язычки горячей окиси углерода, появляющиеся над слоем антрацита и при очень сильной неполноте сгорания даже залетающие в котельные газоходы. Установленная тем или иным способом правильная толщина слоя колеблется для разных видов и сортов топлива в значительных пределах, что иллюстрируется приводимыми данными ориентировочной толщины слоя для различных топлив.

Название и характеристика топлива	Толщина слоя в м
Крупные неколотые осиновые дрова $W^P=40\%$	1 400
„ „ березовые „ $W^P=40\%$	1 000
Торф кусковой $W^P=45-50\%$	900
Березовые дрова колотые воздушносухие	500
Торф кусковой $W^P=30\%$	400
Антрацит крупный	200
„ мелкий	100 и менее
Подмосковный уголь	50 „ „

## § 21. РЕГУЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА СЖИГАЕМОГО ТОПЛИВА

Усиливая тягу, можно ввести больше воздуха в топку; кислород, проходя по слою и вступая в реакцию, распределяется на большее количество струек. С увеличением скорости движения воздуха между кусками топлива увеличивается и скорость горения, в итоге получается больше тепла за счет увеличения количества сжигаемого топлива. В топку при этом приходится забрасывать увеличенное количество топлива, но среднюю толщину слоя, как на это указывалось выше, изменять не следует.

Тяговым устройствам в дальнейшем будет посвящена отдельная глава. Пока же сообщаются только начальные сведения о тяге и методах ее измерения. Если представить себе дымовую трубу (рис. 17), наполненную горячим газом, то в различных пунктах по ее высоте установятся давления, равные давлению атмосферы  $p$  на горизонте  $ab$ , совпадающем с верхом трубы, плюс вес соответствующего столба горячих газов  $p_2 = p + \gamma_r h$ , где  $p$  выражает давление атмосферы в  $кг/м^2$ ,  $h$  — высоту в м и  $\gamma_r$  — вес единицы объема горячих газов в  $кг/м^3$ . На том же расстоянии  $h$  от верха



трубы давление атмосферного воздуха подсчитывается по аналогичному выражению  $p_1 = p + \gamma_v h$ ; это давление будет выше предыдущего, так как вес единицы объема холодного воздуха окружающей среды больше веса горячего газа в трубе. Разность давлений равна

$$p_1 - p_2 = \Delta p = (p + \gamma_v h) - (p + \gamma_r h) = h(\gamma_v - \gamma_r) \text{ кг м}^2. \quad (20)$$

Получившееся выражение указывает, что чем выше труба, тем разность давлений будет все увеличиваться. Если теперь внизу трубы сделать отверстие  $c$ , то давление воздуха с одной стороны этого отверстия и газов с другой — будут неодинаковы.

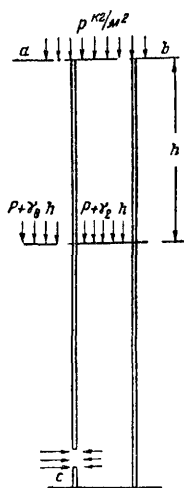


Рис. 17

В трубе давление меньше, чем снаружи, и воздух начнет входить в трубу в таком количестве и с такими скоростями, чтобы газовое сопротивление входного отверстия уравновесило перепад давлений. Разность давлений и побуждает воздух входить под колосники решетки топочных устройств, где в результате сгорания образуются горячие газы, причем аналогично с сопротивлениями в трубе здесь разность давлений уравновешивается суммой газовых сопротивлений, слоя топлива, газоходов котельной установки и специально изменяющих тягу заслонок. Потребную разность давлений можно создать и искусственно, отсасывая отходящие из установки газы посредством вентилятора (дымососа).

Величина тяги измеряется тягомерами — приборами, прототипом которых является U-образно согнутая стеклянная трубка, наполненная водой (рис. 18). Присоединяя один конец трубки к газоходу и оставляя другой открытым в атмосферу, можно будет определить разрежение по отношению к атмосферному давлению в данном пункте, измеряя получившуюся разность уровней в миллиметрах. Разрежение, измеренное в миллиметрах водяного столба, по своей цифровой величине как раз соответствует разности абсолютных давлений, что подтверждается следующими рассуждениями. Если взять  $1 \text{ м}^3$  воды, то при столбе воды в  $1 \text{ м}$  давление на площадь будет равно  $1000 \text{ кг/м}^2$ , а следовательно, на каждый миллиметр высоты водяного столба приходится давление, равное  $1 \text{ кг/м}^2$ ; таким образом, измеряя разность высот воды в миллиметрах, получаем цифровую величину, выражающую разность абсолютных давлений в  $\text{кг/м}^2$ . Разрежение, указываемое тягомером, обозначается буквой  $S$  в миллиметрах водяного столба. Разность разрежений в двух пунктах газохода обозна-

чается  $\Delta S$  мм вод. ст. Имея разрежение в топке и открывая дверку поддувала, тем сообщая его с атмосферой, получают поток воздуха через слой топлива.

На рис. 19 показано графическое распределение разрежений на отдельных участках котельной установки.

В установку включены: котел, пароперегреватель и экономайзер. Тяга осуществляется дымовой трубой. Высота трубы выбирается такой, чтобы всегда имелся некоторый запас тяги, т. е. разрежение  $S_{тр}$ , создаваемое трубой, должно быть больше суммы всех сопротивлений, получающихся в процессе прохождения газов по газоходам установки. Избыток тяги дросселируется одной из заслонок.

На диаграмме рис. 19 указаны все сопротивления, начиная от трубы к топке, состоящие из следующей суммы:

$$\Delta S_{\delta} + \Delta S_p + \Delta S_{эк} + \Delta S_p + \Delta S_{\delta} + \Delta S_p + \Delta S_{к+пе} + \Delta S_T + \Delta S_{пд} + \Delta S_{р.п} = S_{тр} \text{ мм вод. ст.}, \quad (21)$$

где  $\Delta S_{эк}$  — газовое сопротивление экономайзера;

$\Delta S_{к+пе}$  — то же, котла и перегревателя;

$\Delta S_T$  — то же, топки;

$\Delta S_{\delta}$  — то же, одного из участков боровая;

$\Delta S_p$  — то же, рамки заслонки, если последняя полностью открыта, или самой заслонки (регистр, шибер);

$\Delta S_{пд}$  — газовое сопротивление канала поддувала;

$\Delta S_{р.п.}$  — то же, регистра заслонки поддувала.

Каждое из сопротивлений, перечисленных в уравнении (21), включая и искусственное, вводимое (с целью уничтожения избыточной тяги) от дросселирующей заслонки, пропорционально квадрату скорости проходящих газов.

Приоткрывая дросселирующую заслонку, уменьшают скорости проходящих через нее газов. С уменьшением скорости уменьшается и газовое сопротивление заслонки, которое приблизительно пропорционально квадрату скорости. При неизменном  $S_{тр}$  увеличивается располагаемая разность давлений для преодоления сопротивлений остальной части газового тракта. Следовательно, по газоходам в установке потечет большое количество газов, а в топку будет поступать больше воздуха. Это в свою очередь позволит сжечь больше топлива, т. е. увеличить форсировку топки. Для уменьшения форсировки топки заслонку прикрывают.

Дросселирование избыточной тяги можно производить рядом заслонок. На диаграмме приводятся три графика разрежений,

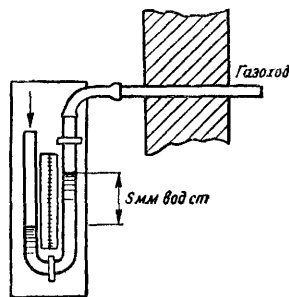


Рис. 18

получающихся в разных пунктах установки при регулировании тяги:

- а) дверкой поддувала — сплошная линия;
- б) заслонкой за котлом — пунктир до заслонки и сплошная линия от заслонки к трубе;
- в) заслонкой за экономайзером — пунктир простой, потом с точкой — до заслонки, сплошная линия — после.

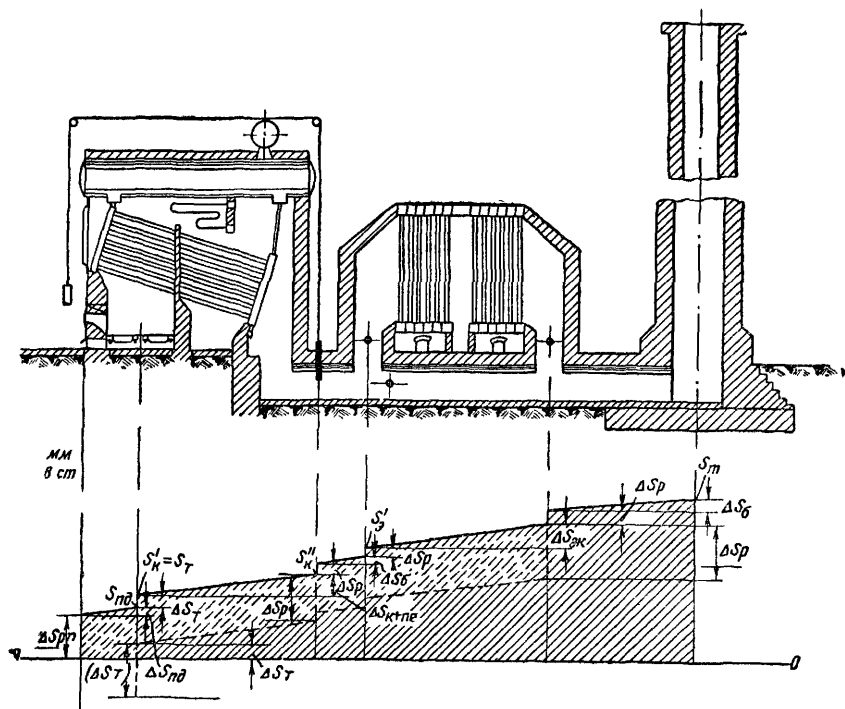


Рис. 19

При всех трех способах регулирования достигается одна и та же нагрузка топке, т. е.  $\Delta S_T$  остается постоянной. Как видно из графика, при регулировании дверкой поддувала во всех пунктах установки наблюдаются повышенные разрежения, это вредно отзывается на топке: при открывании загрузочной дверки в нее врывается лишний воздух, ухудшаются условия теплопередачи, и снижается паропроизводительность. При повышенных разрежениях в газоходах будет велик присос наружного воздуха через всякого рода неплотности в обмуровке, что также невыгодно скажется на теплопередаче и ухудшит к. п. д. за счет повышенной потери с отходящими газами. При полностью открытой поддувальной дверке

и регулировании тяги заслонкой за котлом в топке и газоходах котла устанавливаются минимально возможные разрежения, экономайзер же находится под повышенными разрежениями, что и скажется на присосе воздуха. Поэтому регулирование тяги следует производить дросселированием заслонкой за экономайзером, т. е. наиболее близко расположенной к тяговому устройству, в таком случае достигается требуемый эффект при минимальных присосах наружного воздуха через загрузочную дверку, кладку и неплотности.

Если топливо при сжигании шлакуется, то газовое сопротивление слоя сильно возрастает, и чтобы это сопротивление преодолеть, создают повышенное разрежение над слоем. Такое увеличение разрежения в топочном пространстве невыгодно отражается на тепловой работе решетки с ручным обслуживанием, так как при открывании топочной дверки для загрузки топлива будет вырываться много лишнего воздуха. Поэтому в таких случаях, например, при сжигании антрацита или засоренных золой углей в помощь тяговому устройству дополнительно устанавливается дутье воздуха под решетку (см. рис. 55, 56, 57). В задачу дутья входит преодоление почти полностью газовых сопротивлений решетки, слоя угля и его шлака. Тягу же регулируют так, чтобы в топочном пространстве установилось разрежение около 3 мм вод. ст., что предотвратит опасность случайного выбрасывания горячих газов в сторону кочегара при открывании топочной дверки и одновременно снизит до минимума присос воздуха через открытую дверку.

На диаграмме рис. 19 иллюстрируется значение дутья под решетку при больших газовых сопротивлениях топки.

В этой главе были рассмотрены основные принципы сжигания топлива вообще, которые в дальнейшем изложении будут только развиваться применительно к тем или иным условиям работы топок других конструкций. При сжигании мазута или газа отсутствует колосниковая решетка и горючие летучие вещества сжигаются в топочном объеме. То же относится и к сжиганию пылевидного топлива, только тогда в топочном объеме сгорают не только летучие вещества, но и кокс.

## § 22. НЕОБХОДИМЫЙ РАСХОД ВОЗДУХА

В дальнейшем все объемы газов указаны при 0° и давлении 760 мм рт. ст. Эти (нормальные) условия отмечаются в характеристике размерности формулы так:  $нм^3$ .

В тех случаях, когда потребуется определить объем газов для заданных температур, например, при расчете сечений газоходов, объем, полученный при 0° и 760 мм, пересчитывают, умножая на  $\frac{273 + T}{273}$ , где  $T$  — температура газов по стоградусной шкале. При

расчете воздухопроводов пользуются той же формулой, подставляя  $t$  вместо  $T$ . Изменением давления атмосферы и разностью давлений по газоходам пренебрегают, так как в рассматриваемых условиях эксплуатации котельных установок давления газов во всех пунктах близки к нормальным условиям.

В соответствии с уравнениями горения горючих элементов топлива [см. формулу (6)], считая на килограмм-молекулу, получаем соотношения, позволяющие подсчитать теоретически необходимый расход воздуха для сжигания находящихся в топливе углерода, водорода и серы. Атомный вес элементов, участвующих в горении, приводится в табл. 17.

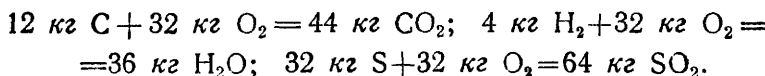
Таблица 17

Атомный вес некоторых элементов

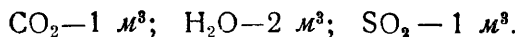
Элемент	Обозначение	Атомный вес	
		приближенный	уточненный
Углерод . . . . .	C	12,0	12,01
Водород . . . . .	H	1,0	1,0078
Сера . . . . .	S	32,0	32,06
Кислород . . . . .	O	16,0	16,0
Азот . . . . .	N	14,0	14,008

Количество потребного для горения воздуха определяется путем следующих расчетов.

По весу, считая на килограмм-молекулу, получают величины



По объему на 1 м<sup>3</sup> кислорода, участвовавшего в горении, получается



Вес кислорода, теоретически необходимого для сжигания 1 кг топлива, определяют, пользуясь следующими соотношениями.

Чтобы сжечь 1 кг углерода, требуется кислорода  $\frac{8}{3}$  кг

„ „ 1 „ водорода, „ „ 8 „

„ „ 1 „ летучей серы „ „ 1 „

В соответствии с формулой (1) в 1 кг топлива находится: углерода  $\frac{C^P}{100}$  кг, водорода  $\frac{H^P}{100}$  кг, летучей серы  $\frac{S_A^P}{100}$  кг, кроме того, в топливе имеется  $\frac{O^P}{100}$  кг кислорода, который будет использован при горении.

Вес кислорода, требующегося для сжигания на 1 кг рабочего топлива, получается равным

$$\frac{\frac{8}{3} C^P + 8H^P + S_A^P - O^P}{100} \text{ кг на 1 кг топлива.}$$

Разделив это выражение на 1,429 (удельный вес кислорода при 0° и 760 мм рт. ст.), получаем объем кислорода, а чтобы перейти к объему воздуха, надо все разделить на 0,21, так как в 1 м<sup>3</sup> воздуха содержится 0,21 м<sup>3</sup> кислорода и 0,79 м<sup>3</sup> азота, не считая незначительных количеств аргона, углекислоты и других газов. Объем теоретически необходимого воздуха для сжигания 1 кг топлива выразится формулой:

$$V_0 = \frac{\frac{8}{3} C^P + 8H^P + S_A^P - O^P}{100 \cdot 1,429 \cdot 0,21} \text{ н.м}^3/\text{кг} \quad (22)$$

или после приведения

$$V_0 = 0,0889K^P + 0,265H^P - 0,0333O^P \text{ н.м}^3/\text{кг}, \quad (23)$$

где

$$K^P = C^P + 0,375S_A^{P0}/\%. \quad (24)$$

Удельный вес воздуха при 0° и 760 мм рт. ст. давления равен  $\gamma_{\text{в}} = 1,293 \text{ кг/н.м}^3$ .

Вес теоретически необходимого воздуха требующегося для сжигания 1 кг топлива, получается из выражения

$$L_0 = V_0 \gamma_{\text{в}} = 1,293 V_0 \text{ кг на 1 кг топлива.} \quad (25)$$

Количество воздуха, расходуемого для сгорания, приблизительно пропорционально теплотворной способности топлива, поэтому для прикидочных подсчетов можно пользоваться формулой

$$V_0 \approx \frac{1,12Q_H^P}{1000} \text{ н.м}^3 \text{ кг.} \quad (26)$$

При рассмотрении процесса горения топлива выяснилось, что, невзирая на то, будет ли горение полным или в отходящих газах

появятся газы и неполного сгорания, в том и в другом случае в продуктах сгорания будет находиться избыточный воздух.

Количество избыточного воздуха характеризуется коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ , который получается как отношение объема воздуха, входящего в топку, к теоретически необходимому:

$$\frac{V}{V_0} = \alpha.$$

### § 23. ОБЪЕМ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГАЗОВ

В случае полного сгорания отходящие из топки газы будут содержать: во-первых, газы, получившиеся после сгорания углерода, водорода и летучей серы, а именно  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{SO}_2$ , далее азот  $\text{N}_2^{\text{B}}$  — нейтральный газ, пришедший в топку с кислородом воздуха, азот из состава топлива  $\text{N}_2^{\text{T}}$  и, наконец, кислород избыточного воздуха. Для удобства подсчетов продукты сгорания разделяются на водяные пары и сухие газы. Таким образом, в случае полного сгорания состав сухих продуктов сгорания в процентах по объему равняется

$$\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{N}_2^{\text{B}} + \text{N}_2^{\text{T}} + \text{O}_2 = 100. \quad (27)$$

При производстве газового анализа путем поглощения водным раствором едкого кали  $\text{CO}_2$  из газов вместе с углекислотой поглощается в значительной степени и  $\text{SO}_2$ ; таким образом, отсчет прибора дает сумму этих газов, выражаемую символом  $\text{RO}_2$ ; тогда равенство (27) напишется так

$$\text{RO}_2 + \text{N}_2^{\text{B}} + \text{N}_2^{\text{T}} + \text{O}_2 = 100\%. \quad (28)$$

Объем сухих газов, приходящихся на 1 кг сжигаемого топлива, можно подсчитать из уравнения

$$V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2^{\text{B}}} + V_{\text{N}_2^{\text{T}}} = V_{\text{с.г.}} \text{ н.м}^3/\text{кг}. \quad (29)$$

Полный объем продуктов сгорания, включая и водяные пары, выражается суммой

$$V_{\text{с.г.}} + V_{\text{в.п.}} = V_{\text{г}} \text{ н.м}^3/\text{кг}. \quad (30)$$

В случае неполного сгорания в состав отходящих из топки газов включаются различные по своей структуре углеводороды, окись углерода, а иногда и чистый водород. Газовый анализ, а также формулы подсчета объемов и прочих величин чрезвычайно осложняются, чем уменьшается возможность их широкого применения в эксплуатационной практике котельных. Рассматривая только котельные установки и исключая специальные печные устройства, где иногда по технологическому процессу требуется вести сгорание со значительной химической неполнотой,

все стремление как конструктора, так и персонала, эксплуатирующего топку, должно быть направлено к тому, чтобы свести неполноту сгорания к возможному минимуму. Поэтому, как правило, котельная установка работает или при полном сгорании, или с незначительной химической неполнотой. Это обстоятельство позволяет для упрощения расчетов сделать допущение, считая, что единственным продуктом неполноты сгорания является один из наиболее трудно поддающихся выжиганию газ  $\text{CO}$ . При незначительности вообще потери от химической неполноты сгорания эта неточность не вне-

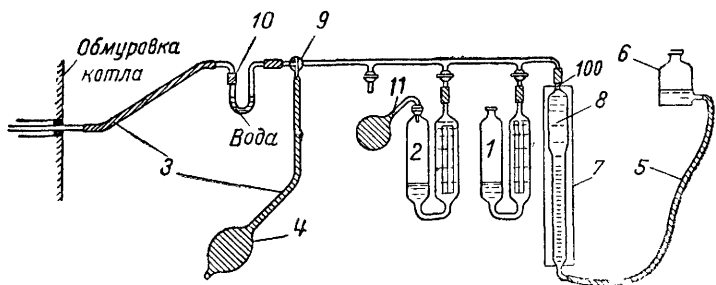


Рис. 20. Схема прибора ОРСА

1, 2—поглощающие сосуды; 3—резиновая трубка; 4—резиновая груша; 5—резиновая трубка; 6—склянка; 7—водяная рубашка; 8—бюретка; 9—трехходовой кран; 10—стеклянная вата; 11—резиновый мешок

сет сколько-нибудь существенных искажений в дальнейшие подсчеты. С учетом сделанных замечаний уравнения состава сухих отходящих газов в общем случае при наличии неполноты сгорания могут быть написаны так:

$$\text{RO}_2 + \text{N}_2^{\text{B}} + \text{N}_2^{\text{T}} + \text{O}_2 + \text{CO} = 100\% ; \quad (31)$$

$$V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2^{\text{B}}} + V_{\text{N}_2^{\text{T}}} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{CO}} = V_{\text{с. г.}} \text{ н. м}^3 / \text{кг.} \quad (32)$$

При эксплуатации котельных установок и производстве их испытаний можно получить в числе прочих данных сведения о составе рабочего топлива и его теплотворной способности, а также о количестве  $\text{RO}_2$  и  $\text{RO}_2 + \text{O}_2$  в процентах на состав сухих отходящих газов. Последние величины по большей части определяются прибором ОРСА (рис. 20).

Работа прибора ОРСА в основном сводится к тому, что от отсосанной из газоходов порции газов, равной  $100 \text{ см}^3$ , отнимается  $\text{CO}_2 + \text{SO}_2$  путем поглощения их водным раствором едкого кали (находится в поглощающем сосуде 1). Отмечая уменьшение



объема, далее оставшийся газ перепускают в сосуд 2 с раствором пирогаллола в водном растворе едкого кали. Этот реактив обладает свойством поглощать не только  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$ , которых в остатке газов уже нет, но и  $\text{O}_2$ . Таким образом, первый отсчет прибора дает  $\text{RO}_2\%$ ; второй —  $\text{RO}_2\% + \text{O}_2\%$ . Экспериментатор подсасывает из газохода свежие порции отходящих газов при помощи резиновой груши, из противоположного конца которой газ выбрасывается наружу. При этой операции трехходовой кран устанавливается так, чтобы прибор был отъединен от газохода.

На пути к прибору газ проходит через V-образную трубку, наполненную стеклянной ватой и водой.

Назначение стеклянной ваты — задержать частички золы, уносимые со струйкой газа, которые, попадая в капиллярные трубки прибора, их быстро засаривают. Проходя через воду, газ охлаждается и полностью насыщается водяными парами.

Приступая к газовому анализу, экспериментатор, соответственно переключая трехходовой кран, засасывает в бюретку  $100 \text{ см}^3$  газа. Засасывание производится путем опускания соединяющейся с бюреткой резиновой трубкой склянки, в которую наливается вода.

Невзирая на то, что анализ будет производиться с газом, насыщенным водяными парами, получаемые отсчеты дают процентное содержание  $\text{RO}_2$  и  $\text{RO}_2 + \text{O}_2$  по отношению к сухим газам, как это требуется при расчетах, связанных с проектированием и эксплуатацией котельных установок. Высказанное подтверждается ниже.

В  $100 \text{ см}^3$  газа, находящегося под атмосферным давлением и имеющего температуру котельного помещения, содержится примерно  $4 \text{ см}^3$  водяного пара.

Перепуская газ, находящийся в бюретке, в первый поглощающий сосуд с раствором едкого кали (это производится несколько раз при помощи поднятия и опускания склянки), предположим, что получили уменьшение объема на  $10\%$ .

В таком случае в остатке имеется

$$V_{\text{с.г}} + V_{\text{в.п}} = 90 \text{ см}^3 = \frac{96 \cdot 9}{10} + \frac{4 \cdot 9}{10} = 86,4 + 3,6 \text{ см}^3.$$

Убыль сухого газа равняется  $96 - 86,4 = 9,6$ , т. е. те же  $10\%$  и, следовательно,  $\text{RO}_2 = 10\%$ .

Величины отдельных составляющих объема продуктов сгорания можно подсчитать, пользуясь весовыми соотношениями основных реакций.

1. Углекислота (удельный вес при  $0^\circ$  и  $760 \text{ мм рт. ст. } \gamma_0 = 1,964^*$ )  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ ;  $12 + 32 = 44$ .

\* Удельные веса отдельных составляющих продуктов сгорания принимаются как частные от деления молекулярного веса на объем килограмм-молекулы идеального газа ( $22,4$ ) без уточнений.

При полном сжигании 1 кг углерода получается

$$\frac{44}{1,964 \cdot 12} = 1,87 \text{CO}_2 \text{ нм}^3$$

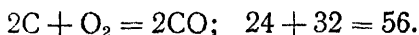
и, обратно, на 1 нм<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> требуется

$$1 : 1,87 = 0,536 \text{ кг углерода.}$$

Таким образом, при сжигании 1 кг рабочего топлива получается углекислоты

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{C^P}{100 \cdot 0,536} = \frac{C^P}{53,6} \text{ нм}^3/\text{кг}. \quad (33)$$

2. Окись углерода ( $\gamma_0 = 1,25 \text{ кг/нм}^3$ )



При неполном сжигании 1 кг углерода не в CO<sub>2</sub>, а в CO получается окиси углерода

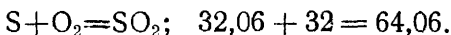
$$\frac{56}{1,25 \cdot 2,12} = 1,87 \text{ нм}^3$$

и, обратно, на 1 нм<sup>3</sup> CO расходуется углерода  $1 : 1,87 = 0,536 \text{ кг}$ , т. е. такое же количество, как и на 1 нм<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> при полном сгорании.

Следовательно, при частичной неполноте сгорания, когда часть углерода топлива сгорает в CO, суммарный объем получившихся CO<sub>2</sub> и CO остается неизменным и подсчитывается по уравнению

$$V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}} = \frac{C_{\text{CO}_2}^P}{53,6} + \frac{C_{\text{CO}}^P}{53,6} = \frac{C^P}{53,6} \text{ нм}^3/\text{кг}. \quad (34)$$

3. Сернистый ангидрид ( $\gamma_0 = 2,86 \text{ кг/нм}^3$ )



На 1 нм<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> в газах приходится летучей серы

$$\frac{32,06 \cdot 2,86}{64,06} = 1,43 \text{ кг и } V_{\text{SO}_2} = \frac{S_{\text{л}}^P}{100 \cdot 1,43} = \frac{0,375}{53,6} S_{\text{л}}^P \text{ нм}^3/\text{кг}. \quad (35)$$

4. Объем рассмотренных сухих газов

$$V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}} + V_{\text{SO}_2} = \frac{C^P + 0,375 S_{\text{л}}^P}{53,6} \text{ нм}^3/\text{кг}. \quad (36)$$

Обозначая, как указывалось ранее:

$$C^P + 0,375 S_{\text{л}}^P = K^P \text{ }_0,$$

получим

$$V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}} + V_{\text{SO}_2} = \frac{K^P}{53,6} \text{ нм}^3/\text{кг} \quad (37)$$

Содержание данного газа в процентах к объему сухих газов определяется уравнениями

$$\text{CO}_2 = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{с.г}}} 100; \quad \text{SO}_2 = \frac{V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{с.г}}} 100;$$

$$\text{RO}_2 = \frac{V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{с.г}}} 100;$$

$$\text{RO}_2 + \text{CO} = \frac{V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{CO}}}{V_{\text{с.г}}} 100.$$

Из этих выражений, в частности из последнего, учитывая уравнение (37), определяют  $V_{\text{с.г}}$ :

$$V_{\text{с.г}} = \frac{K^P}{0,536(\text{RO}_2 + \text{CO})} = \frac{1,87K^P}{\text{RO}_2 + \text{CO}} \text{ н.м}^3/\text{кг}. \quad (38)$$

В случае полного горения  $\text{CO} = 0$  и уравнение примет вид

$$V_{\text{с.г}} = \frac{K^P}{0,536\text{RO}_2} = \frac{1,87K^P}{\text{RO}_2} \text{ н.м}^3/\text{кг}. \quad (39)$$

Если бы по  $\text{RO}_2$  потребовалось определить  $\text{SO}_2$ , то эту зависимость можно установить, воспользовавшись только что приведенными соотношениями между элементами состава топлива и объемами газов:

$$\begin{aligned} \text{SO}_2\% &= \frac{V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{с.г}}} 100 = \frac{0,375S_{\text{л}}^P \cdot 0,536(\text{RO}_2 + \text{CO})}{0,536K^P} = \\ &= \frac{0,375S_{\text{л}}^P}{K^P} (\text{RO}_2 + \text{CO})\%. \end{aligned} \quad (40)$$

5. Объем водяных паров. Водяные пары в продуктах сгорания образуются в результате испарения воды, находящейся в топливе  $\left(\frac{W^P}{100}\right)$ , и в результате сгорания водорода. Так как принимается, что единственным продуктом неполного сгорания является окись углерода, то объем водяных паров остается неизменным как при полном, так и при неполном сгорании. Учитывая реакцию горения водорода  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $4 + 32 = 36$ , находят вес водяных паров, приходящийся на 1 кг сжигаемого топлива:

$$G_{\text{в.п}} = \frac{9\text{H}^P + W^P}{100} \text{ кг на 1 кг топлива}. \quad (41)$$

К этим водяным парам при точных расчетах добавляется вес водяных паров, попавших в топку с воздухом. Обозначая через  $d$  влагосодержание воздуха в граммах на 1 кг сухого воздуха (обычно около 10 г), вес паров воздуха  $W_{\text{в}}$  может быть подсчитан так:

$$W_{\text{в}} = \frac{\alpha L_0 d}{1000} \text{ кг на 1 кг топлива,} \quad (42)$$

где  $\alpha$  — коэффициент избытка воздуха;

$L_0$  — вес теоретически необходимого воздуха, требующегося для сжигания 1 кг топлива.

Подача воздуха в поддувало топки может производиться при помощи вентилятора или иногда путем эжектирования воздуха струей пара. В таком случае этот пар также попадает в отходящие газы. При сжигании мазута иногда применяется пар для распыливания топлива. Количество пара, идущего на эжекцию или распыливание, зависит от конструкции соответствующих топочных приборов. Обыкновенно на эжекцию расходуется  $W_{\text{ф}} = 0,7—0,8$  кг пара на 1 кг сжигаемого твердого топлива, для распыливания мазута  $W_{\text{ф}} = 0,2—0,4$  кг на 1 кг мазута.

С учетом добавочного пара формула (41) в своем общем виде напишется так:

$$\begin{aligned} G_{\text{в. п}} &= \frac{9H^{\text{п}} + W^{\text{п}}}{100} + W_{\text{в}} + W_{\text{ф}} = \\ &= \frac{9H^{\text{п}} + W^{\text{п}} + 0,1\alpha d L_0}{100} + W_{\text{ф}} \text{ кг на 1 кг топлива.} \end{aligned} \quad (43)$$

Так как удельный вес водяного пара  $\gamma_0 = 0,805$  кг/мм<sup>3</sup>, то объем его получится

$$V_{\text{в. п}} = \frac{9H^{\text{п}} + W^{\text{п}} + 0,1\alpha L_0 d + 100W_{\text{ф}}}{80,5}. \quad (44)$$

Полный объем газов [с учетом уравнений (38) и (44)] на 1 кг сжигаемого топлива выражается равенством

$$\begin{aligned} V_{\text{г}} = V_{\text{с. г}} + V_{\text{в. п}} &= \frac{K^{\text{п}}}{0,536(R_{\text{O}_2} + \text{CO})} + \\ &+ \frac{9H^{\text{п}} + W^{\text{п}} + 0,1\alpha L_0 d + 100W_{\text{ф}}}{80,5} \text{ мм}^3/\text{кг.} \end{aligned} \quad (45)$$

В частных случаях при полном горении ( $\text{CO} = 0$ ) и при отсутствии парового дутья ( $W_{\text{ф}} = 0$ ) уравнение (45) несколько упрощается.

Для прикидочных подсчетов при определении объема газов можно пользоваться приближенным соотношением

$$V_{\text{г}} \approx \alpha V_0. \quad (46)$$

## § 24. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОКСИ УГЛЕРОДА В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ

Состав сухих отходящих газов определяется равенством

$$\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{N}_2^{\text{в}} + \text{N}_2^{\text{г}} + \text{O}_2 + \text{CO} = 100\%.$$

Учитывая, что кислород и азот в воздухе находятся в объемных соотношениях  $\frac{O_2}{N_2} = \frac{21}{79}$ , определяют количество азота воздуха, выраженное через кислород:

$$N_2^a = \frac{79}{21} [O_2 + O_{2(CO_2)} + O_{2(SO_2)} + O_{2(CO)} + O_{2(H_2O)}] \%,$$

где  $\frac{79}{21} O_{2(CO_2)}$  и т. д. — азот воздуха, оставшийся после того, как кислород был использован на сжигание углерода, серы и водорода.

Объем кислорода, пошедшего на образование водяных паров, можно в свою очередь заменить объемом сухих газов, пользуясь следующими подстановками.

Объем кислорода, требующегося для сжигания водорода, находящегося в 1 кг топлива:

$$V_{O_2(H_2O)} = \frac{8H^P - O^P}{100 \cdot 1,429} \text{ н.м}^3/\text{кг}; \quad (47)$$

$$O_{2(H_2O)} = \frac{V_{O_2(H_2O)}}{V_{c. r}} 100 = \frac{8H^P - O^P}{100 \cdot 1,429} \cdot \frac{100}{V_{c. r}},$$

где

$$V_{c. r} = \frac{K^P}{0,536 (RO_2 + CO)} \text{ н.м}^3/\text{кг}.$$

После подстановки

$$\begin{aligned} O_{2(H_2O)} &= \frac{8 \left( H^P - \frac{O^P}{8} \right) 0,536}{K^P \cdot 1,429} (RO_2 + CO) = \\ &= 3 \frac{H^P - \frac{O^P}{8}}{K^P} (RO_2 + CO) \%. \end{aligned} \quad (48)$$

Полученное выражение подставляется в исходное уравнение:

$$\begin{aligned} CO_2 + SO_2 + O_2 + CO + \frac{79}{21} [O_2 + O_{2(CO_2)} + O_{2(SO_2)} + \\ + O_{2(CO)} + 3 \frac{H^P - \frac{O^P}{8}}{K^P} (CO_2 + SO_2 + CO)] + N_2^r = 100. \end{aligned} \quad (49)$$

Объем азота, пришедший в продукты горения из состава топлива, может быть подсчитан так:

$$V_{N_2^r} = \frac{N^P}{100 \cdot 1,25} \text{ н.м}^3/\text{кг}, \quad (50)$$

где для азота  $\gamma_0 = 1,25 \text{ кг/н.м}^3$ .

Азот топлива в процентах к объему сухих газов определяется по формуле

$$N_2^r = \frac{v_{c.r.} N_2^r}{100} 100\% = \frac{N^p \cdot 0,536 (RO_2 + CO) 100}{100 \cdot 1,25 K^p} =$$

$$= \frac{0,429 N^p}{K^p} (RO_2 + CO). \quad (51)$$

Подставляя в формулу (49) выражение для азота топлива и заменяя объемы  $O_{2(CO)}$ ,  $O_{2(SO_2)}$ ,  $O_{2(CO)}$  им равновеликими в соответствии с законом Авогадро  $CO_2$ ;  $SO_2$  и  $\frac{CO}{2}$  (так как при реакции горения  $CO$  на два объема  $CO$  затрачивается один объем  $O_2$  по формуле  $2CO + O_2 = 2CO_2$ ), можно переписать равенство (49) так:

$$RO_2 + O_2 + CO + \frac{79}{21} \left[ RO_2 + O_2 + \frac{CO}{2} + \right.$$

$$\left. + 3 \frac{H^p - \frac{O^p}{8}}{K^p} (RO_2 + CO) \right] + \frac{0,429 N^p}{K^p} \times$$

$$\times (RO_2 + CO) = 100. \quad (52)$$

Имея состав рабочего топлива и газовый анализ ( $RO_2$ ;  $RO_2 + O_2$ ), можно определить процентное содержание  $CO$  из уравнения (52), решая его относительно  $CO$  как единственного неизвестного:

$$CO = \frac{21 - \beta RO_2 - (RO_2 + O_2)}{0,605 + \beta}. \quad (53)$$

В процессе решения уравнения (52) выделен коэффициент  $\beta$ , зависящий только от состава топлива.

$$\beta = 2,37 \frac{H^p - \frac{O^p}{8} + 0,038 N^p}{K^p} \quad (54)$$

или при уточнении атомного веса водорода (1,0078) в применении к формуле образования водяных паров

$$\beta = 2,37 \frac{H^p - 0,126 O^p + 0,038 N^p}{K^p}. \quad (55)$$

Формула (55), определяющая значение  $\beta$ , пригодна для любого топлива. В твердых топливах и мазуте азот входит в незначительном количестве, и обычно им в формуле (55) пренебрегают. В со-

ставе ряда газообразных топлив процентное содержание азота достигает 50% и более, и игнорировать его нельзя.

Безразмерная величина  $\beta$  характеризует топливо, причем ее значение не изменится, если вместо состава рабочего топлива будет подставлен элементарный состав его горючей массы. Подсчитав значения  $\beta$  для отдельных топлив, приводимых в табл. 2, можно ориентировочно оценивать качественную сторону процесса горения, пользуясь газовым анализом и зная только род сжигаемого топлива.

Можно было бы и непосредственно определять СО газоанализатором, но при незначительности количества СО (обычно меньше 1% в составе отходящих газов) это поведет к ошибкам. При точных опытах иногда не удовлетворяются допущением, что единственным продуктом неполного сгорания является СО, тогда

Таблица 18

п/п	Наименование топлива		Марка и сорт	$\beta$	RO <sub>2</sub> макс
	район месторождения углей и виды топлива	наименование месторождения			
1	Донецкий бассейн . . . . .		АРШ	0,04	20,2
2	Кузнецкий . . . . .	Анджеро-Судженское . . . . .	ПС	0,107	19,0
3	То же . . . . .	Кемеровское . . . . .	К, ПС и СС	0,117	18,8
4	Карагандинский бассейн . . . . .		Б	0,077	19,5
5	Подмосковный . . . . .		Б	0,084	19,4
6	Урал . . . . .	Кизеловское . . . . .	ПЖ	0,141	18,4
7	" . . . . .	Челябинское . . . . .	Б	0,092	19,2
8	" . . . . .	Егоршинское . . . . .	А	0,080	19,4
9	Печорский бассейн . . . . .	Воркутское . . . . .	ПЖ	0,126	18,7
10	Иркутская область . . . . .	Черемховское . . . . .	Д	0,125	18,7
11	Читинская . . . . .	Букачинское . . . . .	Г	0,122	18,7
12	Приморский край . . . . .	Сучанское . . . . .	ПЖ	0,111	18,9
13	Украинская ССР . . . . .	Александрийское . . . . .	Б	0,104	19,0
14	Грузинская ССР . . . . .	Тквибульское . . . . .	Г	0,124	18,7
15	Казахская ССР . . . . .	Ленгеровское . . . . .	Б	0,092	19,2
16	Киргизская ССР . . . . .	Сулюктинское . . . . .	Б	0,058	19,9
17	Ленинградская область . . . . .	Гдовское (горючие сланцы) . . . . .	—	0,251	16,8
18	Торф . . . . .	—	Кусковой	0,077	19,5
19	Дрова . . . . .	—	Смешанные	0,036	20,3
20	Мазут . . . . .	—	Малосернистый	—	—
21	Естественный газ . . . . .	Дашавский . . . . .	—	0,301	16,1
22	То же . . . . .	Саратовский район . . . . .	—	0,786	11,8
23	Генераторный газ . . . . .	Из донецкого газового угля . . . . .	—	0,775	11,8
24	Доменный газ коксовых печей . . . . .	—	—	0,109	19,0
25	Газ подземной газификации из каменного угля . . . . .	—	—	—0,153	24,8
				0,083	19,4

поправку на неполноту сгорания определяют экспериментально, дожигая горючий остаток после анализа газов. По количеству тепла, выделенному при дожигании, судят о суммарном снижении теплового эффекта за счет неполного сгорания.

При полном горении  $CO = 0$ , и, следовательно, числитель уравнения (53) также должен равняться нулю; это приводит к равенству, которое должно удовлетворяться в случае полного сгорания:

$$21 - \beta RO_2 = RO_2 + O_2^0\% . \quad (56)$$

Идеальной работой топки должно считаться полное сгорание при отсутствии избыточного воздуха. К этому пределу приближаются в своей работе устройства для сжигания мазута, газа и пылевидного топлива, в которых газ, мелко раздробленное твердое топливо или мазут хорошо перемешиваются с воздухом. При  $O_2 = 0$  из равенства (56) определяется  $RO_{2\text{ макс}}$ :

$$RO_{2\text{ макс}} = \frac{21}{1 + \beta} \% . \quad (57)$$

В табл. 18 приведены средние значения  $\beta$ , которыми можно пользоваться при приблизительных подсчетах, а также значения  $RO_{2\text{ макс}}$ .

## § 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА ПО СОСТАВУ ГАЗОВ

Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  при полном сгорании может быть выражен так:

$$\alpha = \frac{V_B}{V_B - V_L} , \quad (58)$$

где  $V_B$  — объем воздуха, фактически израсходованного при сжигании 1 кг топлива;

$V_L$  — объем лишнего воздуха.

Равенство (58) преобразовывается путем использования объемных соотношений между воздухом и его составляющими кислородом и азотом:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{V_L}{V_B}} ;$$

$$1. O_2 = \frac{V_{O_2}}{V_{c. r}} 100\% , \text{ откуда}$$

$$V_{O_2} = \frac{V_{c. r} O_2}{100} ; \quad \frac{V_L}{V_{O_2}} = \frac{100}{21} ; \quad V_L = \frac{100}{21} V_{O_2} ;$$

$$V_L = \frac{100}{21} \cdot \frac{V_{c. r} O_2}{100} .$$



$$2. N_2^B = \frac{V_{N_2^B}}{V_{c. r}} 100\%, \text{ откуда}$$

$$V_{N_2^B} = \frac{V_{c. r} \cdot N_2^B}{100}; \quad \frac{V_B}{V_{N_2^B}} = \frac{100}{79}; \quad V_B = \frac{100}{79} V_{N_2^B};$$

$$V_B = \frac{100}{79} \cdot \frac{V_{c. r} N_2^B}{100},$$

тогда

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{V_{c. r} \frac{O_2}{21}}{V_{c. r} \frac{N_2^B}{79}}} = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \cdot \frac{O_2}{N_2^B}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{N_2^B}}. \quad (59)$$

В случае неполного сгорания состав продуктов горения следующий:

$$RO_2 + CO + O_2 + N_2 = 100, \quad (60)$$

где  $N_2$  — азот, получаемый в результате газового анализа.

Если, не изменяя состава, дожечь CO за счет кислорода, находящегося в газах, то согласно уравнению сгорания окиси углерода ( $2CO + O_2 = 2CO_2$ ) на дожигание CO придется израсходовать кислорода  $\frac{CO}{2}$  и в формулу избытка воздуха при полном сгорании подставить новое значение кислорода

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - \frac{CO}{2}}{N_2^B}}. \quad (61)$$

Зная состав топлива, а также  $RO_2$  и  $RO_2 + O_2$ , можно по разности определить  $O_2$ . Количество CO определяется по формуле (53), а  $N_2$  подсчитывается из уравнения состава продуктов горения (60).

Необходимо только помнить, что в  $N_2$  входит азот воздуха и азот топлива. Вывод формулы для определения коэффициента избытка воздуха проводился в предположении, что оперируют с азотом воздуха, поэтому из значения  $N_2^B + N_2^T$ , полученного из равенства (31), надо вычесть объемную долю азота топлива; последняя уже определялась по формуле (51).

Азот воздуха в таком случае получается из выражения

$$N_2^B = 100 - RO_2 - O_2 - CO - 0,429 \frac{N^P}{K^P} (RO_2 + CO) =$$

$$= N_2 - 0,429 \frac{N^P}{K^P} (RO_2 + CO) \quad (62)$$

и уточненное значение коэффициента избытка воздуха в общем случае неполного сгорания будет выражаться так:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - \frac{CO}{2}}{N_2 - 0,429 \frac{N^P}{K^P} (RO_2 + CO)}}. \quad (63)$$

### § 26. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ОБЪЕМА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПО ЗАДАНЫМ: СОСТАВУ РАБОЧЕГО ТОПЛИВА, КОЭФФИЦИЕНТУ ИЗБЫТКА ВОЗДУХА И ХИМИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЕ СГОРАНИЯ

При тепловом расчете котельных установок являются заданными: элементарный состав топлива и его теплотворная способность, коэффициенты избытка воздуха в топке, а также в отдельных газоходах, так как установка находится под разрежением и через неплотности в газоходы проникает воздух, что и вызывает постепенное увеличение коэффициента избытка воздуха, начиная от топки и далее по газоходам.

Также являются заданными потери тепла от механической и химической неполноты сгорания в процентах от теплотворной способности топлива ( $q_3$  и  $q_4\%$ ).

Потеря от химического недожога, принятая в процентах — в калориях на 1 кг сожженного топлива, — будет выражаться так:

$$Q_3 = \frac{Q_H^P q_3}{100} \text{ ккал/кг}. \quad (64)$$

При экспериментальных исследованиях котельных установок величину  $Q_3$  подсчитывают, используя элементарный состав топлива и результаты газового анализа.

Объем CO, приходящийся на 1 кг сжигаемого топлива, равен

$$V_{CO} = V_{с.г} \frac{CO}{100} = \frac{K^P \cdot CO}{53,6 (RO_2 + CO)} \text{ нм}^3/\text{кг}. \quad (65)$$

При сжигании 1 нм<sup>3</sup> CO выделяется 3 040 ккал/нм<sup>3</sup> тепла.

Потеря тепла  $Q_3$  получается путем перемножения объема окиси углерода на теплотворную способность последнего:

$$Q_3 = \frac{3040 K^P \cdot CO}{53,6 (RO_2 + CO)} = 56,7 \frac{K^P \cdot CO}{(RO_2 + CO)} \text{ ккал/кг} \quad (66)$$

соответственно

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_H^P} 100\%. \quad (67)$$

С достаточной для практики точностью можно принимать, что кусочки несгоревшего топлива, попадающие в провал, шлаки и унос не изменяют состава своей горючей массы и только, подсушиваясь, лишаются находящейся в них влаги.

Таким образом, элементарный состав рабочей массы топлива за исключением влаги и золы требуется уменьшить, учитывая их механический недожог, пропорционально его тепловой характеристике, что и достигается умножением отдельных составляющих элементарного состава топлива на поправочный множитель  $\left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$ .

Указанное получает отражение в формулах, определяющих  $V_{с.г}$ ;  $V_{в.п.}$   $Q_3$ .  $\beta$  не исправляется, так как множитель входит в числитель и знаменатель;  $\alpha$  также не исправляется, так как поправка ничтожна.

Приступая к тепловому расчету котельной установки, оценивают значения  $q_4$  и  $q_3$  на основании данных, полученных экспериментальным путем для аналогичных топочных устройств и видов топлива. Указанные сведения приводятся в разделе баланса тепла котельной установки (табл. 25 и 26).

Для определения состава отходящих газов при заданном  $\alpha$  используются уравнения (53), (60), (63), (64) и дополнительно уравнение (68):

$$Q_3 = 56,7 \frac{K^P \cdot CO}{RO_2 + CO} \left(1 - \frac{q_4}{100}\right). \quad (68)$$

Совместно решая в общем виде эти уравнения с целью определения  $RO_2$  и  $CO$ , можно указанные пять уравнений свести к двум следующим:

$$RO_2 = \frac{79}{ua + c + e}; \quad (69)$$

$$CO = f \cdot RO_2, \quad (70)$$

где

$$f = \frac{1}{\frac{56,7K^P \cdot 100 \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)}{Q_H^P q_3} - 1}; \quad (71)$$

$$c^* = 1 + f - b; \quad (72)$$

$$b = 1 + \beta + (0,605 + \beta)f; \quad (73)$$

$$e = 0,429 \frac{N^P}{K^P} (1 + f); \quad (74)$$

\*  $e$  может получиться и с отрицательным знаком.

$$u = 3,76 \left( \frac{f}{2} + b \right) - c - e. \quad (75)$$

Зная  $RO_2$  и  $CO$ , имеется возможность определить объем отходящих газов:

$$V_r = V_{c. r} + V_{в. п} = \left[ \frac{K^p}{0,536 (RO_2 + CO)} + \frac{9H^p + 0,1\alpha L_0 d}{80,5} \right] \times \\ \times \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) + \frac{W^p + 100W_\phi}{80,5}, \quad (76)$$

причем

$$V_{c. r} = \frac{1,87 \cdot K^p}{RO_2 + CO} \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right); \\ V_{в. п} = \left[ \frac{9H^p + 0,1\alpha L_0 d}{80,5} \right] \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) + \frac{W^p + 100W_\phi}{80,5}.$$

В процессе теплового расчета котельной установки по газоходам подсчитываются коэффициенты теплоотдачи от газа к стенке. При определении излучения газов требуется знать парциальное давление сухих трехатомных газов ( $RO_2$ ) и водяных паров ( $H_2O$ ).

В соответствии с законом Дальтона имеющиеся в составе газов трехатомные газы, водяные пары и двухатомные газы имеют каждый свое парциальное давление, пропорциональное их объемному содержанию в смеси.

Давление в газоходах мало отличается от атмосферного, так как разрежение обычно не превышает 100 мм вод. ст., поэтому можно написать

$$P_{c. r} + P_{в. п} = P_{RO_2} + P_{R_2} + P_{H_2} = 1 \text{ кг/см}^2; \quad (77)$$

$$\frac{P_{RO_2}}{1} = \frac{V_{RO_2}}{V_r}. \quad (78)$$

$V_{RO_2}$  определяется из уравнения

$$RO_2 = \frac{V_{RO_2}}{V_{c. r}} 100\%$$

или

$$V_{RO_2} = V_{c. r} \frac{RO_2}{100}. \quad (79)$$

Парциальное давление водяных паров подсчитывается по аналогичной формуле:

$$\frac{P_{H_2O}}{1} = \frac{V_{в. п}}{V_r}. \quad (80)$$

Состав продуктов сгорания и их объем при сжигании антрацита марки АРШ Таблица 19

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула	Значение величин
1	Характеристика топлива (антрацит АРШ)	Элементарный состав K <sup>P</sup> β Q <sub>и</sub> <sup>P</sup>	% % — ккал/кг	$K^P = C^P + 0,375S_A^P$ $\beta = 2,37 \frac{H^P - 0,126O^P + 0,038N^P}{K^P}$	C <sup>P</sup> = 71,6; H <sup>P</sup> = 1,4; O <sup>P</sup> = 1,5; N <sup>P</sup> = 0,8; S <sub>A</sub> <sup>P</sup> = 1,8; A <sup>P</sup> = 16,9; W <sup>P</sup> = 6,0; 72,3 0,04 6 110
2	Теоретически необходимый расход воздуха	V <sub>0</sub> L <sub>0</sub>	н.м <sup>3</sup> /кг кг/кг	$V_0 = 0,0889 K^P + 0,265 H^P - 0,0333 O^P$ $L_0 = 1,293 V_0$	6,75 8,73
3	Состав продуктов горения	RO <sub>2</sub> CO RO <sub>2</sub> +CO	% % %	$RO_2 = \frac{79}{u \alpha + c + e}; CO = f \cdot RO_2$	Коэффициент избытка воздуха α α-1,5   α-1,6   α-1,7   α-1,9 13,0   12,2   11,5   10,2 0,4   0,4   0,4   0,3 13,4   12,6   11,9   10,5
4	Объем сухих газов	V <sub>с.г</sub>	н.м <sup>3</sup> /кг	$V_{с.г} = \frac{K^P \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)}{0,536 (RO_2 + CO)} =$ $= \frac{1,87 \cdot K^P}{(RO_2 + CO)} \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$	9,18   9,78   10,35   11,72
5	Объем сухих трехатомных газов	V <sub>RO<sub>2</sub></sub>	н.м <sup>3</sup> /кг	$V_{RO_2} = V_{с.г} \frac{RO_2}{100}$	1,20   1,20   1,19   1,19

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Расчетная формула	Значение величин			
					Коэффициент избытка воздуха $\alpha$			
					$\alpha=1,5$	$\alpha=1,6$	$\alpha=1,7$	$\alpha=1,9$
6	Объем водяных паров	$V_{в. п}$	$н.м^3/кг$	$V_{в. п} = \left( \frac{9 H P + 0,1 \alpha L_0 d}{80,5} \right) \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) +$ $+ \frac{W P + 100 W_{\phi}}{80,5}$	0,37	0,38	0,39	0,40
7	Объем продуктов горения	$V_{\Gamma}$	$н.м^3/кг$	$V_{\Gamma} = V_{с. г} + V_{в. п.}$	9,55	10,16	10,74	12,12
8	Объем сухих двухатомных газов	$V_{R_2}$	$н.м^3/кг$	$V_{R_2} = V_{с. г} - V_{RO_2}$	7,98	8,58	9,16	10,53
9	Вес продуктов горения	$G_{\Gamma}$	$кг/кг$	$G_{\Gamma} = V_{RO_2} \cdot 1,977 + V_{R_2} \cdot 1,293 + V_{в. п} \cdot 0,805$	13,67	14,63	15,41	16,29
10	Парциальное давление сухих трехатомных газов	$p_{RO_2}$	$кг/см^2$	$p_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}}$	0,126	0,118	0,111	0,098
11	Парциальное давление водяных паров	$p_{в. п}$	$кг/см^2$	$p_{в. п} = \frac{V_{в. п}}{V_{\Gamma}}$	0,039	0,037	0,036	0,033

Примечание.  $q_3$  и  $q_4$  в соответствии с указаниями, изложенными в гл. V, приняты для колосниковой решетки с ручным обслуживанием равными  $q_3 = 2\%$ ;  $q_4 = 9\%$ .

Состав продуктов сгорания и их объем, изменяющиеся для отдельных газоходов в зависимости от изменения коэффициента избытка воздуха, в целях удобства для дальнейшего использования при тепловом расчете котельной установки обычно сводят в специальную таблицу по типу табл. 19, в которой приведен пример подобной систематизации при сжигании антрацита марки АРШ.

Все формулы, относящиеся к составу продуктов сгорания и их объему, универсальны и пригодны для любого топлива: твердого, жидкого и газообразного, только состав последнего, обычно даваемый в объемных процентах, надо пересчитать на весовые.

Методика пересчета приводится ниже.

## § 27. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНОГО СОСТАВА ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕНТАХ ПО ВЕСУ

Для примера принят состав генераторного газа из донецкого газового угля по объему:

CO <sub>2</sub> . . . . .	50%	H <sub>2</sub> . . . . .	13,5%
H <sub>2</sub> S . . . . .	0,3%	CH <sub>4</sub> . . . . .	2,3%
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> . . . . .	0,3%	N <sub>2</sub> . . . . .	51,9%
CO . . . . .	26,5%	O <sub>2</sub> . . . . .	0,2%
		Итого . . . . .	100%

Зная молекулярный вес каждого из газов, входящих в состав смеси, и его объемные проценты в ней, можно подсчитать кажущийся молекулярный вес смеси по выражению

$$100\mu_{\text{см}} = \sum \mu_i r_i,$$

где  $\mu_i$  — молекулярный вес каждого из газов смеси;

$r_i$  — объемные проценты каждого из газов смеси.

$$100\mu_{\text{см}} = \sum \mu_i r_i = 50 \cdot 44 + 0,3 \cdot 34 + 0,3 \cdot 28 + 26,5 \cdot 28 + 13,5 \cdot 2 + 2,3 \cdot 16 + 51,9 \cdot 28 + 0,2 \cdot 32 = 2504,0; \quad \mu_{\text{см}} = 25,0$$

При небольшом содержании тяжелых углеводородов состав C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> может быть заменен без значительной погрешности этиленом C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.

Состав газа по весу  $G_i$  в процентах для каждого компонента определяется по выражению

$$G_i = \frac{\mu_i r_i}{\sum \mu_i r_i} 100. \quad (81)$$

Для данного случая состав газов по весу получается равным

CO <sub>2</sub> . . . . .	8,80%	H <sub>2</sub> . . . . .	1,10%
H <sub>2</sub> S . . . . .	0,40%	CH <sub>4</sub> . . . . .	1,50%
C <sub>m</sub> H <sub>m</sub> . . . . .	0,30%	N <sub>2</sub> . . . . .	58,00%
CO . . . . .	29,60%	O <sub>2</sub> . . . . .	0,30%
		Итого . . . . .	100,00%

Чтобы получить элементарный состав рассматриваемого топлива, требуется определить для каждого из газов, входящих в смесь, сначала C%, затем H% и т. д., а затем их просуммировать.

Подсчет этих элементов производят по следующему уравнению:

$$x = \frac{G_i \mu_x}{\mu_i} 0/0, \quad (82)$$

где  $x$  — искомое количество в данном газе углерода ( $C^0_0$ ), водорода ( $H^0_0$ ) и т. п.;

$\mu_x$  — атомный вес углерода, водорода и т. п., умноженный на число атомов в молекуле данного газа;

остальные обозначения прежние.

Для рассматриваемого примера количество углерода в отдельных газах, составляющих смесь, равно:

$$\begin{aligned}
 1. \quad C_{(CO_2)} &= \frac{8,8 \cdot 12}{44} = 2,40\% \\
 2. \quad C_{(C_2H_4)} &= \frac{0,3 \cdot 12 \cdot 2}{28} = 0,26\% \\
 3. \quad C_{(CO)} &= \frac{29,6 \cdot 12}{28} = 12,70\% \\
 4. \quad C_{(CH_4)} &= \frac{1,5 \cdot 12}{16} = 1,13\% \\
 \hline
 &\text{Итого } C = 16,49\%
 \end{aligned}$$

Количество водорода в отдельных газах:

$$\begin{aligned}
 1. \quad H_{(H_2S)} &= \frac{0,1 \cdot 2}{34} = 0,02\% \\
 2. \quad H_{(C_2H_4)} &= \frac{0,3 \cdot 4}{28} = 0,04\% \\
 3. \quad H_{(H_2)} &= \frac{1,1 \cdot 2}{2} = 1,10\% \\
 4. \quad H_{(CH_4)} &= \frac{1,5 \cdot 4}{16} = 0,37\% \\
 \hline
 &\text{Итого } H = 1,53\%
 \end{aligned}$$

Количество кислорода в отдельных газах:

$$\begin{aligned}
 1. \quad O_{(CO_2)} &= \frac{8,8 \cdot 16 \cdot 2}{44} = 6,40\% \\
 2. \quad O_{(CO)} &= \frac{29,6 \cdot 16}{28} = 16,90\% \\
 3. \quad O_{(O_2)} &= \frac{0,3 \cdot 32}{32} = 0,30\% \\
 \hline
 &\text{Итого } O = 23,60\%
 \end{aligned}$$



Количество серы и азота в газах:

$$S_{(H_2S)} = \frac{0,4 \cdot 32}{34} = 0,38\%$$

$$N_{(N_2)} = \frac{58,0 \cdot 28}{28} = 58,0\%$$

Всего . . . . 100%

Таким образом, элементарный состав сухого топлива (генераторного газа) в процентах по весу равняется

$$C^c + H^c + S^c + N^c + O^c = 16,49 + 1,53 + 0,38 + 58,0 + 23,6 = 100.$$

Перевод теплотворной способности газообразного топлива с объемной на весовую производится так:

$$Q_H^c \text{ ккал/кг} = \frac{Q_H^c \text{ ккал/нм}^3}{\gamma_0}, \quad (83)$$

где  $\gamma_0$  — удельный вес газа, находится по формуле

$$\gamma_0 = \frac{\sum \mu_i r_i}{100 \cdot 22,4} \text{ кг/нм}^3, \quad (84)$$

где  $\frac{\sum \mu_i r_i}{100}$  — средний (кажущийся) молекулярный вес смеси;

22,4 нм<sup>3</sup>/моль — объем 1 моля, принимается одинаковым с идеальным газом

## Глава V

# БАЛАНС ТЕПЛА КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

## § 28. ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ГАЗОВ

Охлаждение газов в газоходах котельной установки протекает при  $p = \text{const}$ .

Количество тепла, отдаваемое ими, определяется по формуле

$$Q = I' - I'' \text{ ккал на 1 кг топлива}, \quad (85)$$

где  $I'$  и  $I''$  — теплосодержание продуктов горения, считая на 1 кг сожженного топлива при входе и выходе из газохода.

Теплосодержание газа в общем виде вычисляется как произведение его объема при нормальных условиях на его объемную теплотемкость при постоянном давлении и на температуру в град. С.

$$I = VCT \text{ ккал/кг}. \quad (86)$$

Теплоемкость газов не остается величиной постоянной и изменяется в зависимости от температуры газов.

При нагревании газов одновременно с повышением температуры будет изменяться их теплоемкость, и в формулу теплосодержания необходимо подставлять среднее значение теплоемкости, считая от 0 до  $T^{\circ}\text{C}$ .

Так как величины средней теплоемкости  $\text{SO}_2$  близко подходят к значениям для  $\text{CO}_2$  и количество  $\text{SO}_2$  по сравнению с  $\text{CO}_2$  незначительно, то среднюю теплоемкость трехатомных газов  $\text{RO}_2 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2$  можно определить по данным для  $\text{CO}_2$ .

Из двухатомных газов в продуктах сгорания топлива находятся  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}$ , причем более  $\frac{3}{4}$  объема приходится на азот,  $\text{CO}$  по большей части исчисляется долями процента — остальное на кислород; поэтому, принимая среднюю теплоемкость двухатомных газов по сухому воздуху, теплосодержание этих газов будет подсчитываться достаточно точно.

Значения средних объемных теплоемкостей газов, при постоянном давлении входящих в состав продуктов сгорания, в зависимости от их температуры приведены в табл. 20.

Таблица 20

Средняя объемная теплоемкость газов (от 0 до  $T^{\circ}\text{C}$ ) при постоянном давлении в  $\text{ккал/м}^3 \text{град}$  (по ВТИ)

$T$	$\text{RO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	Сухой воздух ( $R_a$ )	$T$	$\text{RO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	Сухой воздух ( $R_a$ )
0	0,3805	0,3569	0,3093	1100	0,5363	0,4180	0,3396
100	0,4042	0,3596	0,3106	1200	0,5433	0,4244	0,3422
200	0,4290	0,3635	0,3123	1300	0,5495	0,4306	0,3448
300	0,4469	0,3684	0,3147	1400	0,5553	0,4367	0,3472
400	0,4628	0,3739	0,3175	1500	0,5606	0,4425	0,3494
500	0,4769	0,3796	0,3207	1600	0,5655	0,4482	0,3515
600	0,4895	0,3856	0,3241	1700	0,5701	0,4537	0,3534
700	0,5008	0,3920	0,3275	1800	0,5744	0,4590	0,3552
800	0,5110	0,3985	0,3307	1900	0,5783	0,4640	0,3570
900	0,5204	0,4050	0,3338	2000	0,5820	0,4689	0,3586
1000	0,5288	0,4115	0,3367	2100	0,5855	0,4736	0,3602
				2200	0,5887	0,4780	0,3616

Теплосодержание продуктов горения на 1 кг топлива, считая нагрев от  $0^{\circ}$ , может быть представлено таким уравнением:

$$I = (\Sigma V C_0^T) T = (V_{R_a} C_{R_a}^T + V_{\text{RO}_2} C_{\text{RO}_2}^T + V_{\text{в.п.}} C_{\text{в.п.}}^T) T \text{ ккал/кг.} \quad (87)$$

Ранее выведенная формула объема газа (76) предусматривала разбивку газов на сухие газы и водяные пары. Придерживаясь

## Теплосодержание продуктов сгорания

№ п/п	Наименование величин	Обозначение	Размерность	Расчетные формулы
1	Теплоемкость сухих трехатомных газов	$C_{RO_2}^T$	ккал/нм <sup>3</sup> град	По табл. 20
2	Теплоемкость сухих двухатомных газов (по воздуху)	$C_{R_a}^T$	ккал/нм <sup>3</sup> град	По табл. 20
3	Теплоемкость водяных паров	$C_{в.п}^T$	ккал/нм <sup>3</sup> град	По табл. 20
4	Теплоемкость сухих газов	$C_{с.г}^T$	ккал/нм <sup>3</sup> град	$C_{с.г}^T = \frac{RO_2}{100} C_{RO_2}^T + \frac{100-RO_2}{100} C_{R_a}^T$
5	Теплосодержание сухих газов	$I_{с.г}$	ккал/кг	$I_{с.г} = V_{с.г} C_{с.г}^T$
6	Теплосодержание водяных паров	$I_{в.п}$	ккал/кг	$I_{в.п} = V_{в.п} C_{в.п}^T$
7	Полное теплосодержание продуктов горения	$I_T$	ккал/кг	$I_T = I_{с.г} + I_{в.п}$

Т а б л и ц а 21

при сжигании антрацита марки АРШ

$\alpha=1,5$			$\alpha=1,6$			$\alpha=1,7$			$\alpha=1,9$		
1500°	1000°	500°	500°	400°	300°	300°	250°	200°	200°	150°	100°
0,5606	0,5288	0,4769	0,4769	0,4628	0,4469	0,4469	0,4379	0,4290	0,4290	0,4191	0,4092
0,3494	0,3367	0,3207	0,3207	0,3175	0,3147	0,3147	0,3135	0,3123	0,3123	0,3115	0,3106
0,4425	0,4115	0,3796	0,3796	0,3739	0,3684	0,3684	0,3660	0,3635	0,3635	0,3616	0,3596
0,377	0,362	0,341	0,339	0,334	0,331	0,330	0,328	0,325	0,325	0,323	0,321
5 200	3 320	1 565	1 660	1 310	972	1 020	850	672	762	568	376
246	152	70	72	57	42	43	36	28	29	22	14
5 446	3 472	1 635	1 732	1 367	1 014	1 063	886	700	791	590	390

такого разделения газов и в дальнейшем, их теплосодержание можно выразить следующим уравнением:

$$I_{\Gamma} = (V_{c.г} C_{c.г}^T + V_{в.п} C_{в.п}^T) T \text{ ккал/кг.} \quad (88)$$

Средняя теплоемкость сухих газов определяется как средняя взвешенная величина в зависимости от количества трехатомных и двухатомных газов по выражению

$$C_{c.г}^T = \frac{RO_2}{100} C_{RO_2}^T + \frac{100 - RO_2}{100} C_{R_2}^T. \quad (89)$$

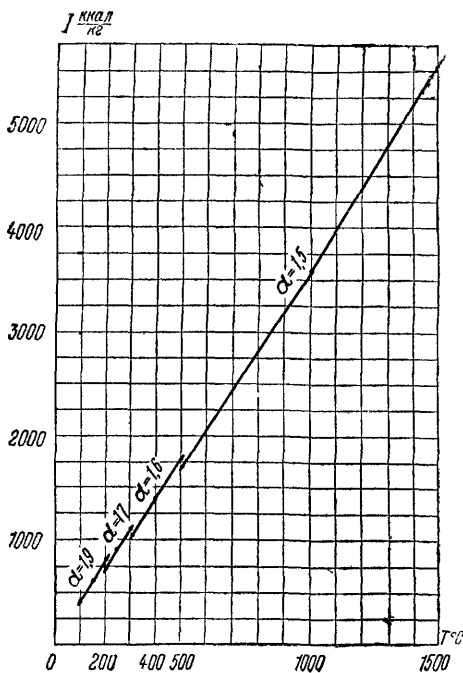


Рис. 21

Подсчеты теплосодержания продуктов сгорания для различных газоходов котельной установки обычно сводятся в таблицу. Одновременно по данным таблицы следует построить график  $I—T$ , позволяющий определять теплосодержание газов при любой температуре для заданного коэффициента избытка воздуха. Для ранее рассмотренного примера (см. табл. 19), где были определены объемы сухих газов и водяных паров в продуктах горения антрацита марки АРШ, в табл. 21 приводится теплосодержание

этих продуктов сгорания в зависимости от их температуры и избытка воздуха, а на рис. 21 изображена соответствующая  $I—T$ -диаграмма.

## § 29. ОБЩЕЕ УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА ТЕПЛА

Каждый килограмм топлива, используемый для получения тепла в котельной установке, вносит с собой тепло в количестве, соответствующем теплотворной способности его рабочего состава,  $Q_{\Pi}^p$  ккал/кг. Но не все это тепло полезно используется; имеется ряд неизбежных потерь, снижение размеров которых до минимума

и составляет задачу рационального построения и взаимного комбинирования отдельных элементов установки и ее эксплуатации.

Баланс тепла котельной установки, считая на 1 кг сжигаемого топлива, выражается следующим равенством:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \pm Q_6 + Q_{\text{физ}}^{\text{шл}} \text{ ккал/кг}, \quad (90)$$

здесь  $Q_1$  — полезное используемое тепло, получаемое в виде пара или горячей воды, в ккал/кг; остальные члены правой части равенства являются потерями;

$Q_2$  — потеря тепла с отходящими из установки и рассеиваемыми в окружающую среду дымовыми газами в ккал/кг;

$Q_3$  — потеря от химической неполноты сгорания в ккал/кг;

$Q_4$  — потеря от механической неполноты сгорания, включая сюда потери в провале, шлаках, уносе в ккал/кг;

$Q_5$  — потеря тепла всеми элементами котельной установки в окружающую среду в ккал/кг;

$Q_6$  — потеря от неустановившегося теплового состояния в ккал/кг;

$Q_{\text{физ}}^{\text{шл}}$  — потери физического тепла с удаленными из топки золой и шлаком в ккал/кг.

Величина  $Q_6$  входит в баланс со знаком плюс в том случае, если установка только что растапливается, стенки обмуровки еще холодные и аналогично с поверхностями нагрева котла обмуровка отнимает тепло от проходящих по газоходам газов. Когда обмуровка прогреется, придет в установившееся тепловое состояние, то  $Q_6$  пропадает и в обмуровку поступает только то количество тепла, которое идет на пополнение рассеиваемого ею в окружающую среду. Наоборот, если котел переводят на работу с пониженной нагрузкой, например, во время обеденного перерыва предприятия, нагретые стенки обмуровки начинают отдавать тепло менее нагретым газам. Тогда в уравнении теплового баланса опять появляется член  $Q_6$ , но со знаком минус, так как обмуровка в этом случае является как бы дополнительным источником тепла к основному — теплотворной способности топлива.

При испытаниях котельных установок экспериментальное определение  $Q_6$  невозможно, поэтому потерю от неустановившегося состояния стремятся свести к нулю. Для этой цели испытания начинают только в условиях установившегося теплового режима, о чем судят по температуре газов за котлом. Постоянное ее значение в течение длительного времени свидетельствует об установившемся режиме работы.

При проектировании котельных установок баланс тепла подсчитывается также для условий установившегося теплового состояния, т. е. при  $Q_6 = 0$ . Физическим теплом уноса пренебрегают ввиду его незначительности.

Если обе части уравнения (90) разделить на  $Q_n^p$  и умножить на 100, то получается новое выражение баланса тепла, по которому использованное тепло и потери выражены в процентном отношении к теплу, заключающемуся в топливе:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \pm q_6 + q_{\text{физ}}^{\text{шл}}. \quad (91)$$

### § 30. ТЕПЛО, ПОЛЕЗНО ИСПОЛЬЗУЕМОЕ УСТАНОВКОЙ

Отношение количества полезно используемого тепла 1 кг сжигаемого топлива к теплотворной способности рабочего топлива будет выражать собой к. п. д. установки  $\eta_y$ , т. е.

$$\frac{Q_1}{Q_n^p} 100 = q_1 = \eta_y \cdot 100. \quad (92)$$

Иногда  $\eta_y$  выражают в процентах, тогда  $q_1 = \eta_y \%$ .

В дальнейшем принимаются следующие обозначения:

$D$  — количество пара, вырабатываемое в час установкой, в кг  
 $B$  — количество топлива, сжигаемого в час, в кг;  
 $\Delta i$  — тепло, сообщенное в установке 1 кг теплоносителя—пару или воде (при водогрейных котлах), в ккал.

В таблицах водяного пара (табл. 22, 23, 24) дается теплосодержание пара, считая от  $0^\circ$ . Для питания же котельной установки берется вода с температурой, превышающей  $0^\circ$ . В отопительных котельных по большей части удается использовать значительную часть обратного конденсата, получаемого во всех нагревательных приборах отопления, теплообменниках, сушилках и пр. — везде, где нагревание производится при помощи поверхностных подогревателей. Только в случаях расходования острого пара, например, в красильных барках, бучильниках и тому подобной производственной аппаратуре, конденсат пара пропадает и его убыль приходится пополнять водой из городского водопровода, реки или артезианской скважины. Таким образом, в питательном сборном баке котельной устанавливается некоторая температура, зачастую повышающаяся до  $80-100^\circ$ .

Сообщенное теплоносителю теплосодержание будет выражаться так:

$$\Delta i = i - t'_s \text{ ккал, кг}, \quad (93)$$

где  $i$  — теплосодержание насыщенного или перегретого пара в ккал/кг;

$t'_3$  — температура питательной воды, входящей в установку, в град.

В данном случае вместо теплосодержания воды подставляется ее температура, так как теплоемкость воды близка к единице.

Пользуясь зависимостями (92) и (93) и обозначая через  $D$  расход пара, а через  $B$  — расход топлива в час, можно написать

$$D \Delta i = Q_1 B = Q_n^p \eta_y B \text{ ккал, час,} \quad (94)$$

следовательно, зная часовые расходы пара и топлива, а также сообщаемое воде теплосодержание и теплотворную способность топлива, можно определить к. п. д. установки. При водогрейных котлах под  $D$  должно подразумеваться часовое количество прошедшей через установку воды и  $\Delta i = t''_k - t'_k$  ккал/кг.

Отношение  $\frac{D}{B}$  кг на 1 кг топлива для паровых котлов называется видимой испарительностью топлива и выражается формулой

$$И = \frac{D}{B} = \frac{Q_1}{\Delta i} = \frac{Q_n^p \eta_y}{\Delta i}. \quad (95)$$

Значение теплосодержания пара и температуры воды в разных установках различное.

С целью получения сравнимых между собой цифр, позволяющих характеризовать работу установки, пользуются испарительностью по нормальному пару, т. е.  $\Delta i = 640$  ккал/кг;

тогда

$$И_n = \frac{D \Delta i}{B \cdot 640}. \quad (96)$$

Теплосодержание как насыщенного, так и перегретого пара можно найти по табл. 22 и 23, однако следует отметить, что при значительных форсировках в котлах, особенно с малым зеркалом испарения, паровыделение происходит настолько бурно, что пар не получается сухим насыщенным, и к нему добавляется некоторое количество котловой воды в виде капель или пены. В целях борьбы с сильным повышением влажности пара его часто пропускают через особые сепарирующие устройства — паросушители.

Сообщаемое питательной воде теплосодержание в раскрытом виде можно представить так:

$$\Delta i = \underbrace{t''_3 - t'_3}_{\text{эконо-майзер}} + \underbrace{q - t''_3}_{\text{котел}} + rx + \underbrace{+ r(1-x) + c_{пе}(t_{пе} - t_n)}_{\text{перегреватель}} \text{ ккал/кг.} \quad (97)$$



Таблица 22

Свойства водяного пара  
(по М. П. Вукаловичу)

Давление $p$ в $\text{кг/см}^2$ (атм)	Температура насыщения $t_n$ в град.	Теплота жидкости $q$ в $\text{ккал/кг}$	Скрытая теплота испарения $r$ в $\text{ккал/кг}$	Полная теплота испарения $q + r = i_{\text{с.}}$ в $\text{ккал/кг}$
0,02	17,2	17,3	587,6	604,9
0,04	28,6	28,7	581,1	609,8
0,06	35,8	35,8	576,8	612,6
0,08	41,2	41,2	574,0	615,2
0,1	45,5	45,5	571,6	617,0
0,12	49,1	49,1	569,5	618,6
0,15	53,6	53,6	566,9	620,5
0,20	59,7	59,7	563,4	623,1
0,25	64,6	64,6	560,0	625,0
0,3	68,7	68,7	558,1	626,8
0,5	80,9	80,9	550,7	631,6
0,7	89,5	89,5	545,6	635,1
1,0	99,1	99,2	539,6	638,8
1,2	104,3	104,4	536,6	640,7
1,4	108,7	108,9	533,4	642,3
1,6	112,7	113,0	530,8	643,8
1,8	116,3	116,6	528,5	645,1
2,0	119,6	119,9	526,4	646,3
2,5	126,8	127,2	521,5	648,7
3,0	132,9	133,4	517,3	650,7
3,5	138,2	138,9	513,5	652,4
4,0	142,9	143,7	510,2	653,9
4,5	147,2	148,1	507,1	655,2
5,0	151,1	152,1	504,2	656,3
6,0	158,1	159,3	498,9	658,3
7,0	164,2	165,7	494,2	659,9
8,0	169,6	171,4	489,0	661,2
9,0	174,5	176,5	485,8	662,3
10,0	179,0	181,3	482,1	663,3
12,0	187,1	189,8	475,1	664,9
14,0	194,1	197,3	468,9	666,2

Таблица 23

Теплосодержание перегретого пара  $i_{пе}$  ккал/кг  
(по М. П. Вукаловичу)

Давление $p$ в кг/см <sup>2</sup> (ата)	$t_{пе}$ в град.				
	200	260	300	360	400
1	686,6	714,9	734,0	762,9	782,6
2	685,4	714,1	733,4	762,8	782,6
3	684,2	713,2	732,7	762,3	782,2
4	683,0	712,4	732,1	761,8	781,8
5	681,7	711,5	731,4	761,4	781,5
6	680,6	710,7	730,7	760,9	781,1
7	679,4	709,9	730,1	760,3	780,6
8	678,2	709,2	729,4	760,0	780,3
9	676,8	708,4	728,7	759,4	779,9
10	675,4	707,6	728,0	758,9	779,5
11	674,1	706,8	727,3	758,3	779,1
12	672,9	705,9	726,7	757,9	778,7
13	671,5	705,1	726,0	757,4	778,2
14	670,0	704,2	725,1	756,9	777,9

Таблица 24

Средняя теплоемкость перегретого водяного пара, отсчитанная от  
температуры насыщения,  $c_{пе}$  в ккал/кг град  
(по М. П. Вукаловичу)

Температура перегретого пара $t_{пе}$ в град.	Давление пара $p$ в кг/см <sup>2</sup> (ата)			
	1	5	10	20
200	0,474	0,520	0,577	—
260	0,473	0,507	0,547	0,625
300	0,474	0,504	0,535	0,596
360	0,476	0,503	0,528	0,576
400	0,478	0,503	0,526	0,567

Ниже приводятся характеристики еще не встречавшихся обозначений:

$q$  — теплосодержание 1 кг воды в ккал, нагретой от  $0^\circ$  до температуры, соответствующей кипению при заданном абсолютном давлении;

$r$  — скрытая теплота парообразования в ккал/кг берется также из таблиц для водяного пара;

$x$  — паросодержание — весовое количество пара в 1 кг смеси пара и воды;

$c_{пе}$  — средняя теплоемкость перегретого пара в ккал/кг град; находится по табл. 24.

Уравнение (97) наглядно характеризует функции отдельных элементов котельной установки. Путь движения воды и пара по котлоагрегату указан на рис. 9.

В экономайзере вода нагревается до  $t'_s$ , далее в котле она догревается до температуры кипения и затем испаряется. Некоторая часть воды  $(1 - x)$  увлекается паром и при наличии перегревателя эта вода попадает в него. Таким образом, в котлах, дающих пар с большой влажностью, много воды может заноситься в перегреватель, заставляя последний частично выполнять функции испаряющей поверхности нагрева, что крайне нежелательно, так как в змеевиках перегревателя образуется накипь, которую трудно удалить.

Если установка не имеет перегревателя, то его функции не будут выполнены и  $\Delta i$  примет вид

$$\Delta i = t'_s - t'_s + q - t'_s + rx = q + rx - t'_s \text{ ккал/кг} \quad (98)$$

при отсутствии также экономайзера

$$\Delta i = q + rx - t'_k \text{ ккал/кг} \quad (99)$$

и, наконец, для котельной с водогрейными котлами

$$\Delta i = t'_k - t'_k \text{ ккал/кг.} \quad (100)$$

Вода в паровых котлах испаряется, а растворенные в ней соли, образующие накипь, почти целиком остаются в воде, поэтому в котловой воде с течением времени все больше и больше остается солей жесткости; пересыщая раствор котловой воды, они выпадают в виде накипи. Чтобы в известной степени ослабить накипобразование, паровые котлы снабжаются продувкой, т. е. часть котловой воды  $D_{пр}$  удаляется из котла и выбрасывается, а взамен усиливается питание котла, вода которого имеет незначительное количество солей жесткости. В отопительных котлах продувка по большей части производится не непрерывно, а периодически. На непрерывную продувку расходуется тепло  $q_{пр}$ , и в таком случае

для определения полезно используемого тепла может быть дано следующее выражение:

$$Q_1 = \frac{D}{B} [t_3'' - t_3' + q - t_3'' + rx + r(1-x) + c_{пе} (t_{пе} - t_n) + \frac{D_{пр}}{D} (q_{пр} - t_3')] \text{ ккал/кг.} \quad (101)$$

Здесь тепло, сообщенное в котле:

$$Q_1^к = \frac{D}{B} [q - t_3'' + rx + \frac{D_{пр}}{D} (q_{пр} - t_3')]; \quad (102)$$

тепло, сообщенное в перегревателе:

$$Q_1^{пе} = \frac{D}{B} [r(1-x) + c_{пе} (t_{пе} - t_n)]; \quad (103)$$

тепло, сообщенное в водяном экономайзере:

$$Q_1^{эк} = \frac{D}{B} [t_3'' - t_3' + \frac{D_{пр}}{D} (t_3'' - t_3')], \quad (104)$$

при этом

$$Q_1 = Q_1^к + Q_1^{пе} + Q_1^{эк} \text{ ккал/кг,} \quad (105)$$

или то же уравнение, выраженное в процентах:

$$q_1 = q_1^к + q_1^{пе} + q_1^{эк}. \quad (106)$$

### § 31. ПОТЕРЯ ТЕПЛА ОТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ

При рассмотрении отдельных составляющих уравнения баланса тепла котельной установки можно выделить две потери, целиком зависящие от топлива, способа его сжигания, конструкции топки и ее обслуживания, — это потери от химической и механической неполноты сгорания. Механический недожог топлива, как уже указывалось, расчленяется на три части: потеря от провала топлива через зазоры колосниковой решетки, потери в шлаках и с уносом. Потеря от провала при правильном конструировании полотна решетки обыкновенно незначительна и в балансе тепла колеблется в пределах, равных  $0,5 \div 2,0\%$ . Потеря в шлаках, особенно для многозольного топлива, может достигать довольно больших размеров. Наблюдается прямая зависимость между количеством золы в топливе и потерей со шлаками. Чем выше зольность, тем большее количество твердых частиц топлива в слое не сгорит вследствие обволакивания шлаком, затрудняющим доступ к ним воздуха. У топлива, имеющего малый выход летучих, горение, как известно, сосредоточивается

в слое, там развиваются высокие температуры, плавится шлак и в его массу попадает часть горючего. Если сжигается топливо с большим выходом летучих, то из-за пониженных температур в слое, охлаждаемом в таком случае воздухом, идущим для сжигания летучих в топочном пространстве, шлаки скорее затвердевают (гранулируются), не сильно облепляют кусочки топлива и потеря горючего со шлаками уменьшается.

При сжигании топлива на простых решетках с периодической чисткой шлака последний долгое время находится на решетке, что способствует лучшему выжиганию из шлака частичек горючего. На размерах потери со шлаком главным образом сказывается работа кочегара, который при чистке должен суметь отделить шлак от угля. Путем улучшения условий сжигания, выделения, например, в механических топках особого участка, предназначенного для выжигания из шлака частичек попавшего в них топлива, удастся по большей части довести и эту составляющую механического недожога до сравнительно небольших размеров. Гораздо сложнее бороться с последней потерей — уносом горючих частичек в газоходы и трубу. При неспекающемся коксе топлива (а энергетические угли по большей части обладают таким коксом) потеря от уноса топлива сильно возрастает, причем чем больше в топливе будет мелочи, тем больше мелких кусочков будет вынесено потоком газов в газоходы установки. Мелочь топлива, обладающего неспекающимся коксом, выносится из слоя воздухом и газами. Наиболее мелкие фракции мелочи сгорают в топочном пространстве, а остальные начинают подпрыгивать на решетке, причем чем мельче куски, тем на большую высоту куски будут подниматься при их движении вверх и вниз. Часть твердых частиц топлива залетает в междутрубное пространство котла, где вследствие уменьшившегося живого сечения скорости газов резко повышаются, захватывают с собой попавшие в газоход частицы топлива и выносят их в боровую или трубу. Таким образом, подпрыгнув, может опуститься назад только частица топлива, не залетевшая в газоход, иначе она попадет в унос, составляя в дальнейшем потерю от механического недожога.

Количество выделяемого на решетке тепла пропорционально расходуемому топливу, а следовательно, и идущему на его сжигание воздуху и скоростям его движения по слою. С изменением расхода воздуха пропорционально изменяются и скорости его движения через слои, влияющие на потерю от уноса. Указанные скорости и расход топлива получают хорошее отражение в так называемом тепловом напряжении зеркала горения.

$$\frac{Q}{R} \text{ ккал/м}^2 \text{ час,}$$

где  $Q = Q_{\text{н}}^{\text{р}} B$  — количество тепла, выделяемого в 1 час на решетке;

$R$  — площадь зеркала горения.

Иногда в качестве характеристики работы топки принимают ее весовое напряжение  $\frac{B}{R}$ , что неправильно, так как расход воздуха пропорционален не весу сжигаемого топлива, а производительности  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} B$  [см. формулу (26)].

Примером резкого повышения уноса в зависимости от форсировки могут служить цифры изменения потери от уноса при сжигании мелочи подмосковного угля на цепной решетке:

$\frac{Q}{R}$ в тыс. ккал/м <sup>2</sup> час . . . . .	800	900	1 000	1 100	1 200	1 400
$q_4^{\text{ун}}$ в % . . . . .	3,0	4,0	7,0	10,0	14,0	21,0

Бороться с увеличением уноса из слоя топлива можно путем понижения избытка воздуха, тогда уменьшаются скорости движения газов по слою, повышаются температуры в слое и в топочном пространстве, тем содействуя лучшему сжиганию. Далее, перекрывая топку сводами, конечно, в тех случаях, где это возможно и не вызывает чрезмерного повышения температуры слоя, можно заставить отскакивать вниз ударяющиеся о своды частички твердого топлива; наиболее радикальным мероприятием по борьбе с уносом является увеличение объема топочного пространства, в пределах которого происходит сгорание частичек топлива. Понижение теплового напряжения зеркала горения также уменьшает потерю с уносом. Эта мера наиболее дорогая, так как снижается форсировка котла и приходится устанавливать дополнительные котлы. По мере увеличения выхода летучих в топливе и, следовательно, уменьшения его коксующейся части унос уменьшается.

Потеря от уноса получается и при сжигании пылевидного топлива, если его помол будет недостаточно тонок, а размеры топочной камеры таковы, что частички пыли не будут успевать сгорать до момента соприкосновения факела с поверхностью нагрева первого газохода. В табл. 25 приведены допустимые тепловые напряжения объема топочного пространства для пылевидного топлива, и, как видно, они значительно ниже соответствующих напряжений для слоевого сжигания. Это объясняется тем, что газ в топочном пространстве сгорает скорее по сравнению даже с мельчайшей пылинкой топлива. При сгорании пылинки вокруг нее образуется облачко инертных газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ), затрудняющее доступ к ней кислорода и тем замедляющее процесс сгорания. Применение турбулентных горелок, завихривающих факел, способствует лучшему перемешиванию угольной пыли с воздухом, а также разру-

шению указанной газовой оболочки. Подобные мероприятия позволяют приблизить тепловые напряжения топочного объема к напряжениям для кускового топлива, когда в топочном пространстве сгорают по преимуществу газообразные горючие вещества.

Потеря от уноса ставит пределы допустимых форсировок топок, а для сравнительно мелких отопительных установок, когда зеркало горения их топок имеет ограниченные размеры, эти пределы форсировок топок предопределяют и возможный съем тепла с котельных поверхностей. Таким образом, в мелких установках не конструкция котла, условия циркуляции и т. п. ставят пределы допустимых форсировок, а главным образом топка и в первую очередь потеря от уноса.

В табл. 26 приведены величины тепловых потерь от провала, в шлаках и уносе для различных топлив и топок. Эти цифры надо считать средними для нормальных условий эксплуатации и правильно спроектированных топок.

Потеря тепла от механической неполноты сгорания, считая ее на каждый килограмм топлива, выражается равенством

$$Q_4 = Q_4^{np} + Q_4^{шл} + Q_4^{ун} \text{ ккал/кг,} \quad (107)$$

или

$$q_4 = q_4^{np} + q_4^{шл} + q_4^{ун} \% \quad (108)$$

Чтобы подсчитать потерянное количество тепла, надо знать количество и теплотворную способность провала, шлаков и уноса, в которые попадает зола топлива, обогащенная частицами несгоревшего топлива, лишенного воды. Обычно после испытания котельной установки взвешиваются извлеченные из топки провал и шлаки. Их вес делится на количество часов работы, и таким образом находятся величины часового выхода провала и шлаков.

Способами, аналогичными применяемым для минерального топлива, отбираются средние пробы отдельно от провала, шлаков и уноса, которые и направляются в химическую лабораторию на исследование.

В лаборатории определяется теплотворная способность на сухое вещество провала, шлаков и уноса:  $Q_{пр}^c$ ;  $Q_{шл}^c$  и  $Q_{ун}^c$  ккал кг.

При невысокой теплотворной способности очаговых остатков лаборатория вместо теплотворной способности часто дает сведения о количестве в процентах горючих элементов в провале и шлаках. Потеря тепла в провале и шлаках в зависимости от того, какими располагают сведениями, может быть подсчитана:

$$Q_4^{np} = \frac{G_{np}}{B} Q_{пр}^c \text{ ккал на 1 кг топлива;} \quad (109)$$

$$Q_4^{шл} = \frac{G_{шл}}{B} Q_{шл}^c \text{ ккал на 1 кг топлива,} \quad (110)$$

где  $G_{пр}$  и  $G_{шл}$  — часовое количество провала и шлаков в кг.

При наличии данных о содержании в процентах горючих элементов  $z\%$  в провале, шлаках и уносе, учитывая отсутствие в них влаги, так как последняя в топке испарится,  $Q_{\text{пр}}^c$ ,  $Q_{\text{шл}}^c$  и  $Q_{\text{ун}}^c$  определяют так:

$$Q_{\text{пр}}^c = \frac{z_{\text{пр}}}{100} 7800 \text{ ккал на 1 кг провала}; \quad (111)$$

$$Q_{\text{шл}}^c = \frac{z_{\text{шл}}}{100} 7800 \text{ ккал на 1 кг шлака}; \quad (112)$$

$$Q_{\text{ун}}^c = \frac{z_{\text{ун}}}{100} 7800 \text{ ккал на 1 кг уноса}. \quad (113)$$

Теплотворная способность горючих элементов в провале, шлаке и уносе в зависимости главным образом от рода сжигаемого топлива колеблется в пределах 8300—7300 ккал/кг. ВТИ рекомендует в среднем считать 7800 ккал/кг, что и принято в формулах (111), (112) и (113).

Потерю тепла от уноса экспериментально определить затруднительно, так как часть уноса осаждается в газоходах и часть удаляется вместе с отходящими газами в дымовую трубу.

Обычно количество уноса определяется по золовому балансу.

Всего за час выделилось золы  $\frac{A^p B}{100}$ , которая распределилась в провале, шлаке и уносе приблизительно в таких соотношениях:

$$\frac{A^p B}{100} = G_{\text{пр}} \left(1 - \frac{z_{\text{пр}}}{100}\right) + G_{\text{шл}} \left(1 - \frac{z_{\text{шл}}}{100}\right) + G_{\text{ун}} \left(1 - \frac{z_{\text{ун}}}{100}\right). \quad (114)$$

Из равенства (114) определяется  $G_{\text{ун}}$ , после чего потеря тепла от уноса подсчитывается по уравнению

$$Q_4^{\text{ун}} = \frac{G_{\text{ун}}}{B} Q_{\text{ун}}^c \text{ ккал на 1 кг топлива}. \quad (115)$$

При сжигании мазута или газа потеря от механического недожога отсутствует и  $q_4 = 0$ .

В гл. IV указывался метод, учитывающий влияние потери от механического недожога в формулах, определяющих потери от химической  $Q_3$  неполноты сгорания и с отходящими газами  $Q_2$ . В указанные формулы вводился множитель  $\left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$ .

Производя испытания котельной установки, обычно  $q_4^{\text{ун}}$  экспериментально не определяют. Вся же потеря  $q_4 = q_4^{\text{пр}} + q_4^{\text{шл}} + q_4^{\text{ун}}$  может быть определена путем следующих подсчетов.

При экспериментальном определении баланса тепла котельной установки должно сохраниться равенство

$$Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_2' + Q_3' + Q_4', \quad (116)$$



Значения при нормаль

- 1) избытков воздуха в топке  $\alpha_T$ ;  
 2) тепловых напряжений зеркала горения (горящий слой)

$$\frac{Q}{R} = \frac{Q_H^p B}{R}$$

- 3) тепловых напряжений объемов топочного пространства<sup>1</sup>:

$$\frac{Q}{V} = \frac{Q_H^p B}{V}$$

Система топок	Древесина: дрова, щепки (механические топки), опилки (камерные топки)			Торф: кусковой, фрезерный (шахтно-мельничные топки)			Бурые угли							
	$\alpha_T$	$\frac{Q}{R}$	$\frac{Q}{V}$	$\alpha_T$	$\frac{Q}{R}$	$\frac{Q}{V}$	рядовые $W^p \approx 20\%$ ; $A^c = 15 + 35\%$			рядовые (типа подмосковного) $W^p \approx 32\%$ ; $A^c = 28 + 40\%$				
							$\alpha_T$	$\frac{Q}{R}$	$\frac{Q}{V}$	$\alpha_T$	$\frac{Q}{R}$	$\frac{Q}{V}$		
Ручные колосниковые решетки <sup>2</sup>	1,4	1 000*	300	1,5	1 000	300	—	—	—	—	—	—	—	—
а) при отсутствии золотого этажа	—	—	—	—	—	—	1,50	700	250	1,55	500	250	—	—
б) при наличии золотого этажа	—	—	—	—	—	—	1,40	800	250	1,45	650	250	—	—
Механические топки <sup>3</sup>	1,25	1 200	250	1,3	2 000	300	1,25	900	250	1,30	800	250	—	—
Камерные топки	1,2	—	200	1,25	—	160	1,25	—	160	1,25	—	160	—	—
Шахтные топки:														
а) с вертикальным зеркалом горения	1,3	3 000	300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
б) фартучная топка	2,0	3 000	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
в) с наклонным зеркалом горения	1,3	1 200	300	1,3	1 000	300	—	—	—	—	—	—	—	—
г) то же, для древесных опилок	1,3	600	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1</sup> Тепловые напряжения всюду приведены „видимые“ без учета их пониже

<sup>2</sup> При вертикальном отводе газов. Если решетка располагается внутри жа без изменений. При сжигании углей на решетке без дутья  $\frac{Q}{R}$  колеблется от

<sup>3</sup> При сжигании углей на двухступенчатой решетке ВТИ, с шурующей

\* При  $W^p$  до 35 — 40%.

При составлении табл. 25 и 26 использованы отдельные литературные све

Таблица 25

ных условиях работы:

топлива)<sup>1</sup>:в тыс. ккал/м<sup>2</sup> час;в тыс. ккал/м<sup>3</sup> час.

Каменные угли						Антрациты						Мазут				Газ	
сухие длинно- пламенные и спекающиеся			неспексающие и тощие			сортирован- ные			несортиро- ванные типа АРШ			форсунки					
												паро- вые		механи- ческие			
$\alpha_T$	$\frac{Q}{R}$	$\frac{Q}{V}$	$\alpha_T$	$\frac{Q}{R}$	$\frac{Q}{V}$	$\alpha_T$	$\frac{Q}{R}$	$\frac{Q}{V}$	$\alpha_T$	$\frac{Q}{R}$	$\frac{Q}{V}$	$\alpha_T$	$\frac{Q}{V}$	$\alpha_T$	$\frac{Q}{V}$		
1,4	900	250	1,4	700	250	1,35	1 090	300	1,50	650	300	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1,3	1 100	250	1,3	800	250	1,25	1 200	300	1,45	800	300	—	—	—	—	—	
1,2	—	160	1,2	—	180	1,25	—	150	1,25	—	150	1,2	270	1,25	250 ÷ ÷300	1,1	300
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

ния вследствие химической и механической неполноты горения.

ровой трубы, то  $\frac{Q}{R}$  надо понизить на 15 ÷ 20%. Сумма  $q_4$  (табл. 26) остается

100 ÷ 150 (подмосковный уголь) до 400 (крупнокусковой антрацит) тыс. ккал/м<sup>2</sup> час

планкой или самозабрасывателем значения  $\frac{Q}{R}$  и  $\frac{Q}{V}$  см. в тексте.

дения, а также данные личного опыта автора.

Значение потери от механической неполноты сгорания  $q_4$  % при нормальных: избытках воздуха, тепловых напряжениях зеркала горения и объема топочного пространства согласно данным табл. 25

Система топок	Древесина: дрова, щепы (механические топки), опилки (камерная топка)			Торф: кусковой, фрезерный (шахтно-мельничная топка)			Бурые угли						Каменные угли						Антрациты										
							рядовые $W^P \approx 20\%$ $A^C = 15 + 35\%$			рядовые - подмосковный $W^P \approx 32\%$ $A^C = 28 + 40\%$			сухие длинно-пламенные			спекающиеся			тощие			сортировальные			АРШ (ручные и механические)				
	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$	пр $q_4$	шл $q_4$	ун $q_4$		
Ручные колосниковые решетки . . .	0,5	—	1,0	2,0	3,0	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	2,7	3,0	0,3	1,6	1,5	0,3	1,6	4,0	0,3	3,0	3,0	0,3	4,7	4,0
а) при отсутствии золowego этажа . . .	—	—	—	—	—	—	0,3	4,6	2,0	0,3	5,0	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
б) при наличии золowego этажа . . .	—	—	—	—	—	—	0,3	4,6	3,0	0,3	5,0	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Механические топки . . . . .	0,1	—	0,1	0,1	0,1	0,7	0,5	5,0	1,5	0,5	6,0	1,5	0,5	2,5	2,0	0,5	3,5	1,0	0,5	2,0	4,0	0,3	4,0	1,7	0,3	3,7	4,0	—	
Камерные топки . . . . .	—	0,1	—	—	—	—	—	0,7	—	—	1,3	—	—	—	1,5	—	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Шахтные топки:																													
а) с вертикальным зеркалом горения	0,5	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
б) фартучная топка . . . . .	1,0	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
в) с наклонным зеркалом горения	0,5	—	1,0	0,5	2,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
г) то же, при сжигании древесных опилок . . . . .	0,5	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

где  $Q_2$ ,  $Q_3$  и  $Q_4$  подсчитываются по формулам без поправок, а  $Q'_2$ ,  $Q'_3$  и  $Q'_4$  с поправками, а именно:

$$Q'_2 = \left[ \frac{K^p}{0,536(RO_2 + CO)} \frac{T_y}{C_{c.r.0}} + \frac{9H^p + 0,1\alpha_y L_0 d}{80,5} \frac{T_y}{C_{в.п.0}} \right] \times \\ \times T_y \left( 1 - \frac{q'_4}{100} \right) + \frac{W^p + 100W_\phi}{80,5} \frac{T_v}{C_{в.п.0}} T_y - \alpha_t L_0 \times \\ \times \left( \frac{d}{1000} 0,45 + 0,24 \right) t_{вк} \left( 1 - \frac{q'_4}{100} \right) - W_\phi (i - 600) - C_t t_t.$$

Обоснование этой формулы (124) приведено ниже при рассмотрении потерь с отходящими газами.

$$Q'_3 = 56,7K^p \frac{CO}{RO_2 + CO} \left( 1 - \frac{q'_4}{100} \right); \\ Q'_4 = \frac{Q_n^p q'_4}{100}. \quad (117)$$

$Q_4$  определяется как единственная неизвестная величина при подсчете теплового баланса без поправок. Таким образом, при решении уравнения (116) неизвестной величиной является  $Q'_4$ , которую и находят, после чего подсчитывают  $q'_4$  и с поправкой на  $q'_4$  значения  $Q'_2$  и  $Q'_3$ .

### § 32. ПОТЕРЯ ТЕПЛА ОТ ХИМИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ

Причины, вызывающие появление химической неполноты сгорания, подробно описывались в главе о процессе горения топлива на колосниковой решетке. Количество калорий, теряемых каждым килограммом топлива при химически неполном сгорании, подсчитывается по формуле (68).

Количество процентов окиси углерода в газах определяется по уже ранее приводившемуся уравнению (53), в которое  $RO_2$  и  $RO_2 + O_2$  подставляются по данным газового анализа, причем совершенно безразлично, в каком пункте установки и при каком, следовательно, избытке воздуха отбиралась для анализа проба газа. Изменяются лишь процентные значения  $CO$  и  $RO_2$ , но  $Q_3$  останется постоянной. Это рассуждение справедливо в случаях нормальной эксплуатации котельных установок, когда горючие летучие вещества полностью сгорают в топочном пространстве и отсутствует их частичное догорание в газоходах. Во избежание получения неправильных результатов анализ газов лучше производить за котлом.

При изучении условий горения топлива на простой колосниковой решетке уже отмечалась роль топочного пространства как камеры, предназначенной для сжигания горючих летучих веществ.

Влияние повышения теплового напряжения объема топочного пространства выше допустимых норм хорошо иллюстрируется приводимым примером изменения  $q_3$  в зависимости от  $\frac{Q}{V}$  для случая сжигания древесной щепы на цепной решетке:

$\frac{Q}{V}$ в тыс. ккал/м <sup>3</sup> час	290	300	350	400	450
$q_3$ в %	0	0,5	2,1	3,4	4,2

Располагаемого объема топочного пространства хватает в данном случае лишь для форсировок, не превышающих 290 тыс ккал/м<sup>3</sup> час. При дальнейшем повышении форсировок все более увеличивается потеря от химической неполноты сгорания.

В табл. 25 даются максимально возможные тепловые напряжения объема топочного пространства, при которых получается практически допустимая потеря от химической неполноты сгорания: для механических и камерных, а также шахтных топок  $q_3$  — до 2% и для колосниковых решеток с ручным обслуживанием — до 2—4%.

Цифры тепловых напряжений объема мало изменяются как при длиннопламенном топливе, так и при тощих углях и антраците. Причины такого, казалось бы, несоответствия кроются в том, что, развивая объем топочного пространства, приходится бороться не только с потерей от химической неполноты сгорания, но и с потерей от уноса, тем предотвращая занос кусочков топлива в первый газопод котла.

Наилучшая характеристика всякой топки заключается в достижении минимальных избытков воздуха при одновременном полном сгорании. Значения избытков воздуха, указываемые в табл. 25, характеризуют правильное конструирование и хорошую эксплуатацию топок. На практике зачастую приходится встречаться с иными цифрами, которые говорят о неудовлетворительной работе топочных устройств. Задачи рационализации и заключаются в данном случае в том, чтобы вскрыть истинные причины неполадок и в кратчайшее время их устранить.

При выявлении тепловых напряжений топочного объема последний определяется так: для котлов жаротрубных в топочный объем включается объем жаровых труб; при сжигании кускового топлива объем топочного пространства подсчитывается от слоя топлива до поверхности нагрева, причем для шахтных топок исключается объем, лежащий ниже топочного порога.

В случаях камерного сжигания объем подсчитывается полностью за вычетом половины объема нижней холодной воронки.

Приводимые в табл. 25 значения избытков воздуха и тепловых напряжений топочного объема следует считать как некоторые средние величины. Целый ряд чисто эксплуатационных моментов, а также особенностей в конструкции топки может изменять в ту или иную сторону приводимые величины.

Улучшая конструкции горелок, хорошо перемешивающих пыль с воздухом, и применяя ввод вторичного воздуха крупными струями по углам топочной камеры, возможно добиться получения более высоких значений допустимых  $\frac{Q}{V}$  (см. рис. 83).

### § 33. ПОТЕРЯ ТЕПЛА С ОТХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ

Тепло горячих газов, полученных в результате сгорания топлива, используется отдельными элементами котельной установки. Газы по мере прохождения по газоходам котла, перегревателя, экономайзера постепенно охлаждаются и затем выбрасываются в дымовую трубу.

Значение потери с отходящими газами, считая на 1 кг топлива, зависит от произведения объема газов на их теплоемкость и на температуру газов, идущих в трубу:

$$Q_2 = V_r C_{гy} T \text{ ккал/кг.} \quad (118)$$

В левой части уравнения баланса тепла котельной установки (90) указывается только теплотворная способность 1 кг топлива. Поскольку баланс тепла подсчитывается от 0°, к теплотворной способности топлива надо присоединить тепло, приносимое с воздухом из котельного помещения, обычно нагретого до 25° и расходуемого в топке, а также подсосанного через неплотности обмуровки, тепло форсуночного пара при паровом дутье и физическое тепло топлива. Обычно в левой части баланса тепла оставляется лишь  $Q_{г}$ , а остальные из перечисленных величин условно присоединяются, только с обратным знаком, к потере с отходящими газами. С учетом сказанного и используя приведенные ранее формулы теплосодержания продуктов сгорания (88) и их объем с поправкой на механический недожог (76), потеря тепла с отходящими газами выразится следующим равенством:

$$Q_2 = I_y - I_{в.к} - I_{ф} - I_{т} \text{ ккал/кг,} \quad (119)$$

где  $I_y$  — теплосодержание отходящих газов, подсчитывается по формуле:

$$I_y = (V_{y.с.г} C_{с.г}^0 + V_{y.в.п} C_{в.п}^0) T_y \quad (120)$$

или, подставляя  $V_{y.c.g}$  и  $V_{y.в.п}$  из формулы (76), получают выражение, определяющее теплосодержание отходящих газов:

$$I_y = \left[ \frac{1,87K^P}{(RO_2 + CO)} C_{c.g} T_y + \frac{9H^P + 0,1 \alpha_y L_0 d}{80,5} C_{в.п} T_y \right] T_y \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) + \frac{W^P + 100 W_\phi}{80,5} C_{в.п} T_y \text{ ккал/кг,} \quad (121)$$

где  $\alpha_y$  — коэффициент избытка воздуха в отходящих газах;

$$I_{в.к} = \alpha_y L_0 \left( \frac{d}{1000} 0,45 + 0,24 \right) \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) t_{в.к} \text{ ккал/кг,} \quad (122)$$

где  $I_{в.к}$  — теплосодержание воздуха, забираемого из котельного помещения;

0,45 и 0,24 — средние весовые теплоемкости водяных паров и сухого воздуха для заданных условий в *ккал/кг град*;

$t_{в.к}$  — температура воздуха в котельной; при проектировании обычно принимается равной  $25^\circ$ ;

$I_\phi$  — тепло, внесенное с форсуночным паром;

$$I_\phi = W_\phi (i - 600) \text{ ккал/кг,} \quad (123)$$

где  $W_\phi$  — расход пара на паровое дутье в *кг* на 1 *кг* топлива при сжигании мазута  $W_\phi = 0,2 \div 0,4$  *кг* на 1 *кг* мазута, при эжектировании воздуха в поддувало топок  $W = 0,7 \div 0,8$  *кг* на 1 *кг* топлива;

$i$  — теплосодержание расходуемого пара в *ккал/кг*;

600 — скрытая теплота парообразования в *ккал/кг* при  $0^\circ$ ;

$I_T$  — физическое тепло топлива, в *ккал/кг*, которое может быть подсчитано для твердых и жидких топлив по выражению  $c_T t_T$ ;

$c_T$  — средняя весовая теплоемкость топлива; принимается для дров, торфа и мазута 0,5, для угля и газа — 0,25 *ккал/кг град*;

$t_T$  — температура топлива в *град*.

Для твердого топлива в обычных условиях его сжигания  $I_T$  не учитывается. При сжигании подогретых мазута или газа  $I_T$  надо учитывать.

Средняя весовая теплоемкость газообразного топлива точно может быть подсчитана, если известны температура топлива и его состав.

В окончательном виде потеря тепла с отходящими газами выражается так:

$$Q_2 = \left[ \frac{K^P}{0,536(RO_2 + CO)} \frac{T_y}{C_{c.r.}} + \frac{9HP + 0,1 \alpha_y L_0 d}{80,5} \frac{T_y}{C_{в.п.}} \right] T_y \times \\ \times \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) + \frac{W^P + 100W_\Phi}{80,5} \frac{T_y}{C_{в.п.}} T_y - \alpha_y L_0 \left( \frac{d}{1000} 0,45 + 0,24 \right) t_{в.к} \times \\ \times \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) - W_\Phi (i - 600) - c_r t_r \text{ ккал/кг.} \quad (124)$$

Стремление максимально повысить к. п. д. и тем сберечь топливо приводит к выводу о необходимости доведения до возможного минимума потери тепла с отходящими газами. Для этого в соответствии с формулой (118) надо уменьшать объем отходящих газов, что может быть выполнено за счет снижения избытков воздуха, и снижать температуру отходящих газов. Уменьшение  $\alpha$  достигается рациональным конструированием топки и правильной эксплуатацией, обеспечивающими хорошее омывание воздухом частиц твердого топлива и перемешивание его с летучим горючим.

Плотная обмуровка уменьшает присосы, не допуская значительного повышения избытка воздуха в конечных элементах установки. Высокие показания на  $RO_2$  в уходящих газах, при одновременной незначительной потере от химической неполноты сгорания, служат критерием совершенства топочного процесса и плотности обмуровки.

Температура отходящих газов зависит от условий эксплуатации. При загрязненных поверхностях нагрева накипью, в особенности золой и сажей, ухудшаются условия передачи тепла и одновременно повышается температура отходящих газов, что и должно учитываться при эксплуатации.

Понизить температуру отходящих газов можно путем развития хвостовых поверхностей нагрева. Теоретически она могла бы снижаться до температуры воды, входящей в водяной экономайзер, или воздуха, входящего в воздухоподогреватель. Практически это не выполняется, так как последние из экономайзерных поверхностей будут работать при очень малом температурном напоре и потребуют больших затрат металла на их изготовление.

Поэтому обычно не допускают снижения разности температур между отходящими газами и поступающими водой или воздухом ниже  $50^\circ$ . Более уточненные данные можно получить технико-экономическими подсчетами. Сопоставляя экономию на топливе с амортизационными расходами и капитальными затратами, находят оптимальную температуру уходящих газов.

Выполнение подробных технико-экономических расчетов требует большой затраты времени. Поэтому с целью ускорения подобных вычислений проф. Л. К. Рамзиным был предложен упрощен-



ный метод определения потери с отходящими газами, дающий хотя и не совсем точные результаты, так как игнорируется ряд изменяющихся параметров, но зато сильно сокращающий работу.

Если за котлом устанавливается водяной экономайзер, то по мере прохождения газов по газоходу экономайзера их температура будет снижаться по кривой  $T'_g - T''_g$  (рис. 22).

Вода как тело с большей теплоемкостью, чем газы, будет нагреваться медленнее, и кривая температур воды  $t'_g - t''_g$  располагается более полого.

Количество тепла, переходящего в час через бесконечно малый элемент поверхности нагрева экономайзера, выражается так:

$$dQ = K_g dH (T - t) \text{ ккал/час.}$$

Здесь  $(T - t)$  — разность температур в рассматриваемом пункте экономайзера. Она, как это видно из диаграммы рис. 22, все

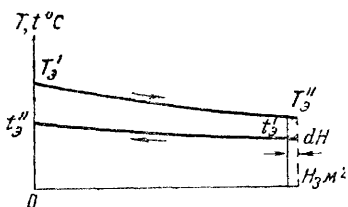


Рис. 22

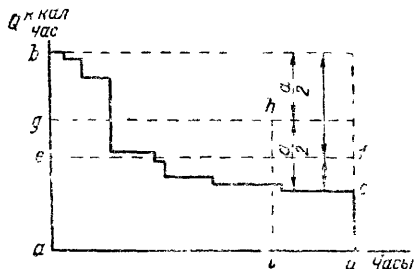


Рис. 23

время уменьшается по мере прохождения газов по экономайзеру, а следовательно, и эффективность использования поверхностей нагрева по мере охлаждения газов понижается. Если теперь, охладив газы до температуры  $T_y$ , продолжить это охлаждение далее путем добавления бесконечно малого элемента поверхности нагрева, то можно за счет уменьшения потери с отходящими газами меньше израсходовать топлива. Количество дополнительно полученного тепла определяется равенством

$$dQ = K_g dH (T_y - t'_g) \text{ ккал/час,} \quad (125)$$

откуда

$$dH = \frac{dQ}{K_g (T_y - t'_g)}. \quad (126)$$

Годичные расходы на установку этой дополнительной поверхности нагрева подсчитываются по формуле

$$dL_{п. н} = \frac{dH a_g (1 + O) p}{100} \text{ руб.} \quad (127)$$

где  $a_0$  — стоимость 1  $m^2$  экономайзера в руб.;

$O$  — прибавка к стоимости 1  $m^2$  экономайзера на каркас и обмуровку (в зависимости от конструкции 0,5 до 1,0);

$p$  — процентные начисления на амортизацию, ремонт, чистку.

Считая, что экономайзер выйдет из строя по прошествии 10 лет эксплуатации, можно принять  $p = 10 + 5 = 15\%$ .

Тем, что устанавливается дополнительная поверхность нагрева, сберегается топливо. Годовые сбережения подсчитываются так:

$$dU_T = \frac{dQnb}{\left(1 - \frac{q_3 + q_4 + q_5}{100}\right) 1000 \cdot 100} \text{ руб.}, \quad (128)$$

где  $n$  — годовое число часов работы экономайзера со средней нагрузкой;

$b$  — стоимость в коп. 1 000 ккал топлива франко-топка, т. е. с дополнительным учетом всех расходов по его доставке на склад, хранению, транспортированию в котельную, загрузке в топку и золоочистке.

Подсчет годового количества часов работы экономайзера при средней нагрузке можно произвести так. Выясняются графики нагрузки по отдельным потребителям тепла в течение суток, месяцев и года. Все эти нагрузки суммируются с целью получения общей нагрузки на котельную в течение года. Затем строится график годовой тепловой нагрузки по продолжительности, в котором нагрузки подбираются «по росту», начиная от самых больших и кончая малыми. Нагрузки откладываются по оси ординат, по оси абсцисс измеряется время их действия в течение года.

После построения графика среднюю нагрузку можно было бы определить путем замены фигуры  $abcd$  (рис. 23) равновеликим прямоугольником  $aefd$ . Однако при групповом экономайзере может получиться, что его перегрузка значительно превысит в процентном отношении недогрузку. Вследствие этого при перегрузке чрезмерно увеличатся скорости газов по экономайзеру, его газовое сопротивление настолько возрастает, что придется, например, отказаться от естественной тяги.

Чтобы проценты перегрузки и недогрузки группового экономайзера получились равными, можно выбрать нормальную нагрузку, исходя из этого задания. В таком случае фигура  $abcd$  (рис. 23) заменится равновеликим прямоугольником  $aghl$  и в формулу (128) надо будет подставить число часов  $n$ , равное отрезку  $al$ .

Иначе выясняется годовое число часов работы экономайзера в случаях установки индивидуальных экономайзеров. Здесь в первую очередь надо решить вопрос о числе устанавливаемых котлов. Как правило, не следует ставить в котельной только один котел, так как в случае его остановки на ремонт или чистку останавливается и работа котельной. Чтобы не увеличивать расходов на трубопроводы, топливоподачу, здание котельной и пр., избегают большого количества устанавливаемых котельных единиц как в мелких отопительных котельных, так и на крупных станциях, предпочитая идти на укрупненные агрегаты. Наиболее часто количество устанавливаемых котлов равняется трем-четырем.

Конечно, при выборе числа котлов надо считаться с тем, каких размеров котлы изготавливаются, а также и с характером графика по продолжительности работы. В котельных отопительного характера при кратковременности максимальных нагрузок, к тому же приуроченных к определенным месяцам в году, обычно резервных котлов не устанавливают. Если нагрузка котельной преимущественно производственная с незначительными колебаниями для зимы и лета, например, при обслуживании банно-прачечных комбинатов, то резервный котел нужен. При индивидуальном экономайзере в резервный агрегат включается и резервный экономайзер, отсутствующий при групповом экономайзере.

Среднее число часов работы индивидуальных экономайзеров равняется среднему числу часов работы всех котлов, исключая резервный. Определить среднее число часов работы котлов можно при помощи графика по продолжительности, разбивая последний на отдельные части с разным числом работающих котлов. В таком случае один или несколько котлов работает в течение года, и по мере нарастания нагрузки включаются дополнительные котлы, работающие меньшее время. Среднее число часов работы агрегата определяется как среднее арифметическое из числа часов работы всех котлов. Резервный экономайзер учитывается путем повышения стоимости экономайзера; последнюю в таком случае надо умножить на коэффициент резерва

$$f = \frac{i_{\text{уст}}}{i_{\text{раб}}},$$

где  $i_{\text{уст}}$  — число установленных агрегатов;  
 $i_{\text{раб}}$  — максимальное число работающих.

Средняя нагрузка агрегата выясняется путем подсчета  $\frac{D}{N_k}$  для отдельных ступеней графика.

Очевидно, что пока  $\Pi_T$  будет превышать  $\Pi_{н.н.}$ , подобное увеличение поверхности нагрева выгодно, в итоге будет снижаться стоимость получаемой тепловой энергии. Предел дальнейшему увеличению поверхности экономайзера наступит при равенстве

$\Pi_{\tau}$  и  $\Pi_{п.н.}$  Приравнивая между собой их выражения, получают зависимость

$$\frac{dH a_3 (1 + O) p}{100} = \frac{dQnb}{\left(1 - \frac{q_3 + q_4 + q_5}{100}\right) 1000 \cdot 100} \quad (129)$$

Из уравнения (129) можно исключить  $dH$  путем подстановки его значения из формулы (126):

$$\frac{dQ a_3 (1 + O) p}{K_3 (T_y - t_3') 100} = \frac{dQnb}{\left(1 - \frac{q_3 + q_4 + q_5}{100}\right) 1000 \cdot 100},$$

откуда и получается уравнение наивыгоднейшей температуры отходящих газов

$$T_y = \frac{1000 a_3 (1 + O) p \left(1 - \frac{q_3 + q_4 + q_5}{100}\right)}{K_3 nb} + t_3' \quad (130)$$

Определив наивыгоднейшую температуру отходящих газов, в дальнейшем при расчете теплопередачи в котельной установке необходимо проверить, возможно ли развить таких размеров экономайзер и не закипит ли в нем вода, вследствие чего могут получаться гидравлические удары, сопровождаемые авариями. Температура воды, выходящей из экономайзера, в обычных условиях при пользовании чугунными экономайзерами, а таковыми только и пользуются в рассматриваемых установках, не должна доходить до температуры кипения на интервал в  $40^\circ$ . В водогрейных установках эти ограничения отсутствуют.

Если устанавливается воздухоподогреватель, то течение температурных кривых будет иное. Теплоемкости газов и воздуха будут отличаться друг от друга, и отходящих газов получается больше, чем расходуется на горение воздуха, как вследствие увеличения объема после реакции сгорания, так и из-за присоса воздуха в газоходах. Поэтому отходящие газы будут медленнее охлаждаться по сравнению с нагреваемым воздухом, и наибольший расход металла при малом тепловом эффекте окажется не в конце экономайзера, считая по ходу газов, а в начале (рис. 24). По формуле типа (130) тогда определяется наивыгоднейшая температура газов перед воздухоподогревателем

$$T_{в.п.}' = \frac{1000 a_{в.п.} (1 + O) p \left(1 - \frac{q_3 + q_4 + q_5}{100}\right)}{nb K_{в.п.}} + t_{в.п.}'' \quad (131)$$

Если используется существующая конструкция котла, то температура газов перед воздухоподогревателем обуславливается со-

ответствующей форсировкой котла; в таком случае по формуле (131) выясняется температура, до которой целесообразно нагревать воздух; если последняя получается чрезмерно высокой и неприемлемой для используемой конструкции топочного устройства, то дополнительно устанавливается водяной экономайзер.

На основании высказанных технико-экономических соображений температура отходящих газов на крупных центральных электростанциях выбирается

порядка  $T_y = 150—170^\circ$ , и наблюдается тенденция к дальнейшему ее снижению. В сравнительно мелких котельных отопительно-производственного характера вследствие еще слабой механизации погрузочно-разгрузочных работ при транспортировании топлива, отсутствия ширококолейных подъездных путей и т. п. сильно повышается стоимость топлива франко-топка, что указывает на желательность понижения температуры отходящих газов по сравнению с указанными.

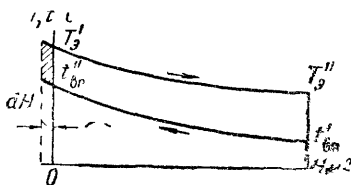


Рис. 24

#### § 34. ПОТЕРЯ ТЕПЛА В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И С ФИЗИЧЕСКИМ ТЕПЛОМ ЗОЛЫ И ШЛАКА

Потеря тепла в окружающую среду трудно поддается экспериментальному учету.

Тепло в окружающую среду отдается металлическими поверхностями котла, обмуровкой, топочными дверками и пр. Частично теряется тепло за счет излучения топочного факела и слоя топлива при открывании топочных дверок для забрасывания топлива или его разравнивания, чистки шлака и пр. Потеря тепла металлическими частями котла не изменяется при колебаниях форсировок, так как температура воды и пара остается постоянной. Наоборот, количество тепла, теряемое обмуровкой, не остается постоянным.

С увеличением форсировок растут температуры в топке и газоходах, до более высоких температур нагреваются стенки обмуровок и увеличивается потеря тепла обмуровкой в окружающую среду. Однако повышение потерь тепла обмуровкой обыкновенно идет не пропорционально увеличению расхода топлива, а сильно отстает, и приблизительно считают, что потеря в окружающую среду всем котлом, включая обмуровку, металлические поверхности котла, топочный фронт и пр., не изменяется при колебаниях нагрузки, а зависит главным образом от соотношений размеров обмуровки и производительности котла. Пока до получения более уточненных данных можно принимать размеры потерь тепла отопительными котлами различных конструкций  $Q_5^k$  ккал/час по

табл. (27), и потеря в окружающую среду в тепловом балансе котельной установки может быть подсчитана так:

$$Q_5 = \frac{Q_5^k}{B} \text{ ккал/кг} \text{ и } q_5 = \frac{Q_5^k}{BQ_n^p} 100\% . \quad (132)$$

Величины  $Q_5$  и  $q_5$  в балансе тепла будут изменяться, уменьшаясь при повышении форсировок и, наоборот, увеличиваясь при недогрузках,  $Q_5^k \approx \text{const}$ .

С особенной яркостью выявляются эти колебания в котлах с внутренними толками, не имеющими омываемых газами кирпичных обмуровок. Если для водотрубных котлов положение о постоянстве часовой потери котлом в окружающую среду можно принять только с известным приближением, в таких котлах, как вертикальные Шухова (рис. 162), локомобильные (рис. 150), паровозные (рис. 151) или чугунные секционные (рис. 139), это вполне оправдывается, так как потеря тепла идет от стенки, режим нагрева которой остается однообразным.

Таблица 27

Потери тепла в окружающую среду \*

Типы котлов	Поверхность нагрева $H_k$ в $m^2$	$Q_5^k$ в тыс. ккал/час
Водотрубные . . . . .	120—180	120
" . . . . .	180—150	150
" . . . . .	250—310	180
Вертикальные . . . . .	—	20—25
Одножаротрубные . . . . .	—	35
Двухжаротрубные . . . . .	—	70
Чугунные секционные М (ч)	—	1,5
" типа "Универсал" или		
"Стреля" . . . . .	~25	10—12
Чугунные секционные типа НР (ч) . . . . .	~40	25

\* При составлении таблицы использованы литературные данные, а также данные личного опыта автора.

По опытам ВТИ с вертикальным паровым котлом Шухова  $H_k = 30,65 m^2$ ;  $p_k = 6,5 \text{ ат}$ ; при особо тщательной его изоляции, состоящей из слоя асбестита с кизельгуром толщиной 40 мм, войлока и обшивки снаружи деревянными досками (вся поверхность охлаждения, включая и изолированные лючки, равнялась  $21,55 m^2$ ), абсолютное количество тепла, теряемое котлом в 1 час, составляло 15 800 ккал для высокосортных топлив и 14 100 ккал для низкосортных. Различными получились эти потери вследствие того, что потеря лучеиспусканием топочной дверкой как при ее закрытом положении, так и с учетом моментов открывания была

определена для высокосортных топлив в 4 100 ккал/час, или 61 000 ккал/час на 1 м<sup>2</sup> поверхности топочной дверки, а для низкосортных — 2 400 ккал/час, или 35 000 ккал/час на 1 м<sup>2</sup> дверки.

При рассмотрении потерь от механического недожога указывалось, что экспериментально трудно поддается учету потеря тепла от уноса и ее часто определяют по разности, зная остальные составляющие теплового баланса. Поэтому при экспериментировании подсчет теплового баланса ведут заранее, задавшись потерей в окружающую среду. Если в установке имеется экономайзер, то к величине  $q_5$ , принятой для котла, нужно добавить от 0,5 до 1%,

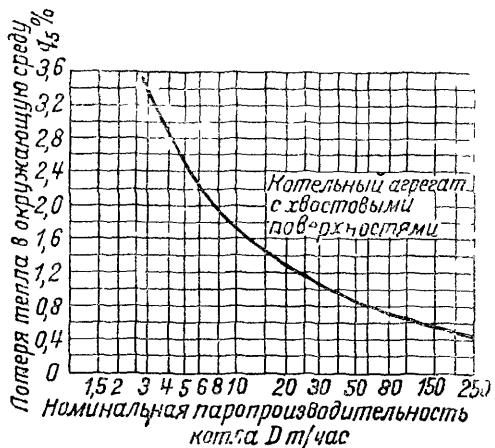


Рис. 25

в зависимости от размеров экономайзера, боронов, соединяющих его с котлами, а также компактности конструкции. Наиболее точно потерю в окружающую среду котельной установкой можно выяснить путем проведения серии испытаний при сжигании мазута или газа. В таком случае по разности может быть определена потеря не от уноса, который отсутствует, а в окружающую среду.

Получив при различных форсировках работы графики изменения потери в окружающую среду для данной установки, впоследствии при опытах с твердым топливом можно воспользоваться полученной характеристикой изменения этой потери и уже с достаточной точностью находить потерю от уноса.

Для крупных котлоагрегатов ТЭЦ  $q_5$  может быть оценена по графику рис. 25.

Потеря с физическим теплом удаляемых из топок золы и шлаков вообще незначительна, и ее следует учитывать только при сжигании многозольных топлив.

Определение  $Q_{\text{физ}}^{\text{шл}}$  производится по формуле

$$Q_{\text{физ}}^{\text{шл}} = \frac{XAP [(ct)_A + 60]}{100}, \quad (133)$$

где  $X$  — множитель меньше единицы, учитывающий убыль золы вследствие уноса;

$(ct)_A$  — теплосодержание удаляемого шлака в *ккал/кг*;  
 $60$  — теплота плавления шлака в *ккал/кг*; учитывается при жидком шлакоудалении.

При незначительности величины  $Q_{\text{физ}}^{\text{шл}}$  ее можно подсчитать по следующей приблизительной формуле, по которой цифровое значение  $Q_{\text{физ}}^{\text{шл}}$  совпадает с цифровым значением  $A^p$ :

$$Q_{\text{физ}}^{\text{шл}} = A^p \text{ ккал/кг.} \quad (134)$$

Формула применима для слоевого сжигания топлива; при камерном сжигании с наличием жидкого шлакоудаления потеря увеличивается примерно в 2 раза.

### § 35. ИЗМЕНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФОРСИРОВОК

На рис. 26 приведен график теплового баланса котла, полученный ВТИ при изучении сжигания подмосковного угля на

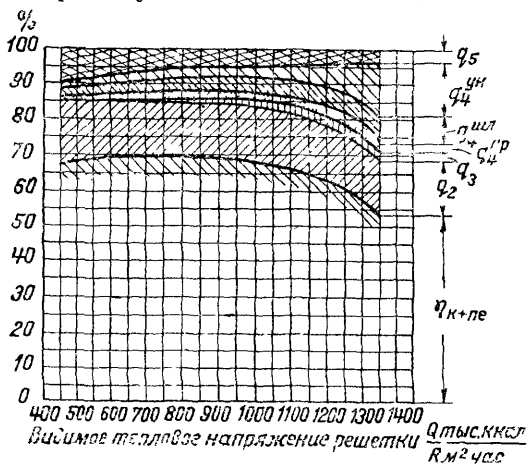


Рис. 26

цепных решетках. Коэффициент полезного действия котла и пароперегревателя  $\eta_{\text{к+пе}}$ , достигая максимума при тепловом напряжении зеркала горения, равном 800 тыс. *ккал/м<sup>2</sup> час*, начинает падать, главным образом за счет повышения потери от уноса  $q_4^{\text{у}}$ . Потеря с отходящими газами  $q_2$  остается почти постоянной; объясняется это тем, что по мере увеличения форсировок увеличивался объем газов, идущих по слою и в топочном пространстве, улучшалось перемешивание горючих элементов с воздухом и получалась возможность работы с меньшими избытками воздуха, что в свою



очередь повлияло на снижение объема отходящих газов. Таким образом, несмотря на повышение температуры газов за котлом, производство объема газов на их температуру осталось примерно тем же.

Для отопительных установок в случаях применения ручных решеток, шахтных топок также при сжигании мазута или газа в камерных топках потеря с отходящими газами растет при повышении форсировок, так как избыток воздуха изменяется сравнительно в незначительных пределах, а температура отходящих газов растет, так как уменьшается прямая отдача топки. Коэффициент полезного действия отопительных котельных постепенно увеличивается по мере уменьшения количества топлива, сжигаемого под котлом в час, понижение к. п. д. наступает обыкновенно только при очень малых нагрузках, когда начинают сильно возрастать потери в окружающую среду  $q_5$  и с отходящими газами. Последняя потеря растет из-за увеличивающихся избытков воздуха, характерных для работы с сильно пониженными форсировками зеркала горения.

### § 36. УСЛОВНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОПКИ

Тепловую работу топок нельзя сравнивать между собой, пользуясь к. п. д. установки. В зависимости от типа и размера котла и экономайзеров изменяется потеря в окружающую среду, точно так же развитием экономайзерных поверхностей можно значительно снизить температуру отходящих газов и тем повлиять на уменьшение потери с отходящими газами. Непосредственно зависят от топки только потери от химической и механической неполноты сгорания, потеря в окружающую среду самой топкой и потеря с физическим теплом шлаков. Потеря с отходящими газами лишь частично зависит от совершенства топки, поскольку последняя влияет на величину избытка воздуха.

Поэтому принято для сопоставления экономичности работы топочных устройств пользоваться условными к. п. д. топки, в который входят потери  $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_5^T$  и  $q_{\text{физ}}^{\text{шл}}$ .

Потеря в окружающую среду топкой обычно принимается равной

$$q_5^T = 0,5q_5; \quad (135)$$

$$q_{\text{физ}}^{\text{шл}} = \frac{Q_{\text{физ}}^{\text{шл}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} 100, \quad (136)$$

где  $Q_{\text{физ}}^{\text{шл}}$  берется по формуле (133) или (134).

Коэффициент полезного действия топки равняется

$$\eta_{\text{т}} = 100 - (q_3 + q_4 + q_5^T + q_{\text{физ}}^{\text{шл}}) \%. \quad (137)$$

### § 37. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ БРУТТО И НЕТТО

При рассмотрении составляющих баланса тепла котельной установки к. п. д. брутто, т. е. к. п. д. без учета служебных расходов энергии на дутьевые вентиляторы, дымососы, питательные насосы и тому подобные расходы, определяется из формулы (94):

$$\eta_y = \frac{D\Delta i}{Q_{нВ}^p} \quad (138)$$

Коэффициент полезного действия нетто меньше, так как необходимо учитывать расход тепла и энергии на собственные нужды установки. Повышая эффективность работы котельной установки путем установки дутьевых вентиляторов и дымососов, механизировав трудоемкие процессы топливоподачи и золоудаления, одновременно следует стремиться уменьшить служебные расходы путем рационального проектирования установки в целом и правильной ее эксплуатации.

Коэффициент полезного действия нетто может быть подсчитан следующим образом:

$$\eta_{нт} = \frac{D\Delta i}{Q_{нВ}^p} - \frac{Q_{сл}}{Q_{нВ}^p} \quad (139)$$

$Q_{сл}$  подсчитывается в *ккал/час*, причем, если затрачивается электроэнергия, то ее переводят в расходуемую эквивалентную тепловую с учетом к. п. д. электростанции, для чего, подсчитывая  $\sum N$  *квт-ч* служебных расходов, их умножают на удельный расход тепла на 1 *квт-ч* выработанной электроэнергии.

**Пример.** Под чугунным водогрейным секционном котлом ВНИИСТО системы «Универсал» сжигался подмосковный уголь. Топка работала на вентилятором дутье. В период 6-часового «балансового» теплотехнического испытания производились необходимые замеры расхода воды и топлива, измерялись: температура входящей в котел воды и выходящей из него, температура отходящих газов, замерялись разрежения в топке и за котлом, а также давление воздуха в поддувале. Анализ отходящих газов производился прибором Орс. Также производился отбор пробы топлива и выгреба из топки шлаков и золы.

Результаты испытания приводятся ниже. Требуется определить к. п. д., а также и остальные составляющие теплового баланса установки.

Поверхность нагрева котла  $H_k = 24,6 \text{ м}^2$ .

Площадь колоосниковой решетки  $R = 0,625 \text{ м}^2$ .

Объем топочного пространства  $V_T = 0,685 \text{ м}^3$ .

#### Топливо

Род топлива — подмосковный уголь марки РМ.

## Элементарный состав топлива (в %):

C <sup>P</sup> . . . . .	29,90	S <sup>P</sup> <sub>T</sub> . . . . .	1,51
H <sup>P</sup> . . . . .	2,07	A <sup>P</sup> . . . . .	21,98
O <sup>P</sup> . . . . .	7,91	W <sup>P</sup> . . . . .	36,03
N <sup>P</sup> . . . . .	0,60		100,00

## Низшая теплотворная способность рабочего топли-

ва $Q_H^P$ в ккал/кг . . . . .	2 475
Длительность испытания $z$ в час. . . . .	6
Количество сожженного топлива за опыт $zB$ в кг . . . . .	613
Количество сожженного топлива за 1 час $B$ в кг . . . . .	102
Тепловое напряжение колосниковой решетки $\frac{Q}{R}$	
в тыс. ккал/м <sup>2</sup> час . . . . .	401
Напряжение топочного пространства $\frac{Q}{V}$ в тыс.	
ккал/м <sup>3</sup> час . . . . .	370

## Вода

Средний часовой расход воды $D$ в кг . . . . .	16 600
Температура воды, входящей в котел, $t_{к'}^i$ в град. . . . .	47,36
Температура воды, выходящей из котла, $t_{к'}^n$ в град. . . . .	58,40
Нагрев воды в котле $\Delta t$ в град. . . . .	11,04
Теплопроизводительность котла $Q_k$ в ккал/час . . . . .	183 264
Тепловое напряжение поверхности нагрева $\frac{Q_k}{H_k}$	
в ккал/м <sup>2</sup> час . . . . .	7 450

## Отходящие газы

Средняя температура газов за котлом $T_k = T_y$ в град. . . . .	210
Средний состав газов за котлом (°/о):	
RO <sub>2</sub> . . . . .	11,7
RO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> . . . . .	19,5

## Выгреб и провал

Вес выгреб из топки (шлаки) за опыт $zG_{шл}$ в кг . . . . .	46
То же, за 1 час $G_{шл}$ в кг . . . . .	7,7
Содержание горючих в выгреб из топки (считая на сухое вещество) $z_{шл}$ в °/о . . . . .	8,1
Вес выгреб из поддувала (провал) за опыт $zG_{пр}$ в кг . . . . .	19,7
То же, за 1 час $G_{пр}$ в кг . . . . .	3,3
Содержание горючих в выгреб из поддувала (на сухое вещество) $z_{пр}$ в °/о . . . . .	22,3
Содержание горючих в пробе уноса, взятого из нескольких пунктов в газоходах (на сухое вещество), $z_{ун}$ в °/о . . . . .	6,0

## Тяга

Разрежение за котлом $S_k$ в мм вод. ст. . . . .	1,66
„ в топке $S_T$ в мм вод. ст. . . . .	0,12
Сопротивление котла $\Delta S_k$ в мм вод. ст. . . . .	1,51
Давление дутья $S_d$ в мм вод. ст. . . . .	11,2
Сопротивление топки (среднее) $\Delta S_T$ в мм вод. ст. .	11,32
„ установки (среднее) $\Delta S_y$ в мм вод. ст.	12,86
Температура воздуха в котельной $t_{в.к}$ в град. . . .	17,7

Решение. 1. Величины  $K$  и  $\beta$  находятся по формулам (24) и (54):

$$K_P = 29,90 + 0,375 \cdot 1,51 = 30,47\%$$

$$\beta = 2,37 \frac{2,07 - \frac{7,91}{8} + 0,038 \cdot 0,6}{30,47} = 0,086.$$

2. Величины  $CO$ ,  $O_2$  и  $N_2$  определяются по формулам (53) и (60):

$$CO = \frac{21 - 0,086 \cdot 11,7 - 19,5}{0,605 + 0,086} = 0,5\%$$

$$RO_2 + O_2 = 19,5; \quad RO_2 = 11,7; \quad O_2 = 19,5 - 11,7 = 7,8\%$$

$$RO_2 + O_2 + CO + N_2 = 100;$$

$$N_2 = 100 - (RO_2 + O_2 + CO) = 100 - (19,5 + 0,5) = 80,0\%$$

3. Определены  $\alpha_y$  и  $L_0$  производится по формулам (63), (23) и (25):

$$\alpha_y = \alpha_k = \frac{21}{21 - 79 \frac{7,8 - 0,25}{80 - 0,428 \frac{0,6}{30,47} (11,7 + 0,5)}} = 1,55;$$

$$L_0^* = 1,293 (0,0889 \cdot 30,47 + 0,265 \cdot 2,07 - 0,0333 \cdot 7,91) = \\ = 1,293 \cdot 3,52 = 4,55 \text{ кг на 1 кг топлива.}$$

4. Количество уноса  $G_{yh}$  в кг/час подсчитывается по золотому балансу (114):

$$\frac{21,98 \cdot 102}{100} = 3,3 \left(1 - \frac{22,3}{100}\right) + 7,7 \left(1 - \frac{8,1}{100}\right) + G_{yh} \left(1 - \frac{6,0}{100}\right),$$

откуда

$$G_{yh} = 13,6 \text{ кг/час.}$$

5. Определение потери от механического недожога ( $Q_4$ ,  $q_4$ ) формулы от (109) до (113):

$$Q_4 = Q_4^{np} + Q_4^{шл} + Q_4^{yh};$$

$$Q_4 = \frac{3,3}{102} 0,22 \cdot 7800 + \frac{7,7}{102} 0,08 \cdot 7800 + \frac{13,6}{102} \times 0,06 \cdot 7800 = \\ = 55,5 + 47,1 + 62,4 = 165 \text{ ккал/кг;}$$

$$q_4 = \frac{165}{2475} \cdot 100 = 6,7\%.$$

6. Поправочный множитель на механический недожог равен

$$\left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = \left(1 - \frac{6,7}{100}\right) = 0,93.$$

## 7. Потеря от химической неполноты сгорания

$$Q_3 = \frac{56,7 \cdot 30,47 \cdot 0,5}{11,7 + 0,5} \cdot 0,093 = 70,96 \cdot 0,93 = 66 \text{ ккал/кг};$$

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_n^p} 100;$$

$$q_3 = \frac{66}{2475} 100 = 2,67\%.$$

## 8. Потеря тепла с отходящими газами

$$Q_2 = I_y - I_{в.к}.$$

Теплосодержание отходящих газов вычисляется так (121):

$$I_y = \left( \frac{1,87 \cdot 30,47}{11,7 + 0,5} C_{с.г}^{210} + \frac{9 \cdot 2,07 + 0,1 \cdot 1,55 \cdot 10 \cdot 4,55}{80,5} C_{в.п}^{210} \right) 0,93 \cdot 210 + \frac{36,03}{80,5} C_{в.п}^{210} \cdot 210.$$

Дутье вентиляторное, поэтому  $W_{\phi} = 0$ .

Физическое тепло топлива в заданных условиях также не учитывается,  $I_1 = 0$ .

Вычисление средних теплоемкостей сухих газов и водяных паров производится следующим образом.

Пользуясь табл. 20, находят средние теплоемкости в пределах от 0 до 210°.

Для трехатомных газов (по  $CO_2$ ) . . . .  $C_3^{210} = 0,4308 \text{ ккал/нм}^3 \text{ град}$

• двухатомных газов (по сухому воздуху)  $C_2^{210} = 0,3125$  .

Средняя теплоемкость сухих газов, состоящих из смеси трехатомных и двухатомных газов, находится как средняя взвешенная величина:

$$C_{с.г} = \frac{RO_2}{100} C_3 + \frac{100 - RO_2}{100} C_2 = \frac{11,7}{100} 0,4308 + \frac{100 - 11,7}{100} 0,3125 = 0,3263 \text{ ккал/нм}^3 \text{ град}.$$

Для водяных паров  $C_0^{210} = 0,364 \text{ ккал/нм}^3 \text{ град}.$

При подсчетах, когда температура газов не превышает 300°, можно среднюю объемную теплоемкость сухих газов брать равной 0,33 и водяных паров 0,36.

В дальнейшем, подставляя полученные значения теплоемкостей в уравнение теплосодержания отходящих газов, определяют  $I_y$ :

$$I_y = (4,67 \cdot 0,3263 + 0,319 \cdot 0,364) 0,93 \cdot 210 + 0,45 \cdot 0,364 \cdot 210 = 355,2 \text{ ккал/кг}.$$

Влагосодержание воздуха в котельной во время испытания не определялось, поэтому следует принять обычную цифру  $d = 10 \text{ г/кг}$ . Теплосодержание воздуха равно (122):

$$I_{в.к} = 1,55 \cdot 4,55 (1,01 \cdot 0,45 + 0,24) 0,93 \cdot 17,7 = 30,52 \cdot 0,916 = 28,4 \text{ ккал/кг};$$

$$Q_2 = 355,2 - 28,4 = 326,8 \text{ ккал/кг};$$

$$q_2 = \frac{326,8}{2475} 100 = 13,2\%.$$

9. Физическое тепло, потерянное с удаляемыми из топки золой и шлаками (134):

$$Q_{\text{Физ}}^{\text{шл}} = 21,98 \text{ ккал/кг};$$

$$q_{\text{Физ}}^{\text{шл}} = \frac{Q_{\text{Физ}}^{\text{шл}}}{Q_{\text{H}}^{\text{P}}} 100 = \frac{21,98}{2475} 100 = 0,89\%.$$

10. Тепло, полезно использованное в установке:

$$Q_1 = \frac{D\Delta i}{B} = \frac{16600(58,4 - 47,36)}{102} = 1796,76 \text{ ккал/час},$$

где  $\Delta i$  заменяется  $\Delta t$ ;

$$q_1 = \frac{Q_1}{Q_{\text{H}}^{\text{P}}} 100; \quad q_1 = \frac{1796,76}{2475} 100 = 72,6\%;$$

$$\eta_{\text{у}} = 0,726.$$

11. Потеря в окружающую среду тепловой установки определяется по разности из баланса тепла как единственно неизвестная величина

$$Q_5 = Q_{\text{H}}^{\text{P}} - (Q_1 + Q_4 + Q_3 + Q_2 + Q_{\text{Физ}}^{\text{шл}});$$

$$Q_5 = 2475 - (1796,76 + 165 + 66 + 326,8 + 21,98) = 98,46 \text{ ккал/кг};$$

$$q_5 = \frac{98,46}{2475} 100 = 3,98\%.$$

Потеря тепла котлом в час равняется

$$Q_5^{\text{K}} = Q_5 B = 98,46 \cdot 102 = 10050 \text{ ккал/час}.$$

Другой вариант подсчетов составляющих теплового баланса выполнен при условии, что известной является потеря тепла котлом в окружающую среду  $Q_5^{\text{K}} = 10000 \text{ ккал/час}$ .

Искомой величиной в таком случае будет являться потеря от уноса  $Q_4^{\text{ун}}$  ккал/кг.

Первые три пункта первого варианта решения остаются без изменений. Далее определяются  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $Q_5$  и  $Q_{\text{Физ}}^{\text{шл}}$ . причем  $Q_2$  и  $Q_3$  — без учета поправки на механический недожог.

$$Q_1 = 1796,76 \text{ ккал/кг (см. § 10);}$$

$$Q_2 = I_{\text{у}} - I_{\text{в.к}} \text{ (см. § 8);}$$

$$I_{\text{у}} = 378,61 \text{ ккал/кг}; \quad I_{\text{в.к}} = 30,52 \text{ ккал/кг};$$

$$Q_2 = 378,61 - 30,52 = 348,09 \text{ ккал/кг};$$

$$Q_3 = 70,96 \text{ ккал (см. § 7);}$$

$$Q_5 = \frac{Q_5^{\text{K}}}{B} = \frac{10000}{102} = 98,04 \text{ ккал/кг};$$

$$Q_{\text{Физ}}^{\text{шл}} = 21,98 \text{ ккал/кг (см. § 9)}.$$

Баланс тепла без учета поправки на механический недожог напишется так:

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_{\text{Физ}}^{\text{шл}}.$$

откуда можно определить  $Q_4$ :

$$Q_4 = 2475 - (1796,76 + 348,09 + 70,96 + 98,04 + 21,98);$$

$$Q_4 = 139,17 \text{ ккал/кг.}$$

Уточненное значение  $Q'_4$  находится из равенства

$$Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q'_2 + Q'_3 + Q_4.$$

Так как  $Q_1$ ,  $Q_5$  и  $Q_{\text{физ}}^{\text{шл}}$  остаются неизменными:

$$348,09 + 70,96 + 139,17 = 344,40 \left(1 - \frac{q_4'}{100}\right) + 34,21 - 30,52 \times \\ \times \left(1 - \frac{q_4'}{100}\right) + 70,96 \left(1 - \frac{q_4'}{100}\right) + \frac{q_4' \cdot 2475}{100},$$

откуда  $q_4' = 6,66^0$

После определения  $q_4'$  подсчитываются уточненные значения для  $Q'_2$  и  $Q'_3$ :

$$Q_2' = 344,40 \left(1 - \frac{6,66}{100}\right) + 34,21 - 30,52 \left(1 - \frac{6,66}{100}\right) = 327,18 \text{ ккал/кг}$$

$$Q_3' = 70,96 \left(1 - \frac{6,66}{100}\right) = 66,23 \text{ ккал/кг;}$$

$$Q_4' = \frac{2475 \cdot 6,66}{100} = 164,83 \text{ ккал/кг.}$$

По заданию можно определить  $Q_4^{\text{нп}}$  и  $Q_4^{\text{шл}}$  (см. § 5):

$$Q_4^{\text{нп}} = \frac{3,3}{102} 0,22 \cdot 7800 = 55,5;$$

$$Q_4^{\text{шл}} = \frac{7,7}{102} 0,08 \cdot 7800 = 47,1.$$

После чего определяется  $Q_4^{\text{ун}}$ :

$$Q_4^{\text{ун}} = Q_4' - Q_4^{\text{нп}} - Q_4^{\text{шл}};$$

$$Q_4^{\text{ун}} = 164,83 - 55,5 - 47,1 = 62,23 \text{ ккал/кг;}$$

$$q_4^{\text{ун}} = \frac{62,23}{2475} 100 = 2,51^0/0;$$

$$q_4^{\text{нп}} = \frac{55,5}{2475} 100 = 2,24^0/0;$$

$$q_4^{\text{шл}} = \frac{47,1}{2475} 100 = 1,9^0/0;$$

$$q_4 = 2,51 + 2,24 + 1,9 = 6,7^0/0.$$

## Глава VI

### ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ТОПКЕ

#### § 38. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА ГОРЕНИЯ

Сущность топочных процессов заключается в том, чтобы под воздействием высокой температуры и при участии кислорода воз-

духа преобразовать химическую энергию топлива в тепловую. Уравнение баланса энергии до процесса горения и после него для условий сжигания 1 кг топлива можно написать в следующем виде:

$$Q_H^p \frac{\eta_T}{100} + I_{в.к} + I_T + I_\Phi = \left( V_{с.г} \cdot C_{с.г}^T + V_{в.п} \cdot C_{в.п}^T \right) T_T. \quad (140)$$

Откуда определяется теоретическая температура горения:

$$T_T = \frac{Q_H^p \frac{\eta_T}{100} + I_{в.к} + I_T + I_\Phi}{V_{с.г} \cdot C_{с.г}^T + V_{в.п} \cdot C_{в.п}^T} \text{град.}, \quad (141)$$

где  $Q_H^p$  — теплотворная способность рабочего топлива в ккал/кг;  $\eta_T$  — условный к. п. д. топки в %; определяется из выражения (137);

$I_{в.к}$  — теплосодержание воздуха, входящего в топку в ккал/кг; подсчитывается по формуле (122), а вместо  $\alpha_y$  берется  $\alpha_T$ .

При наличии воздухоподогревателя вместо  $t_{в.к}^\circ$  подставляется температура горячего воздуха  $t_{г.в}^\circ$ .

$I_T$  — физическое тепло топлива; определяется, как указано на стр. 128.

$I_\Phi$  — теплосодержание форсуночного пара; определяется по формуле (123).

Подсчеты для определения знаменателя формулы (141) проводят, пользуясь выражениями (121) и (76).

Средняя теплоемкость газов зависит от  $T_T$ , так что решать уравнение приходится, предварительно ориентировочно задавшись  $T_T$  и определив, таким образом, средние теплоемкости. Практика производства подобных вычислений показала, что много пересчетов делать не приходится, так как теплоемкости не так сильно меняются с температурой.

Для предварительной оценки температуры горения разных видов топлива дана табл. 28.

При наличии построенной  $I - T$ -диаграммы для данного топлива теоретическая температура горения определяется без затруднений. Подсчитывается числитель формулы (141), который и выражает теплосодержание газов, нагретых до  $T_T$ . Откладывая на диаграмме (рис. 21)  $I$ , находят  $T_T$ .

При анализировании выражения (141) и табл. 28, в которой  $T_T$  подсчитана без учета к. п. д. топки, выясняются главные факторы, влияющие на величину теоретической температуры горения. Последняя увеличивается с уменьшением избытка воздуха



Теоретическая температура горения  $T_T^{\circ}$  (без поправок на  $\eta_T$ )  
при температуре воздуха  $25^{\circ}$

Топливо	Коэффициент избытка воздуха			
	1,0	1,3	1,5	2,0
Донецкий гоший Т . . . . .	2265	1865	1655	1285
Антрацит АП, $W_{\Phi} = 0$ . . . . .	2270	1845	1655	1300
Мазут $W_{\Phi} = 0,3$ кг/кг . . . . .	2125	1740	1580	1265
Подмосковный уголь . . . . .	1875	1590	1425	1150
Торф $W^p = 40\%$ . . . . .	1700	1510	1370	1110
Дрова $W^p = 30\%$ . . . . .	1855	1575	1435	1165

и уменьшением балласта топлива, особенно его влажности, которая оказывает большое влияние на изменение теплотворной способности топлива. Повышение температуры воздушного дутья, доходящей при сжигании пылевидного топлива до  $400^{\circ}$ , также способствует увеличению температуры горения топлива.

Теоретическая температура горения зависит также и от соотношения состава углерода и водорода горючей массы топлива.

Температура горения носит название теоретической, потому что практически ее не удается достигнуть из-за влияния отдачи тепла главным образом излучением и в окружающую среду, а также возможной диссоциации продуктов сгорания при высокой температуре.

### § 39. ПРЯМАЯ ОТДАЧА ТОПКИ

Тепловая энергия, выделившаяся при горении топлива, должна быть передана через стенки поверхностей нагрева котельной установки к воде или пару.

Этот процесс передачи тепла осуществляется путем излучения накаливаемого слоя горящего топлива и факела, а также несветящихся дымовых газов в газоходах котла; конвекцией, т. е. непосредственным соприкосновением горячих газов со стенками котла; теплопроводностью через металлические стенки котла; наконец, конвекцией к кипящей или некипящей в котле воде.

Как известно, интенсивность процесса передачи тепла характеризуется коэффициентом теплопередачи, т. е. количеством тепла в ккал/час, передаваемого через  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева при разности температур в  $1^{\circ}$ .

Основное требование — соблюдение экономии в расходовании металла — побуждает стремиться так спроектировать котельную установку, чтобы при одинаковых прочих условиях коэффициент теплопередачи был максимальным. Особенно эффективно пере-

дается котлу тепло за счет прямого излучения от горящего слоя топлива и факела в топке. Коэффициент теплопередачи в подобных условиях доходит до величины порядка  $300 \text{ ккал/м}^2 \text{ час град}$ , в то время как в среднем коэффициент теплопередачи в газоходах котла, преимущественно зависящий от непосредственного соприкосновения газов с котлом, определяется величинами порядка  $25 \text{ ккал/м}^2 \text{ час град}$ . Эти показатели достаточно ярко характеризуют огромное значение прямой отдачи тепла в топке, поэтому при конструировании следует так скомпоновать в одно целое котел и топку, чтобы передача тепла излучением топки (прямая отдача) достигала максимальных размеров. Эта задача конструктивно разрешается тем, что стараются довести до максимума размеры поверхностей, воспринимающих тепло излучения от топки. Примером котла, в котором до максимума развита поверхность прямого излучения, может служить жаротрубный котел при сжигании в его жаровой трубе мазута или антрацита (рис. 114 и 57). Здесь нефтяной факел со всех сторон окружен воспринимающими энергию излучения факела стенками котла; такая комбинация котла и топки послужила прототипом для развития современных мощных котлов, стенки топки у которых покрыты так называемыми экранами, т. е. трубами небольшого диаметра, 80—100 мм, включенными в общую циркуляцию котла (рис. 9).

Если сравнить топку, расположенную внутри паровозного котла или жаровой трубы (рис. 57 и 151), с внешней топкой под водотрубным котлом (рис. 12), то не только периферия топочного факела в первых случаях будет сильнее окружена поверхностями нагрева, но и любой элемент раскаленного слоя будет излучать энергию на поверхность нагрева под телесным углом  $2\pi$  вместо угла  $\gamma < 2\pi$  в случаях устройства внешних топок. Прямая отдача тепла в топке, обеспечивая огромную эффективность в смысле передачи тепла излучением, в то же время, очевидно, резко снизит температуру топочного факела.

Обозначая температуру продуктов сгорания перед входом в первый газоход котла через  $T'_1$ , взаимную связь между теоретической температурой горения и указанной температурой можно получить из разности теплосодержания газов, нагретых до  $T'_T$  и газов, охлажденных за счет прямой отдачи до температуры  $T'_1$ . Разность теплосодержаний, считая на 1 кг топлива, выражается так:

$$T'_T V_{\Gamma} C'_0 - T'_1 V_{\Gamma} C'_0 = \frac{Q_{\lambda}}{B} \text{ ккал/кг}, \quad (142)$$

где  $Q_{\lambda}$  — количество тепла, переданное излучением и частично конвекцией поверхностям нагрева, расположенным в топке, в  $\text{ккал/час}$ ;

$B$  — количество сжигаемого в час топлива в кг.

$\frac{Q_r}{B}$  можно представить в виде произведения

$$\sigma \left( V_r C_0^{T_r} T_r \right),$$

где  $\sigma$  — так называемый коэффициент прямой отдачи; выражает долю тепла, переданного в топке от общего выделенного тепла при сгорании топлива  $\left( V_r C_0^{T_r} T_r \right)$ ;

тогда можно написать

$$T_r V_r C_0^{T_r} - T_1' V_r C_0^{T_1'} = \sigma \left( V_r C_0^{T_r} T_r \right),$$

или приблизительно, пренебрегая изменением теплоемкости газов от температуры, имеем

$$T_r - T_1' \approx \sigma T_r,$$

откуда получаем

$$T_1' = T_r (1 - \sigma). \quad (143)$$

Коэффициент прямой отдачи топки  $\sigma$  — величина весьма сложная, зависящая от многих факторов, но главным образом от величины поверхностей нагрева, расположенных в топке. В мелких котлах, где обычно отсутствует экранирование,  $\sigma$  характеризует «раскрытие» горящего слоя по отношению к поверхностям нагрева котла. Чем больше поверхностей нагрева удастся подвергнуть воздействию прямого излучения факела и раскаленного слоя, тем больше коэффициент прямой отдачи  $\sigma$  и тем ниже будет температура продуктов сгорания при входе в первый газоход. Такое снижение температурного потенциала в топке выгодно, так как облученные поверхности нагрева работают с высоким коэффициентом теплопередачи и, кроме того, снижая  $T_1'$  до 800—1000°, уменьшается износ обмуровки и топочной гарнитуры. В § 4 приводились указания о трех фазах плавления золы, причем для топлив СССР, включая сюда угли, антрацит по преимуществу, торф и сланцы, необходимо отметить значительную легкоплавкость их золы. При сжигании пылевидного топлива с легкоплавкой золой бывает особенно важно снизить температуру при входе в первый газоход. Зола топлива, увлекаемая в газоходы вместе с газами, должна подходить к ним гранулированной во избежание накипания на поверхностях нагрева и образования сталактитовых наростов, затрудняющих теплопередачу и сужающих живое сечение для прохода продуктов сгорания. Чтобы избежать указанных нежелательных явлений, стенки топок современных крупных котлоагрегатов энергетических установок по возможности экранируют полностью.

Развивающаяся в процессе сгорания топлива температура горения заметно понижается при повышении избытка воздуха. Температура газов при входе в первый газоход падает под влиянием прямой отдачи тепла. Первое понижение температуры вредно, так как с уменьшением теоретической температуры горения уменьшается и количество отданного тепла радиацией, которое согласно закону Стефана-Больцмана пропорционально разности четвертых степеней температур излучающего и поглощающего тела. Второе понижение температуры за счет прямой отдачи тепла в топке полезно.

Таким образом, основные положения правильного конструирования топки и ее эксплуатации должны свестись к следующей формулировке, дополняющей приводимую ранее.

Правильно сконструированная и хорошо работающая топка должна обеспечить минимальный избыток воздуха при одновременно полном сгорании топлива и максимальной прямой отдаче тепла в топке.

Следуя этим основным указаниям, все же не всегда можно до максимума доводить прямую отдачу тепла в топке. Например, при сжигании пылевидного топлива, определяя требуемую поверхность нагрева топочных экранов, температуру при входе в первый газоход обычно не снижают ниже  $1\ 000^{\circ}$ , так как в факеле пылевидного сжигания имеются не только легко сгорающие летучие вещества, но также частицы кокса, для быстрого сгорания которых требуется достаточно высокая температура. Высокая температура в топке при сжигании пылевидного топлива необходима также и для быстрого воспламенения угольной пыли (особенно для топлив с малым выходом летучих, как, например, антрацитовый штыб) и устойчивости горения пылеугольного факела.

При сжигании на простой колосниковой решетке влажного бурого угля или торфа, отличающихся низкой теоретической температурой горения, даже при условии, что температура газов при входе в первый газоход не будет ниже  $900^{\circ}$ , что еще обеспечивает достаточную устойчивость горения факела, все же над слоем топлива часто располагают своды (рис. 30 и 159) с целью поддержания температуры горящего слоя топлива на достаточно высоком уровне.

Раскаленные излучающие своды в топке при этом будут обеспечивать быстрое зажигание забрасываемых свежих порций топлива, уменьшать потери от химической и главным образом от механической неполноты сгорания за счет лучшего выжигания частиц кокса.

Перекрытие топочного пространства кирпичными сводами уменьшит передачу тепла излучением раскаленного слоя топлива к поверхности нагрева котла в топке, в результате чего умень-

шится  $\sigma$  и поднимется  $T'_1$ . В случаях необходимости сжигания низкосортного влажного топлива под жаротрубными котлами уменьшить прямую отдачу можно только путем футеровки жаровой трубы, но при ограниченности в этих условиях площади колосниковой решетки, располагаемой в жаровой трубе, указанное мероприятие сильно снизит мощность топки, а следовательно, и теплопроизводительность котла. Поэтому при сжигании, например, подмосковного угля или очень влажного торфа приходится в таких случаях устраивать выносные топки (рис. 44), позволяющие достаточно развить площадь колосниковой решетки. Однако выносные топки уже чрезмерно уменьшают прямую отдачу тепла в топке, что и является их главным недостатком.

Если увеличить количество топлива, сжигаемого в час на колосниковой решетке, то прямая отдача по своей абсолютной величине повышается в меньшей мере, чем увеличивается количество сжигаемого топлива. Поэтому относительная величина прямой отдачи тепла в топке на 1 кг сжигаемого топлива уменьшается с увеличением нагрузки топки.

Следовательно, еще имеется способ уменьшения прямой отдачи тепла в топке и увеличения температуры продуктов сгорания при входе в первый газопровод—это повышение форсировки топки.

В дополнение к ранее высказанным соображениям о причинах неизменности толщины слоя при повышении форсировок топки добавляется соображение о более высокой температуре слоя горящего топлива и, следовательно, ускоренном процессе горения в топке при уменьшении прямой отдачи тепла в ней. Однако это обстоятельство не следует переоценивать.

При сжигании пылевидного топлива в крупнейших современных котельных установках, например, подмосковного угля, приходится предельно развивать экраны, увеличивая прямую отдачу тепла в топке, так как при высоких тепловых напряжениях топочной камеры, а также при относительно малой величине поверхности факела по сравнению с его объемом не удается получить большую величину  $\sigma$  и заметно снизить  $T'_1$  даже при полном экранировании топочной камеры. Однако в отопительных котельных установках с относительно малыми по своим размерам котлами и топками почти всегда требуется перекрывание сводами топочных камер в случаях сжигания низкосортных и влажных топлив.

Закрытие топки и уменьшение теплопередачи излучением горящего слоя топлива сказывается и на работе самого котла. С уменьшением прямой отдачи понижается суммарная отдача тепла от дымовых газов в котле, что ведет к более высокой температуре газов за ним, и если за котлом не установить дополнительных эко-

номайзерных поверхностей, то понижается к. п. д. котельной установки.

Значительную пользу при сжигании влажного топлива может принести вдувание в топку воздуха, подогретого при помощи воздухоподогревателя.

Воздухоподогреватели получили широкое распространение лишь в мощных котельных, в отопительных котельных их применение пока еще ограничено.

Подробнее этому вопросу будет уделено внимание в разделе III.

Для таких влажных и в то же время малотеплоплотных топлив, каковыми являются торф и дрова, очевидно, должен существовать предел влажности, выше которого вообще не удастся сжечь эти виды топлива в топках обычного типа. Влажность в 60%, которую иногда приходится встречать в торфе, вообще следует признать предельной; с ее повышением топка глохнет и даже применение горячего дутья не сможет принести существенной пользы.

#### § 40. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЯМОЙ ОТДАЧИ

Передача тепла излучением подчиняется зависимости, установленной законом Стефана — Больцмана, согласно которой

$$Q_{\lambda} = C' N_{\lambda} \left[ \left( \frac{T_{\phi} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{\text{ст}} + 273}{100} \right)^4 \right] \text{ ккал, час,} \quad (144)$$

где  $Q_{\lambda}$  — количество тепла, передаваемого излучением, в ккал/час;

$N_{\lambda}$  — так называемая радиационная поверхность нагрева, воспринимающая тепло излучения, в  $\text{м}^2$ ;

$C'$  — условный коэффициент излучения;

$T_{\phi}$  — температура излучающей среды в топке в град.;

$t_{\text{ст}}$  — температура стенки, воспринимающей тепло излучения, в град.

Температура факела в различных его пунктах разная, так как сгорание происходит не мгновенно и процесс растягивается по длине факела. В формулу излучения приходится подставлять некоторую среднюю температуру, так называемую температуру факела  $T_{\phi}$ .

Температура котельной стенки, воспринимающей прямую отдачу тепла в топке, при достаточно чистой поверхности обычно превышает температуру воды на 10—20°. Присутствие же накипи и грязи на поверхностях стенки может сильно повысить ее температуру.

Условный коэффициент лучистого теплообмена — величина весьма сложная, зависящая от состава горящих газов и их темпе-

ратуры, избытка воздуха, наличия обмуровки, размеров топки и пр.

Числовые значения величины  $\left(\frac{t_{\text{ст}} + 273}{100}\right)^4$  получаются незначительными по сравнению с  $\left(\frac{T_{\text{ф}} + 273}{100}\right)^4$ , поэтому ими можно пренебрегать.

В таком случае уравнение (144) примет вид

$$Q_{\text{л}} = C' N_{\text{л}} \left(\frac{T_{\text{ф}} + 273}{100}\right)^4 \text{ ккал, час.} \quad (145)$$

Сложность и вследствие этого условность в определении температуры факела, а также недостаточная еще изученность зависимости коэффициента лучистого теплообмена от ряда факторов не позволяют пока воспользоваться приводимой формулой при решении практических задач. Приходится оперировать эмпирическими зависимостями.

Для котлов малых поверхностей нагрева, с которыми еще часто приходится сталкиваться в практике эксплуатации отопительных котельных, можно воспользоваться значениями прямой отдачи, экспериментально определенными проф. К. В. Киршем. Так, при сжигании нефтяных остатков и антрацита в жаротрубном котле замерялась температура факела на расстоянии 3 м от фронта, считая ее за  $T_1$  путем опускания пирометра через специально проделанное вертикальное отверстие от верха котельного барабана до жаровой трубы<sup>1</sup>. Конечно, таким путем определялась не только прямая отдача, но и переход тепла путем непосредственного соприкосновения газов со стенкой жаровой трубы на протяжении этих 3 м (рис. 27).

В результате обработки многочисленных исследований, применяя формулу (143), была установлена связь между прямой отдачей  $\sigma$  и количеством сжигаемого топлива в час  $B$  кг, причем  $T_1$  подсчитывалась по данным балансовых испытаний, а  $T_1$  замерялась пирометром. Для жаротрубного котла получены следующие значения  $\sigma$ :

1) при сжигании нефтяных остатков ( $\alpha_{\text{т}} = 1,2$ )

$$\sigma = 0,55 - 0,001 \frac{B}{d}, \quad (146)$$

где  $d$  — диаметр жаровой трубы в м;

$B$  — часовой расход топлива в кг;

<sup>1</sup> С современной точки зрения, измеренные температуры были занижены, так как не учитывалась поправка на излучение самого пирометра.

2) при сжигании антрацита ( $\alpha_T = 1,3$ )

$$\sigma = 0,50 - 0,0006 \frac{B}{R}, \quad (147)$$

где  $R$  — площадь колосниковой решетки в  $m^2$ .

Сжигание тех же видов топлива под горизонтально-водотрубным котлом позволило К. В. Киршу, обобщая материал исследований, дать следующие зависимости:

1) при сжигании нефтяных остатков ( $\alpha_T = 1,2$ )

$\frac{B}{F} =$	20	40	60	80	110
$\sigma =$	0,5	0,37	0,31	0,27	0,25

( $F$  — площадь в  $m^2$ , получившаяся из произведения длины топки на ее ширину) (рис. 28);

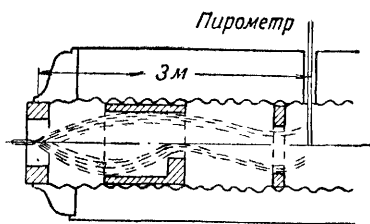


Рис. 27

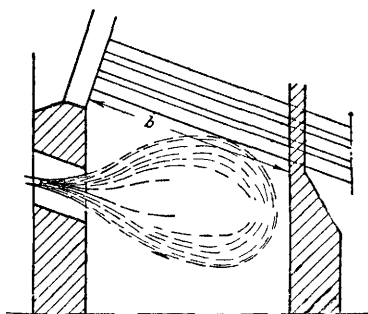


Рис. 28

2) при сжигании антрацита ( $\alpha_T = 1,3$ ) и для узкого котла с шириной решетки до 1,5 м

$$\sigma = 0,38 - 0,0006 \frac{B}{R}; \quad (148)$$

для широкого котла (ширина решетки более 1,5 м)

$$\sigma = 0,40 - 0,0006 \frac{B}{R}. \quad (149)$$

Если  $Q_H^p \leq 7000$ , то в формулы (146), (147), (148) и (149) следует вместо  $B$  подставлять  $B \frac{Q_H^p}{7000}$ .

Для возможности сжигания влажных и низкосортных топлив, чтобы повысить температуру слоя и одновременно уменьшить прямую отдачу, в большинстве случаев приходится дополнительно це-



рекрывать топку сводами, обеспечивая  $T_1'$  в пределах 900—1 000°.

При сжигании дров или торфа в шахтных топках максимально возможная прямая отдача зависит от взаимного расположения котла и зеркала горения (площадь горящего слоя). В комбинации шахтной топки и горизонтально-водотрубного котла (рис. 33) максимальная величина  $\sigma = 0,25—0,3$ ; для вертикально-водотрубного котла эта величина повышается до 0,35. В случаях необходимости снизить  $\sigma$  устанавливаются сводики, как указано на рис. 33 пунктиром.

Сжигая топливо в выносной топке (рис. 44),  $\sigma$  можно уменьшить до 0,1.

Таким образом, в зависимости от свойств топлива, избытка воздуха, степени его подогрева, количества сжигаемого топлива и взаимного расположения котла и топки изменяется и количество тепла, отдаваемого котлу излучением, причем эти изменения могут колебаться в больших пределах, характеризующихся изменением коэффициента прямой отдачи от 0,6 и до величин, близких к нулю в случаях полного перекрытия сводами топочной камеры.

При сжигании пылевидного топлива, большая часть золы которого выносится в газоходы, бывает особенно важно правильно определить величину теплоотдачи излучением топки.

Подобно тому как при сжигании кускового малотеплоплотного и влажного топлива ставилась задача обеспечить в топке надлежащий минимум температуры при входе в первый газоход, в условиях сжигания пылевидного топлива устанавливается другой предел — максимум указанной температуры, которая не должна превышать температуру начала размягчения золы.

Таким образом, принимая за исходную величину  $T_1'$ , можно определить количество тепла, которое надо отнять от факела в топке. Как правило, получить надлежащую величину  $\sigma$  лишь при одних поверхностях котла, «видящих» излучающий факел, не удастся, приходится дополнительно устанавливать экранные поверхности.

Определение прямой отдачи топки по методу д-ра техн. наук С. Н. Шорина. Формула (145) может быть видоизменена следующим образом:

$$H_{\lambda} = \frac{Q_{\lambda}}{\left(\frac{T_1' + 273}{100}\right)^4} \cdot C, \quad (150)$$

где  $T_1'$  — приравнивается  $T_{\phi}$ , а условный коэффициент излучения топки  $C$  получает другое значение.

С. Н. Шорин предлагает принимать  $C = 0,85 \cdot 4,9 = 4,17$ , обосновывая это следующим образом.

Уравнение теплопередачи излучением топочной среды на границе с лучепоглощающей поверхностью для отдельных ее мест можно написать в следующем виде:

$$q_{н. л} = \frac{1}{\frac{1}{A_{ст}} - \frac{1}{2}} 4,9 \left[ \left( \frac{T_{луч} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{ст} + 273}{100} \right)^4 \right] \text{ ккал/м}^2 \text{ час,}$$

где  $T_{луч}$  — так называемая лучистая температура в топочной среде на границе с лучепоглощающей поверхностью в град.;

$A_{ст}$  — коэффициент черноты поглощения лучевоспринимающей поверхности; для всей лучевоспринимающей поверхности в топке  $A_{ст}$  можно считать одинаковым.

Лучистая температура  $T_{луч}$ , вообще говоря, не совпадает с молекулярной температурой топочной среды на границе с лучевоспринимающей поверхностью, и ее величина определяется суммарным эффектом излучения в топке. В условиях движущейся, горячей и излучающей топочной среды лучистая температура на границе лучевоспринимающей поверхности оказывается ниже молекулярной температуры среды в этом месте. Различие между этими температурами зависит от направления и интенсивности потока топочной среды. Часть лучевоспринимающей поверхности в топке расположена в поперечном сечении потока топочной среды (первый газоход котла). Остальная часть лучевоспринимающей поверхности (экраны и иногда котельная поверхность) располагается так, что поток топочной среды омывает ее вдоль или под углом. Для обеих указанных поверхностей величина лучистой температуры в топочной камере на границе с лучепоглощающей поверхностью будет различна.

Однако, несмотря на всю сложность распределения лучистых температур по всей лучевоспринимающей поверхности в топке, как показывает обработка экспериментальных данных по котельным топкам, при условии  $\frac{T'_1 + 273}{T_r + 273} \geq 0,65$ , что удовлетворяется для большинства работающих котлоагрегатов, теплопередачу к лучевоспринимающей поверхности можно определить по формуле

$$Q_{л} = H_{л} \epsilon_{усл} \cdot 4,9 \left[ \left( \frac{T'_1 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{ст} + 273}{100} \right)^4 \right] \text{ ккал/час.}$$

Величина  $\epsilon_{усл}$  учитывает всю сложность участия различных факторов и для условия  $\frac{T'_1 + 273}{T_r + 273} \geq 0,65$  может быть принята

за постоянную величину, приблизительно равную 0,85. Такое определение лучистого обмена в котельной установке отличается от других известных методов расчета исключительной простотой и вместе с тем дает вполне достаточную точность. Причина слабой изменчивости коэффициента черноты излучающей топки ( $\epsilon_{\text{усл}} = 0,85$ ) прежде всего заключается в том, что в топках при  $\frac{T_1 + 273}{T_T + 273} \geq 0,65$  концентрация источников излучения (раскаленных частиц сажи, пыли и газовых продуктов сгорания  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) получается настолько большой, что ее изменение уже заметно не сказывается на теплопередаче к лучевоспринимающей поверхности в топке. Теплопередача в основном зависит лишь от температуры топочной среды на границе с лучевоспринимающей поверхностью и ее коэффициента черноты поглощения.

$Q_d$ , ккал/час в формуле (150) может быть подсчитано как произведение часового расхода топлива на разность теплосодержаний газов при  $T_T$  и  $T_1'$ . После чего выражение для определения поверхности радиации примет вид

$$H_n = \frac{B \left[ \left( V_{\text{с.г}} C_{\text{с.г}}^0 + V_{\text{в.п}} C_{\text{в.п}}^0 \right) T_T - \left( V_{\text{с.г}} C_{\text{с.г}}^0 + V_{\text{в.п}} C_{\text{в.п}}^0 \right) T_1' \right]}{\left( \frac{T_1' + 273}{100} \right)^{4,17}}. \quad (151)$$

Эффективная лучевоспринимающая поверхность для первого газохода  $H_{n(1)}$  водотрубного котла принимается равной площади поперечного сечения лучистого потока, испускаемого топкой на этот газоход, и равна произведению длины газохода на его ширину.

Величина эффективной лучевоспринимающей поверхности водяных экранов зависит от того, в какой степени «освещаются» трубы от излучающей топки. Площадь экранированной стены  $H_{\text{ст}}$  можно подсчитать по размерам  $b$  и  $l$ , где  $b$  — расстояние между внешними образующими крайних труб экрана,  $l$  — длина труб.

Если обозначить:  $d$  — внешний диаметр труб,  $S$  — их шаг и  $n$  — число труб, то та же площадь выражается так:

$$H_{\text{ст}} = [S(n - 1) + d] l \text{ м}^2. \quad (152)$$

В зависимости от расположения труб экрана их эффективная лучевоспринимающая поверхность подсчитывается по формуле

$$H_{\text{л.э}} = [S(n - 1) + d] l \times \text{м}^2, \quad (153)$$

где  $\alpha$  — коэффициент облученности, который находится по графику (рис. 29).

Таким образом:

$$H_{л} = H_{л(1)} + H_{л.э}. \quad (154)$$

Во многих случаях приходится размещать экранные поверхности в топке по конструктивным соображениям и затем проверять температуру газов на выходе из топки.

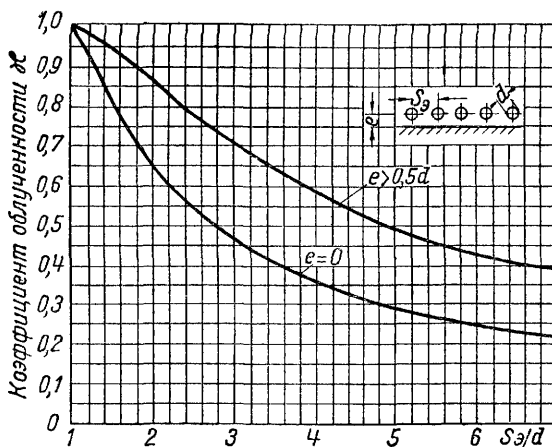


Рис. 29

Для этого можно также воспользоваться формулой (151), которую в этом случае удобнее видоизменить так:

$$\begin{aligned}
 H_{л} \cdot 4,17 \left( \frac{T'_1 + 273}{100} \right)^4 + B \left( V_{с.г} C'_{с.г} + V_{в.п} C'_{в.п} \right) T'_1 &= \\
 = B \left( V_{с.г} C_{с.г} + V_{в.п} C_{в.п} \right) T_T. & \quad (155)
 \end{aligned}$$

По известным  $H_{л}$ ,  $T_T$ ,  $\alpha$ ,  $B$  и роду сжигаемого топлива из этой формулы находится  $T'_1$  — температура газов при входе в первый газод.

Необходимо отметить, что в уравнении (155) теплоемкости зависят от искомой температуры  $T'_1$ .

Решение этого уравнения приходится производить путем подбора значений  $T'_1$ .

## Глава VII

## КОНСТРУКЦИИ ТОПОК

## А. ПРОСТЫЕ РЕШЕТКИ И ШАХТНЫЕ ТОПКИ

## § 41. КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

В зависимости от того, располагаются ли топочные устройства вне котла или внутри котла, топки подразделяются на внешние и внутренние.

В котлах жаротрубных, локомотивных и им подобных топки обыкновенно помещаются внутри жаровых труб (рис. 57). Такая комбинация котла и топки хороша для высокосортных топлив, так как топочный объем как бы полностью экранируется, окружается охлаждающей поверхностью нагрева котла, интенсивно воспринимающей тепло радиации топки. При сжигании низкосортных топлив в котлах с внутренними топками из-за чрезмерного развития прямой отдачи топки ухудшаются условия горения; кроме того, не удастся развить должного размера зеркала горения и затрудняется чистка топки от золы и шлаков.

В подобных случаях к жаротрубным котлам пристраивают выносные топки, позволяющие обеспечить должную форсировку котла (рис. 44). При подобной комбинации котла и топки слишком сильно снижается прямая отдача, что влечет за собой повышение температуры отходящих газов, увеличенную потерю топкой в окружающую среду из-за высоких температур, в ней развивающихся, плавление шлаков и быстрый выход из строя топочной гарнитуры.

Таким образом, котлы с внешними топками, к которым относятся водотрубные котлы, являются более универсальными, хорошо комбинируемыми с топками для низкосортных местных топлив и высокосортных углей. По сравнению с условиями сжигания в жаротрубных котлах под ними может сжигаться топливо даже при более высоких тепловых напряжениях зеркала горения, так как вертикальный отвод газов способствует уменьшению потери от уноса.

## § 42. ТОПКИ ДЛЯ ДРОВ

Колосниковая решетка с ручным обслуживанием. Схема простой колосниковой решетки для сжигания дров изображена на рис. 30. Топка расположена под водотрубным котлом и относится к разряду внешних топок.

Дополнительно к ранее приведенному описанию основных элементов подобной топки необходимо добавить, что в целях развития на решетке слоя дров должной толщины для достижения нормаль-

ного избытка воздуха и должной аккумуляции тепла в слое надо загрузочную дверку располагать от плоскости колосников (размер  $c$ ) на расстоянии, не меньшем  $0,8—1,0$  м, а для сырых неколотых дров придется увеличивать этот размер еще более.

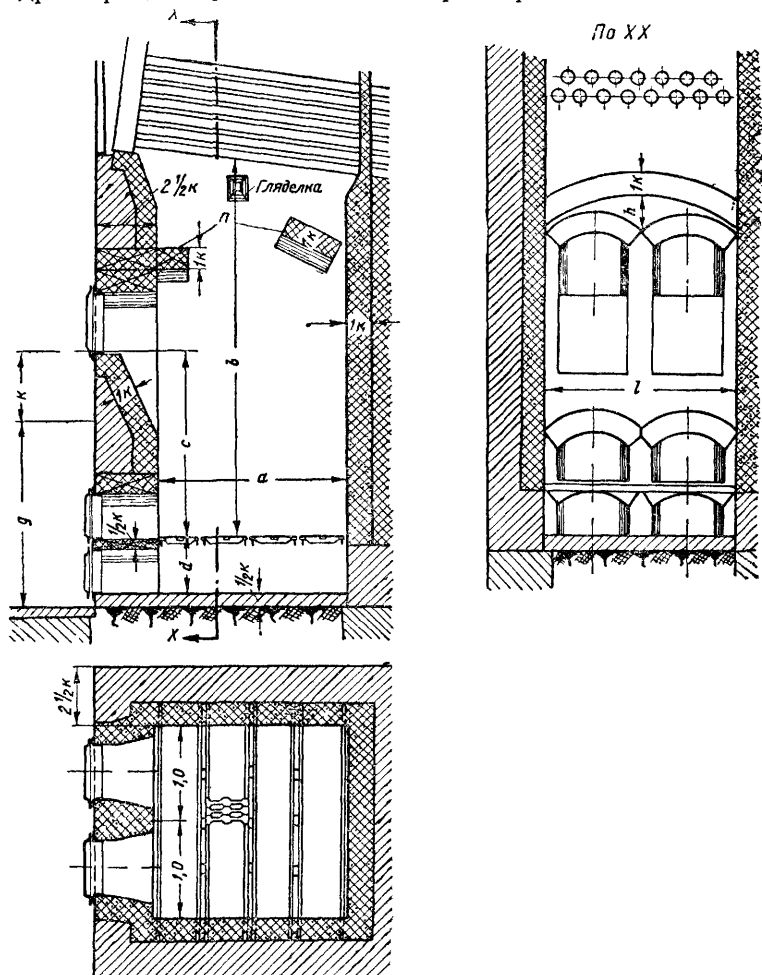


Рис. 30

Если повысить расположение загрузочной дверки по отношению к колосниковой решетке, то при частом открывании дверки для забрасывания топлива будет меньше врываться в топочное пространство холодного воздуха. Это положение может быть подтверждено следующим образом. При рассмотрении природы естественной тяги, создаваемой дымовой трубой, подсчитывалась (рис. 17)

разность давлений столба внешнего воздуха и столба горячего газа на расстоянии  $h$  от верха трубы, которая равнялась

$$(p + \gamma_b h) - (p + \gamma_r h) = Z.$$

Вертикальная шахта топочного пространства в сущности является трубой, хотя и располагающей малой высотой, но зато наполненной газами с температурой порядка  $1000^\circ$ . В подобных условиях каждый метр по высоте создает разность давлений  $Z$ , приблизительно равную 1 мм вод. ст. Таким образом, если размер  $b$  будет равен 3 м, то на уровне решетки получится разрежение за счет самотяги, равное 3 мм вод. ст., по большей части достаточное, чтобы преодолеть газовое сопротивление решетки и слоя дров. На уровне же первого газохода разрежение по отношению к атмосферному, замеренному на той же высоте, в таком случае будет равняться нулю, и преодоление дальнейших сопротивлений отдельных газоходов должно производиться за счет тяги дымовой трубы или дымососа. Такое парадоксальное на первый взгляд явление, когда газы идут в направлении от повышенного разрежения к нулевому, а не наоборот, объясняется тем, что измеряются разрежения на разных уровнях по высоте, вследствие чего сказывается разность барометрического давления, абсолютное же давление все время падает от топки к устью трубы.

Правильное представление о давлениях газов в исследуемых пунктах можно получить, переводя эти давления из относительных в абсолютные. Пусть, например, показание тягомера над слоем топлива дает минус 3 мм вод. ст., а расположенного на 2 м выше — минус 1 мм. Уравнение равновесия в нижнем тягомере может быть написано так:

$$B = 3 + p_1,$$

откуда

$$p_1 = B - 3 \text{ кг/м}^2.$$

Для верхнего сечения

$$B - \gamma_b h = 1 + p_2 \text{ и } p_2 = B - \gamma_b \cdot 2 - 1 \text{ кг/м}^2,$$

где  $B$  — давление атмосферы;

$\gamma_b$  — удельный вес окружающего воздуха; в условиях котельной может быть принят равным 1,2;

$h$  — расстояние по высоте между пунктами наблюдений, принятое в данном случае 2 м.

Разность давлений равна

$$p_1 - p_2 = B - 3 - B + 1,2 \cdot 2 + 1 = 0,4 \text{ кг м}^2.$$

Как видно, нижнее давление газа больше верхнего, и газы должны идти снизу вверх. Разность давлений газа значительно меньше, чем разность давлений, взятая в тех же горизонтальных

плоскостях атмосферного воздуха, так как горячие газы значительно легче воздуха и, кроме того, совершенно ничтожно газовое сопротивление рассматриваемого участка топочного пространства.

Это явление, позволяющее при движении газов снизу вверх по вертикальному газоходу иметь меньшее разрежение за исследуемым газоходом, как уже указывалось, носит название *самотяги*. Иногда при слабой основной тяге вследствие *самотяги* вверху первых газоходов высоких вертикально-водотрубных котлов даже получается плюс и при открывании дверок для обдувки газы врываются в котельное помещение.

Явлением *самотяги* иногда пользуются, помещая загрузочную дверку возможно выше, тогда вследствие незначительной разности давлений на уровне расположения дверки меньше врывается воздуха при ее открывании.

Проф. А. К. Сильницким была предложена колосниковая решетка для сжигания под водотрубным котлом дров и древесных обрезков, различных по длине (рис. 31). Высота топочного пространства достигала 6 м, и в топке сильно развивалась *самотяга*, которая использовалась для преодоления газового сопротивления топки.

На уровне топочной дверки разрежения почти не имелось, почему и засос воздуха через топочную дверку был незначителен, что весьма важно в данном случае при работе мощной дровяной топки, когда в нее приходится забрасывать топливо почти непрерывно.

Проектируя для дровяной решетки колосники, нужно главное внимание обращать на их прочность. Колосники воспринимают удар от брошенного с высоты полена. Форма же их с точки зрения распределения воздуха значения не имеет, в толстом слое дров воздух успеет распределиться с требуемой равномерностью. Для колосниковой решетки следует брать обычные брусчатые колосники длиной до 700 мм и с прозорами 20—25 мм.

Все металлические части топки, подвергающиеся сильному нагреванию, в том числе и колосники, выполняются из чугуна, так как он лучше выдерживает высокие температуры.

Колосники опираются на чугунные или железные балки. Форма балок должна быть такова, чтобы исключалась возможность

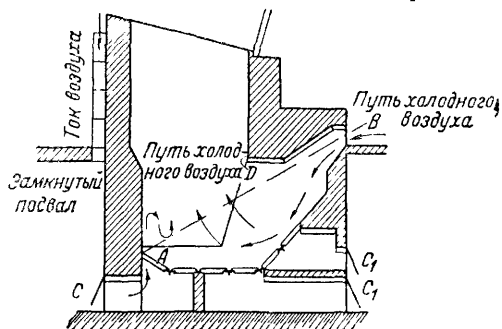


Рис. 31



частичного забивания золой прозоров, по которым проходит воздух, направляющийся в топку и в то же время охлаждающий решетку.

На рис. 32 показано крепление балок, поддерживающих смежные ряды колосников при выполнении балок из стали или чугуна.

Самая нижняя дверка (рис. 30) служит для пропуска воздуха в топку, размеры ее должны выбираться так, чтобы обеспечить удобную очистку зольника, кроме того, скорость проходящего воздуха не должна превышать 3 м/сек. Глубину  $d$  зольника желательно брать равной 500 мм и как нижний предел — 300 мм. Ширина решетки, обслуживаемая одним комплектом топочных дверок, нормально принимается равной 1 м и во всяком случае

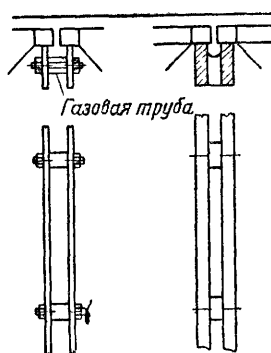


Рис. 32

не больше 1,3 м. Размер топки по ширине задается конструкцией котла и равняется размеру  $l$  между его боковыми стенками. Длину решетки выбирают согласно с принятым для данной местности или на предприятии размером полена, прибавляя к этой длине на необходимые зазоры 100—150 мм; первая цифра может быть взята при укладке одного полена в длину, вторая — при укладке двух полен. Длина решетки во всяком случае не должна превосходить 2,5 м, иначе кочегару становится трудно ее обслуживать.

Расположение загрузочного пола от нижней кромки двери  $k$  следует делать в пределах 500—800 мм, причем средним размером может быть принят 650 мм. Сама загрузочная дверка выполняется размером 400×450 мм. Для наблюдения за цветом и длиной топочного факела в обмуровке предусматриваются гляделки.

При сжигании дров влажностью более 35—40% для получения устойчивого процесса горения приходится перекрывать топку сводами, уменьшая тем прямую отдачу; на рис. 30 такие свода указаны буквой  $n$ ; следует проверять скорость газов в узком месте между сводами, не допуская повышения последней за пределы 10—15 м/сек. Если по местным условиям представляется возможным развить размер  $g$  до 2—2,2 м, тогда в котельной осуществляются два этажа — загрузочный и золовой. В противном случае для чистки золы оставляется приямок (рис. 12), перекрываемый съемным щитком с отверстиями, обеспечивающими подвод воздуха в поддувало.

Хорошие результаты сгорания достигаются: при тепловом напряжении зеркала горения, равном  $\frac{Q}{R} = 1\ 000$  тыс. ккал/м<sup>2</sup>час, избытке воздуха в топке  $\alpha_T = 1,4$  и напряжении объема топоч-

ного пространства  $\frac{Q}{V} = 300$  тыс. ккал/м<sup>3</sup>час. При указанных значениях  $\frac{Q}{R}$  и  $\frac{Q}{V}$  неполнота сгорания  $q_3$  не превышает 3%, а  $q_4$  — не более 1,5%.

Газовое сопротивление решетки, работающей на дровах, обыкновенно незначительно и колеблется в пределах 3—5 мм вод. ст. Сопротивление может быть приближенно подсчитано в зависимости от принятых избытков воздуха и теплового напряжения решетки по эмпирической формуле

$$\Delta S_T = 3 \left( \frac{Q}{R} \right)^2 \left( \frac{13,5}{CO_{2(T)}} \right)^2 \text{ мм вод. ст.}^* \quad (156)$$

Формула (156) показывает, что чем больше  $\frac{Q}{R}$  и меньше  $RO_2$  (при дровах  $CO_2$ ), тем больше в топку проходит воздуха и тем значительнее газовое сопротивление топки.

При  $\frac{Q}{R} = 1000$  тыс. ккал/м<sup>2</sup>час и  $CO_2$  в топке, равном 13,5%,  $\Delta S_T = 3$  мм вод. ст.

Кирпичная обмуровка подвергается температурным воздействиям, поэтому, чтобы избежать трещин, она выкладывается на глине. Связующие свойства глины ничтожны, и, как правило, на обмуровку не следует передавать нагрузку от веса котла, перегревателя и других элементов, распределяя эти усилия на каркас, опирающийся на фундамент, который выкладывается на обычном цементном растворе. Выполняется обмуровка печниками (обмуровщиками), а не каменщиками, привыкшими к кладке на цементном растворе с толстыми швами: швы обмуровки не должны превышать 3—4 мм. Часть обмуровки, непосредственно соприкасающейся с горячими газами топочной камеры, футеруется кирпичом высокой огнестойкости, выкладываемым на огнеупорной же глине. Эта часть кладки на рис. 30 показана условной штриховкой в клетку.

Стены обмуровки обыкновенно делаются в 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> кирпича, из них 1 кирпич шамотный и 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> красных. Все кирпичи кладутся вперевязку, и при несовпадении размеров шамотного и красного кирпичей перевязка выполняется через несколько рядов. В крупных котельных агрегатах футеровка топочной камеры с целью обеспечить возможность свободного расширения не перевязывается с остальной кладкой, в таких случаях для большей устойчивости стена футеровки делается утолщающейся книзу.

\* В формулы 156—162 подставляются значения  $\frac{Q}{R}$ , выраженные в тыс. ккал/м<sup>2</sup>час.

В пределах топки нельзя располагать металлических частей — балок, опор и пр., так как они будут перегорать, если не предусмотрено их охлаждение водой.

В случаях необходимости перекрытия топок широко используют своды. Своды делают цилиндрическими, толщиной в 1 кирпич и со стрелой (рис. 30)  $h = \frac{1}{6} \div \frac{1}{8} l$  (где  $l$  — пролет свода, который может достигать до 2—2,5 м). Своды приходится выкладывать особенно тщательно, впритирку. Если расстояние между стенками топки более 2,5 м, то устанавливают в середине добавочную стенку, на которую и опирают своды, перекрывая тогда отдельно каждую половину топки. В крупных современных котлах расстояние между стенами обмуровки получается настолько больших размеров, что на перекрытие топки цилиндрическими (арочными) сводами рассчитывать не приходится; в таких случаях устраивают подвесные плоские перекрытия, выполняемые из шамотных фасонных кирпичей. Верхними концами эти кирпичи подвешивают к металлическому каркасу, идущему вне топки (рис. 64).

**Шахтные дровяные топки.** В области изучения сжигания дров и создания экономичных топочных устройств большая работа была проделана профессором Московского высшего технического училища К. В. Киршем.

К. В. Кирш дал правильное очертание слою топлива, сгорающему в шахтной топке, в отличие от прежних конструкций, где слой топлива не утончался книзу, как это сделал Кирш, а, наоборот, увеличивался. Такое видоизменение произошло не случайно, а на основании глубокого изучения процесса горения топлива в заданных условиях. Это позволило К. В. Киршу предложить простую, совершенно оригинальную шахтную топку с вертикальным зеркалом горения, в которой могут успешно сжигаться сырые свежесрубленные дрова. Основываясь на схемах топочных устройств, впервые предложенных проф. Киршем, ученики его школы продолжили их разработку, достигнув не превзойденных в мировой технике результатов.

**Топка с наклонным зеркалом горения.** При рассмотрении процесса горения топлива на простой колосниковой решетке указывались основные недостатки этой топки.

Изменяющаяся во времени толщина слоя топлива периодически вызывает неполное сгорание или чрезмерно большие избытки воздуха. Улучшая тепловую работу решетки, необходимо чаще забрасывать топливо мелкими порциями, что в свою очередь вызывает потери, связанные с прорывом воздуха в топку, и, кроме того, весьма усложняет труд кочегара.

В шахтной топке с наклонным зеркалом горения (рис. 33) слой постоянен во времени, но изменяется по толщине, постепенно утончаясь книзу. Такого рода неравномерность толщины не вредна, а

полезна. Топливо, загруженное в верхнюю горловину шахты, по мере прогорания нижележащих слоев будет постепенно опускаться вниз, попутно сначала подсушиваясь, затем газифицируясь и загораясь. При опускании вниз топливо становится сначала суше, а затем мельче; чтобы обеспечить полноту сгорания на всех участках слоя, последний должен постепенно утончаться, так как при сжигании дров и угля требуется различная толщина слоя; для дров — больше, для угля — меньше.

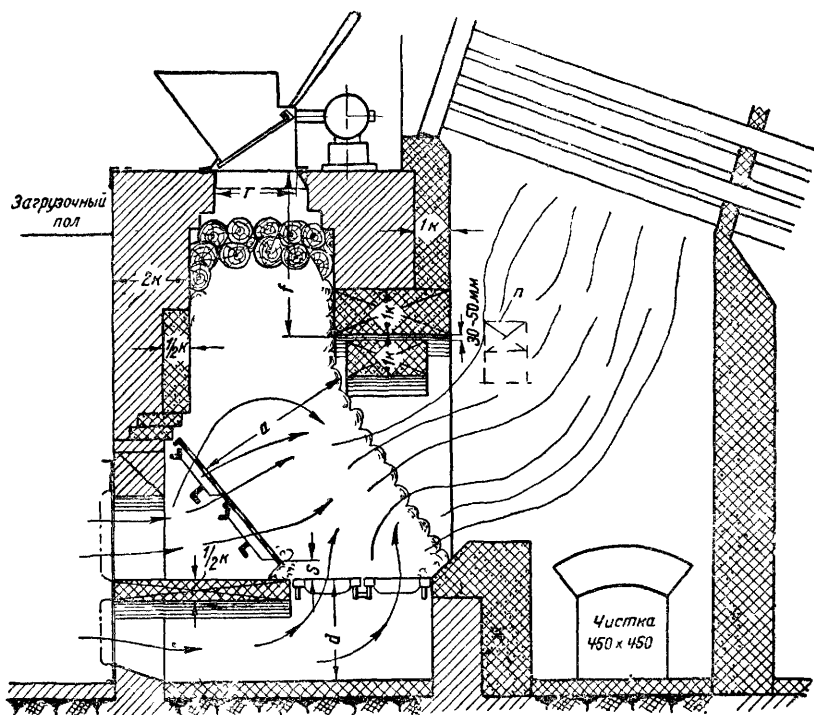


Рис. 33

На каждом участке слоя толщина будет постоянна во времени, несмотря на то, что загрузка топлива осуществляется периодически. Колебание уровня загружаемых дров происходит в пределах горловины шахты, и надо только следить, чтобы этот уровень не спускался ниже свода, за которым начинается зеркало горения (горящий слой топлива).

В нижней части слоя топлива развиваются высокие температуры, так как там сгорает накаленный уголь. Слой здесь выполняется преднамеренно более тонкий, чтобы через него провести наибольшее количество воздуха, направляющегося в топочное пространство для сжигания летучих.

В таком случае будут хорошо охлаждаться нижние колосники, работающие в наиболее тяжелых условиях. С этой же точки зрения не следует вводить добавочный воздух в топочное пространство отдельными каналами в обмуровке, минуя колосниковую решетку.

Воздух подводится в шахтную топку двумя зонами, а иногда тремя при сильно развитом зеркале горения. Позонный ввод воздуха позволяет регулировать его подачу к отдельным местам топочного слоя. Если, например, сжигаются сильно влажные дрова, то в верхнюю зону, особенно при наличии третьей зоны, должно быть уменьшено поступление воздуха, так как из-за большой влажности процесс сгорания замедляется и удлиняется не требующая воздуха зона подсушки топлива. В случаях же сжигания очень сухих дров они начнут загораться непосредственно в самой горловине, еще до продвижения к зеркалу горения; тогда, чтобы избежать неполноты сгорания, воздух пропускают через все зоны и, кроме того, приоткрывают крышку загрузочной коробки, через которую воздух также направляется в топку.

Размеры дверок отдельных зон следует делать не меньше  $450 \times 400$  мм, чтобы иметь возможность через них проникнуть в топку при ее ремонте.

При шахтных топках кочегару удобно сбрасывать дрова вниз, в горловину; кроме того, удлиняются периоды между загрузками. Если для обычной колосниковой решетки при работе на дровяном или другом топливе кочегар нормально может забрасывать в 1 час около 600—700 кг, то для шахты эта норма повышается до 1 100—1 300 кг/час.

Далее, как только что указывалось, шахта обеспечивает постоянство процесса сгорания во времени, и в условиях правильно выбранной толщины слоя топлива может быть создано практически полное сгорание при минимальных избытках воздуха:  $\alpha_t$  при простой решетке — 1,4, для шахтной топки — 1,3.

Однако эта хорошая тепловая работа осуществляется не во все периоды эксплуатации. При процессах растопки и прогара шахтная топка работает менее удовлетворительно, и только позонный ввод воздуха дает возможность частично исправлять дефекты. Во время растопки, очевидно, не следует пускать воздух через верхнюю зону, так как он будет только охлаждать топку; так же и при прогаре: по мере снижения выжигаемой массы угля должна постепенно прикрываться верхняя зона. Эти недостатки не позволяют особенно рекомендовать шахтную топку в установках с малым числом часов использования, например, при работе в одну смену, так как периоды прогара и розжига занимают примерно не менее как по часу времени, что будет сводить на нет тепловые достоинства этой топки. Точно так же при наличии малого количества установленных котлов и переменной нагрузки у потреби-

теля будет сказываться недостаточная гибкость шахтных топок, что может вызвать перерасход топлива и усложнение в обслуживании.

При установившейся работе шахтной топки поддувальные дверки, как правило, следует держать открытыми, только иногда прикрывая верхнюю дверку при сырых дровах.

Регулировать тягу и в этом случае надо регистром, расположенным перед тяговым устройством. Кроме того, при регулировании тяги поддувальной дверкой увеличиваются присосы воздуха; закрывая при недогрузках полностью поддувальные дверки и пропуская воздух только через горловину шахты, можно вовсе сжечь колосниковую решетку, через которую не будет проходить тогда охлаждающий воздух. Подобные случаи наблюдались в практике при неумелой эксплуатации. Коробление колосников может происходить также в случае, когда кочегар не следит за тем, чтобы верхний уровень дров не выходил из пределов горловины.

Наличие плохой тяги может вызвать дымление через горловину шахты, так как последняя является в некотором роде трубой, тяга которой противодействует основной. В таких случаях можно искусственно повысить разрежение в топке путем незначительного прикрывания поддувальных дверок, соответственно усилив тягу, приоткрыв соответствующий регистр, и тем прекратить дымление.

Эта противотяга горловины приносит и большую пользу, так как струйки горячих отходящих газов из нижних слоев топлива не направляются по прямым линиям в топочное пространство, а идут по удлинённому кривому пути, несколько подсасываясь к горловине и тем производя подсушку свежих, еще не разгоревшихся слоев топлива. Подсушивающие свойства шахтной топки особенно ярко выявляются в шахте с вертикальным зеркалом горения (рис. 34), описание которой будет приведено ниже.

Зеркалом горения в шахтной топке является площадь, по длине простирающаяся от свода, отделяющего горловину, до порога и доходящая до 2,5—3,0 м; ширина зеркала связана с длиной полена, превышая его на 100—150 мм, и обыкновенно приближается к расстоянию между стенами котельной обмуровки. Толщина слоя (размер  $a$ , рис. 33) зависит от рода и сорта сжигаемых дров, влажности, крупности колки и может колебаться в весьма значительных пределах — от 1,4 до 0,7 м. Особых приспособлений, регулирующих слой топлива при сжигании дров, не делается, а просто в случае надобности удлиняется или укорачивается свод, перекрывающий топку и фиксирующий требуемую толщину слоя.

Горловина шахты должна обеспечить возможность периодической загрузки топлива, поэтому размер по высоте  $f$  не следует делать меньше 1,2—1,5 м, но и чрезмерно увеличивать высоту горловины рискованно: тогда усиливается обратная тяга и топка может начать дымить через горловину. Размер по ширине при

входе в горловину делается в пределах 0,5—0,6 м, при этом обеспечивается хорошее заполнение горловины и не застревают даже крупные поленья.

Наклонно располагающееся полотно колосниковой решетки выполняется из брусчатых или плиточных чугунных со щелями колосников. Колосники поддерживаются балками — чугунными или стальными. Верхние наклонные колосники устанавливают более круто, чем нижние; в среднем наклон к горизонту тех и дру-

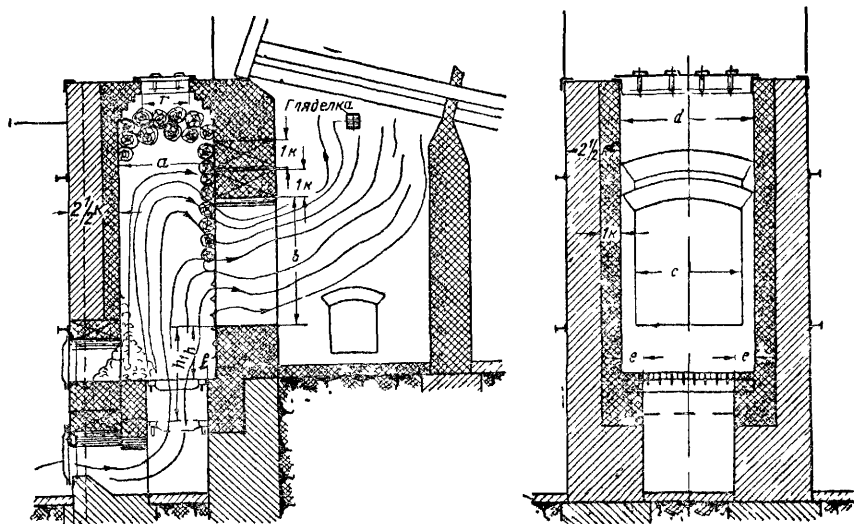


Рис. 34

гих составляет угол  $45^\circ$ . Горизонтальные колосники—обычные брусчатые. Прозоры между колосниками берутся для наклонных колосников 10—15 мм, горизонтальных—20—25 мм. Так же как и в простой решетке, приходится обращать внимание на достаточную механическую прочность колосников и поддерживающих их балок, которые могут подвергаться сильному ударному воздействию при начальной загрузке дров, когда полено падает на решетку, проходя значительный путь по высоте. Размер щели  $S$  между наклонными и горизонтальными колосниками не следует брать более 100—150 мм, иначе будут подгорать снизу наклонные колосники. Иногда эту щель и совсем не делают, так как значительные по размеру прозоры горизонтальных колосников обеспечивают провал золы в поддувало, высота которого  $d$  аналогично с простой решеткой делается равной 0,3—0,5 м.

Обмуровка шахтной топки также выполняется в  $2\frac{1}{2}$  кирпича за исключением фронтальной стенки, обыкновенно выкладываемой

в 2 кирпича. На рис. 33 показаны места, футеруемые огнеупорным кирпичом (штриховка в крест с точкой — кирпич высокой огнеупорности, штриховка в крест — марка шамотного кирпича с пониженной огнеупорностью). Сводов делается два: один сильно нагревается и чаще ремонтируется, другой, над ним (разгрузочный свод), воспринимает на себя нагрузку от находящейся сверху кирпичной кладки. Между сводами оставляется зазор 30—50 мм, что дает возможность свободно расширяться нижнему разогреваемому своду.

Ширина топки, как уже указывалось, больше длины полена, поэтому во избежание прорывов лишнего воздуха в зазоры между обмуровкой и торцами поленьев колосниковая решетка делается несколько уже (рис 34). Если при влажных дровах потребуется уменьшить прямую отдачу, то это осуществляется при помощи дополнительных сводов  $n$  (рис. 33).

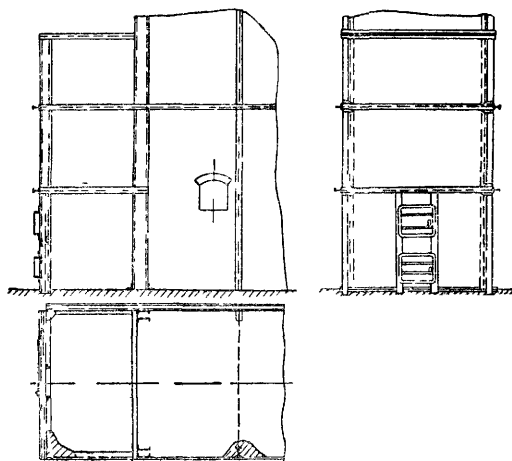


Рис. 35

Обмуровка скрепляется металлическим каркасом, состоящим в основном из стоек, укрепляемых горизонтальными поясами. Часть из таких поясов следует расположить на уровне сводов в целях восприятия каркасом получающегося от сводов распора. Балки поясов устанавливаются таким образом, чтобы при их нагрузке от выпучивания разогревшейся кладки они работали по наибольшему модулю (рис. 35). Рамки топочных дверок надо крепить к металлическому каркасу (рис. 35), а не отдельными ершами к обмуровке, так как в последнем случае крепление получается малонадежное.

При правильно выбранной толщине слоя топлива шахтная топка с наклонным зеркалом горения (рис. 33) хорошо справляется с сжиганием дров влажностью до  $W^p = 45\%$ , причем удается получать практически полное сгорание ( $q_3 \approx 0,5\%$ ) при  $\alpha_t = 1,3$ , при  $\frac{Q}{R} = 1200$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час и  $\frac{Q}{V} = 300$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час;  $q_4$  при дровах вообще ничтожно и может приниматься в размере 1,5%.



Газовое сопротивление топки в зависимости от избытка воздуха и форсировки определяется по формуле

$$\Delta S_{\tau} = 3 \left( \frac{Q}{R} \right)^2 \left( \frac{15,5}{CO_{2(\tau)}} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (157)$$

Разрежение над слоем должно быть не ниже 3 мм вод. ст., иначе топка может начать дымить через горловину.

**Топка с вертикальным зеркалом горения.** Изображенная на рис. 34 и 35 шахтная топка с вертикальным зеркалом горения отличается простотой и компактностью. Практика сжигания сырых дров в этой топке показала, что горение идет устойчиво даже при дровах с влажностью до 55%. Подсушка верхних слоев топлива производится струйками горячего газа, проникающими в горловину за счет самотяги последней.

Обратная тяга горловины, особенно резко сказывающаяся в шахтах с вертикальным зеркалом, одновременно является и их недостатком, так как при разрежении над слоем меньше 6 мм топка дымит через горловину. Это обстоятельство служит серьезным препятствием распространению шахтных топок с вертикальным зеркалом, ограничивая их применение только случаями необходимости сжигания сырых дров. При растопке или прогаре топки крышка, перекрывающая горловину, подвергается воздействию лучистого тепла; она сильно нагревается и скоро изнашивается, что является вторым существенным недостатком топки, который, правда, не сказывается при круглосуточной работе отопительных котлов.

Размер по глубине  $a$ , являясь в известной степени толщиной слоя топлива, выбирается в зависимости от размеров по сечению сжигаемых дров и их влажности.

Величину  $a$  не следует брать больше 1 м, соответственно ее уменьшая при сухих и мелких поленьях. Большое влияние на подсушку оказывает объем подсушивающего очага, в частности его высота  $h$ , считая от площади колосниковой решетки до порога газового окна. В этом месте шахты горит накаленный уголь, отходящие газы которого и сушат вышележащие слои дров. На рис. 34 показано наносным пунктиром, как надо расположить колосниковую решетку при увеличении влажности сжигаемых дров. Размер  $h$  обыкновенно колеблется в пределах 0,5—0,8 м, доходя до 1 м при очень сырых дровах.

Зеркало горения располагается вертикально; достигается это тем, что размер газового окна  $c$  в отличие от шахтных топок с наклонным зеркалом горения делается уже ширины топки  $d$ .

Обозначая через  $l$  длину полена, можно подсчитать:

$$d = l + (100 \div 150) \text{ мм и } c = l - (100 \div 150) \text{ мм,}$$

Высоту газового окна не делают больше 1,4 м.

Ранее уже упоминалось о необходимости устройства заплечиков  $e$ , чтобы уменьшить прорывы воздуха в топочное пространство, минуя топливо; это особенно важно в шахтах с вертикальным зеркалом, так как при отсутствии заплечиков или штробы

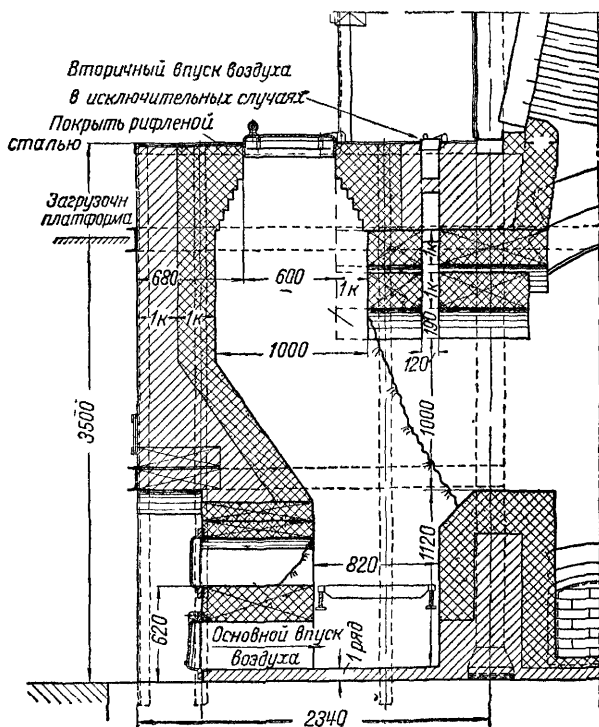


Рис. 36

сверху горловины (в продольном разрезе топки) скорее получается дымление через горловину с прорывом дыма около стен.

Воздух подводится в топку через нижнюю поддувальную дверку, которая должна обеспечить проход воздуха со скоростями не более 4—5 м/сек.

Верхней дверкой, находящейся над уровнем колосниковой решетки, пользуются при растопке, затем дверкой не пользуются и только иногда ее приоткрывают при сжигании сухих дров. Узкая часть горловины (размер  $r$ ) назначается в пределах 0,5—0,6 м; высота горловины — от 1,2 до 1,5 м.

Прямая отдача шахтной топки с вертикальным зеркалом несколько ниже, чем с наклонным.

Нормальные условия сжигания достигаются при тепловом напряжении зеркала горения ( $R = bc$ ), равном  $\frac{Q}{R} = 3\,000$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час, когда удается избежать дымления через горловину и при правильно выбранной толщине слоя топлива получить  $\alpha_T = 1,3$ ,  $q_3 \approx 0,5\%$ ,  $q_4 \approx 1,5\%$  и  $\frac{Q}{V} \approx 300$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час.

Газовое сопротивление топки можно подсчитать, пользуясь выражением

$$\Delta S_T = 6 \left( \frac{Q}{R} \right)^2 \left( \frac{15,5}{CO_{2(T)}} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (158)$$

На рис. 36 дана топка для сжигания очень влажных древесных отходов спичечного производства с  $W^p = 50\%$ . Угол естественного откоса для этого топлива достигает 60°, топка по профилю приближается к шахтной с вертикальным зеркалом горения.

**Шахтные дровяные топki в комбинации с жаротрубными котлами.** При установке колосниковой решетки непосредственно в жаровой трубе (рис. 57) не удается развить должных размеров зеркала горения, что в свою очередь вызывает снижение съема тепла с котла и недостаточное использование последнего. Сжигание в таком случае приходится вести при чрезмерно тонком слое. Сырые же дрова, находясь в жаровой трубе, вообще будут плохо гореть из-за повышенной прямой отдачи.

Пристраивая к жаротрубным котлам выносную шахтную топку (рис. 37), можно сильно повысить количество сжигаемого топлива и улучшить условия горения. Необходимость обеспечить с фронта обслуживание парового котла — его арматуру, лаз и спускной вентиль — заставляет отставлять топку от котла на расстояние не меньше 0,9—1,0 м (размер  $k$ ), соединив ее с жаровыми трубами при помощи особой горловины (наиболее простая и удачная форма такой горловины приведена на рис. 38).

Железная обечайка, футеруемая в  $1/4$  кирпича, вставляется в жаровую трубу и расклинивается в трех местах. Обечайка, прилегающая к топке, отделяется от первой обечайки щелью в 50 мм, щель перекрывается стальным кольцом, приваренным к топочной обечайке. Между обечайкой жаровой трубы и кольцом прокладывается асбестовый шнур.

Такая конструкция допускает возможность передвижения котла в сторону топki после его разогревания.

Локомобильные котлы (рис. 150, 151) имеют топki коробчатого (паровозного) типа или жаротрубные. Последняя система более удобна, так как имеется возможность жаровые трубы вместе с дымогарными вынимать на площадку перед фронтом

котла, где их и очищают от накипи. В таком случае выносная топка должна быть откатной с целью обеспечить выемку жаровых и

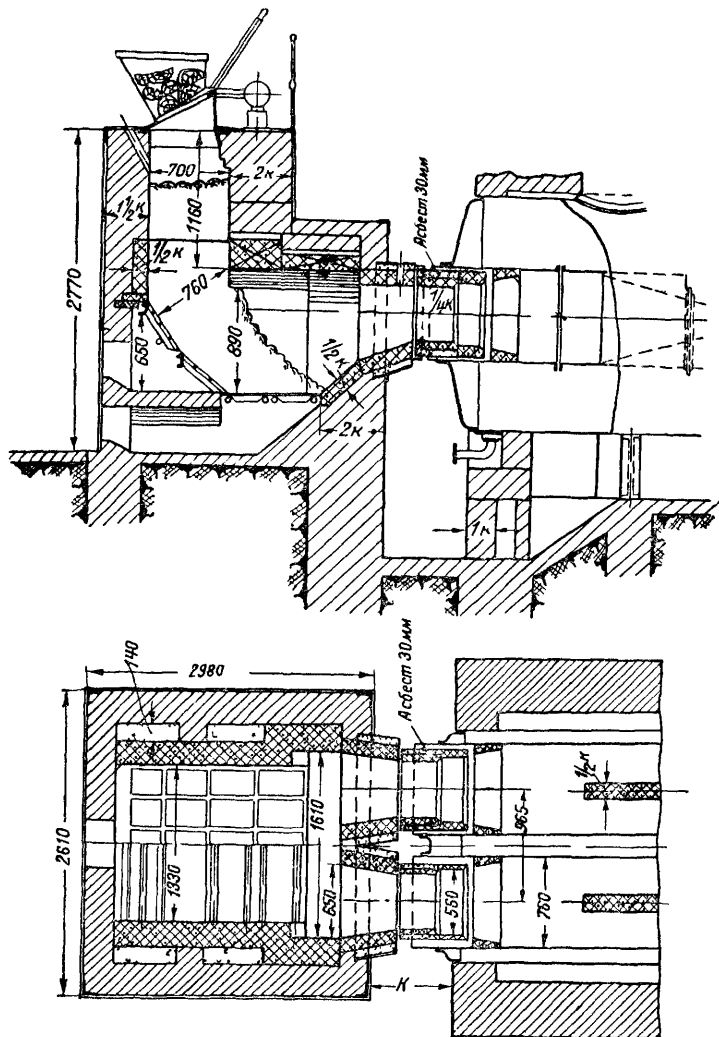


Рис. 37

дымогарных труб. Пример выполнения такой откатной топки к локомотивному котлу показан на рис. 150.

Шахтная топка обслуживается с двух уровней. Верхний загрузочный пол и нижний золовой отстоят друг от друга на расстоянии 3—4 м, и при расположении нижнего пола уровень с землей дрова

приходится поднимать на загрузочный пол, устраивая подъемники, эстакады и тому подобные приспособления.

В дровах мало золы, поэтому, если по местным условиям дрова являются основным видом топлива, котельную по предварительному согласованию с Котлонадзором можно построить с зольным подвалом, размещая загрузочный пол на уровне земли. Поднять кверху сравнительно ничтожное количество золы, конечно, не представит затруднений. Подвал можно делать при условии, если отметка его пола будет выше уровня грунтовых вод.

**Фартучная топка.** Жаротрубными котлами оборудуются сравнительно мелкие котельные установки, усложняя которые дополнительными устройствами для подачи дров в шахтные топки, можно в конечном счете слишком удорожить стоимость отпускаемой тепловой энергии.

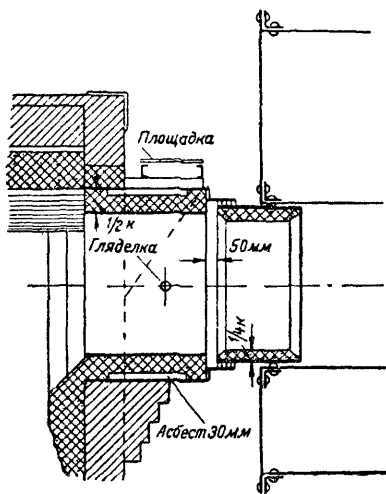


Рис. 38

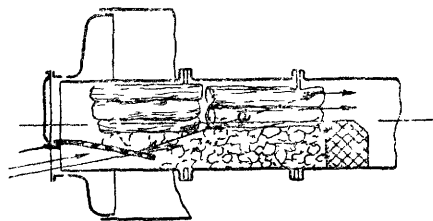


Рис. 39

Кроме того, в существующих котельных с жаротрубными котлами расстояние от фронта котлов до противоположной стены здания может оказаться недостаточным при переходе на дровяное топливо и шахтные топки. В подобных условиях и при гарантии, что влажность дров не будет превосходить 30—40%, можно применить предложенные проф. К. В. Киршем так называемые фартучные топки, представляющие собой род горизонтально расположенной шахтной топки (рис. 39). Вместо колосниковой решетки топка снабжается трапециевидной чугунной плитой (фартук) с отверстиями. Жаровая труба полностью загружается дровами, и может быть установлена требующаяся толщина слоя *a*. Сзади топка замыкается порогом, выкладываемым для прочности на чистом цементе; непосредственный контакт порога с охлаждаемой стенкой допускает в данном случае пользование цементом, и порог практически получается весьма прочным. Дверки, загрузочная и поддувальная, делаются в виде двух сегментов, по суммарной пло-

щадя приближающихся к сечению жаровой трубы. По мере прогорания топлива через загрузочную дверку добавляются сверху новые поленья так, чтобы сечение трубы по возможности все время было заполнено дровами. Золу приходится чистить только при остановке котла и при выжигании топки. Уголь следует сгребать на фартук и постепенно его выжигать, тогда останется только зола, удаляемая из поддувала топки.

Фартучная топка дешева, удобна в обслуживании, не занимает места перед котлами и не затрудняет обслуживание котла с фронта, дрова не нужно поднимать на второй этаж. Процесс горения в фартучной топке удается вести при сравнительно небольших избытках воздуха; но большую мощность можно развить только при повышенных разрежениях перед слоем — около 13 мм вод. ст.

Зеркалом горения является сегмент, образуемый жаровой трубой и порогом топки. Условно при вычислениях площадь зеркала горения  $R$  принимается равной площади сечения жаровой трубы. Умеренный избыток воздуха в топке достигается при незначительных форсировках; с повышением форсировок избыток воздуха в топке сильно возрастает.

Так, при  $\frac{Q}{R} = 1500$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час  $\alpha_T = 1,4$ , а при  $\frac{Q}{R} = 3000$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час  $\alpha_T = 2,0$ . Потери от химической и механической неполноты сгорания также можно довести до минимума:  $q_3 \approx 0,5\%$  и  $q_4 \approx 2\%$ .

Газовое сопротивление топки подсчитывается по формуле

$$\Delta S_T = 13 \left( \frac{Q}{R} \right)^2 \left( \frac{10}{CO_2(\tau)} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (159)$$

**Сжигание древесных опилок.** Для сжигания мелкого топлива, каковым, в частности, являются опилки, можно применять шахтную топку со ступенчатой решеткой. Основными достоинствами ее является отсутствие провала топлива в зольник через прозоры колосников и хорошая подсушка топлива очагами горения, образующимися между отдельными ступеньками. На рис. 40 приводится продольный разрез такой топки.

Там же показано в увеличенном масштабе несколько ступенек с расположенным на них топливом. Топливо подается сверху в загрузочную воронку. Главная масса топлива сползает по ступенькам вниз. Между ступеньками задерживается часть топлива —  $O$ ; это топливо постепенно подсыхает и затем загорается. Продукты горения, засасываясь в топочное пространство за счет существующего в нем разрежения, пронизывают движущийся сверху вниз слой топлива, подсушивая его. Такой прием образования под-

сушивающих очагов довольно часто используется конструкторами топок; в частности подобные очаги имеются в подсушивающих предтопках при сжигании торфа на целных решетках.

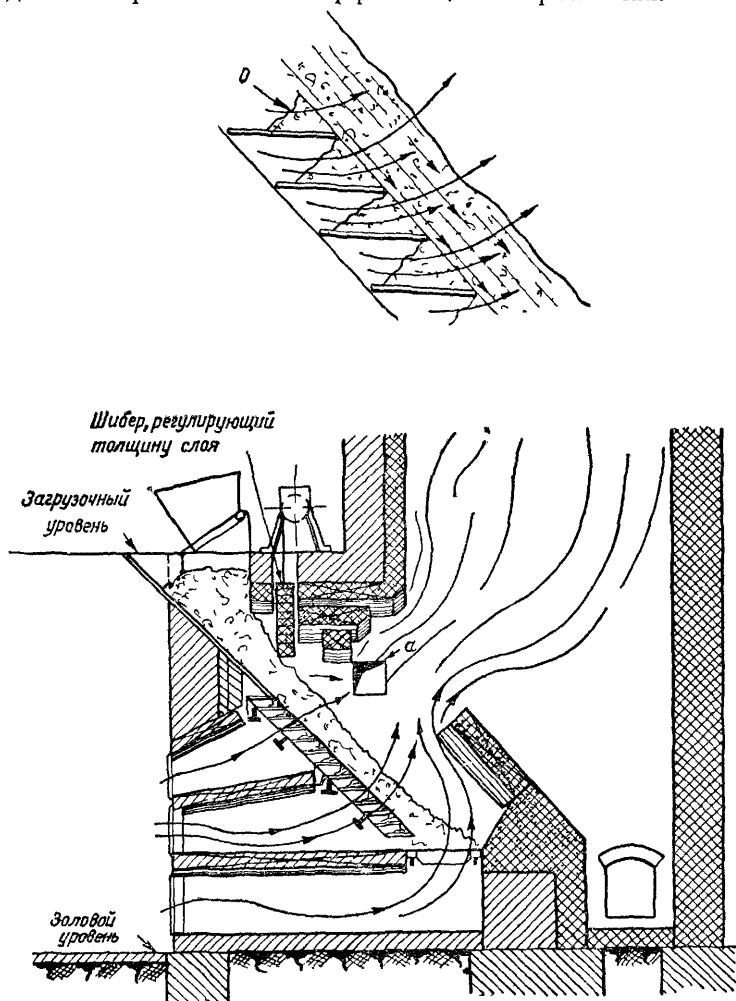


Рис. 40

Использование ступенчатой решетки, предохраняющей мелкое топливо от провала его в зольник, с повышением зольности топлива осложняет эксплуатацию топki, так как зола в значительной доле остается на ступеньках и ее оттуда приходится чистить. Это обстоятельство побуждает рекомендовать ступенчатую решетку

для сжигания опилок или других разновидностей растительного топлива — подсолнечной лузги, одубины и пр., а также и для малозольного торфа.

Чем мельче топливо, тем тоньше требуется его слой при горении. Для опилок даже при повышенной влажности толщина слоя не превышает 200 мм. Небольшая толщина слоя и, следовательно, уменьшение побудительной силы тяжести, производящей передвижение вниз топлива, сказывается на сокращении длины зеркала горения: вместо 2,5—3 м при дровах эта длина должна быть около 1,0 м. При увеличении длины зеркала горения ступенчатая решетка начинает работать с уменьшенным к. п. д. Слой сползает неравномерно, в нем получаются разрывы, образуются места, через которые проходит избыточный воздух, и, наоборот, в других пунктах зеркала горения опилки нагромождаются кучами, что вызывает неполноту сгорания. При необходимости повышения мощности топки и в связи с этим развития длины зеркала горения приходится идти на увеличенную толщину слоя топлива, а следовательно, на заведомо неполное горение в слое с дожиганием образовавшихся летучих горючих в топочном пространстве, куда в данном случае вводится добавочный воздух через отверстие *a* в обмуровке (рис. 40). Таким образом, приходится переходить на работу с полугенераторным процессом горения, которого в иных условиях желательно избегать. При уменьшенных расходах воздуха через слой топлива в нем сильно повышается температура, что при сухих и шлакующихся топливах вызывает усложнение в обслуживании, а также коробление и перегорание колосников.

На ступенчатой решетке, как и в обычных шахтных топках, слой топлива должен утончаться книзу. При сжигании мелкого топлива с относительно тонким слоем трудно точно отрегулировать уклон колосников, и неминуемо через нижнюю часть решетки будет прорываться много лишнего воздуха. Последний надо направлять на дожигание летучих горючих газов, выделяющихся в верхних частях. Кроме того, поток горячих газов ускорит зажигание топлива (верхнее зажигание). Поэтому ступенчатая решетка в силу специфичности своей работы должна в нижней части перекрываться сводом (рис. 40). Необходимость повышения толщины слоя с последующим возрастанием его температур, а также уменьшение прямой отдачи от перекрывания сводами делают ступенчатую решетку применимой только для сжигания мелких и сильно влажных топлив, каковыми являются древесные отбросы и опилки, мелкий торф.

Опыты использования ступенчатой решетки для сжигания подмосковного (бурого) угля хотя и дали вполне удовлетворительные результаты с тепловой стороны, однако кочегару приходилось около 50% своего времени уделять на прочистку пространства между ступеньками от образовавшихся там корочек шлака, затруд-



нявших прохождение в топку воздуха и тем снижавших мощность топки.

В итоге в настоящее время от сжигания подмосковного угля на ступенчатых решетках отказались.

При искусственно увеличенной толщине слоя опилок и правильно спроектированной конфигурации топочного пространства можно добиться сгорания топлива с малыми избытками воздуха  $\alpha_T = 1,2-1,3$ . Для умеренных тепловых напряжений зеркала горения, порядка  $\frac{Q}{R} = 600$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час, потери от механиче-

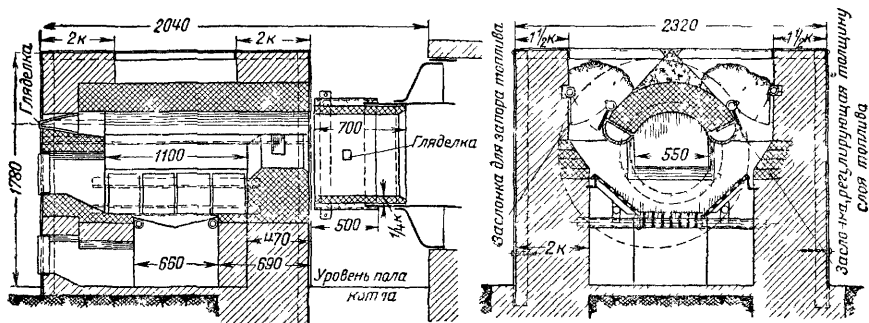


Рис. 41

ского недожога, главным образом от уноса, не превышают  $q_4 = 1-2\%$ .

При тепловых напряжениях топочного объема  $\frac{Q}{V} = 250$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час  $q_3 \approx 0,5\%$ . Газовое сопротивление может быть определено на основании формулы

$$\Delta S_T = 8 \left( \frac{Q}{R} \right)^2 \left( \frac{16}{CO_2(\tau)} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (160)$$

Сжигание опилок желательно производить с дутьем под решетку, и еще лучше, если воздух предварительно будет подогрет в воздухоподогревателе. В таком случае площадь зоны подсушки топлива уменьшается и за счет большего развития активной площади горения можно повысить тепловое напряжение зеркала горения.

Значительно увеличивается площадь зеркала горения в двускатной топке. Ее компоновка с жаротрубным котлом дана на рис. 41. Характерной особенностью топки, представляющей собой комбинацию двух шахтных топок, у которых зеркала горения располагаются друг против друга, является незначительность потери в окружающую среду, так как на наиболее нагретом верхнем

своде находится слой свежезагруженного топлива. Малая прямая отдача двускатной топки допустима и даже желательна при сырых опилках. Колосники на рис. 41 показаны в виде плит с круглыми

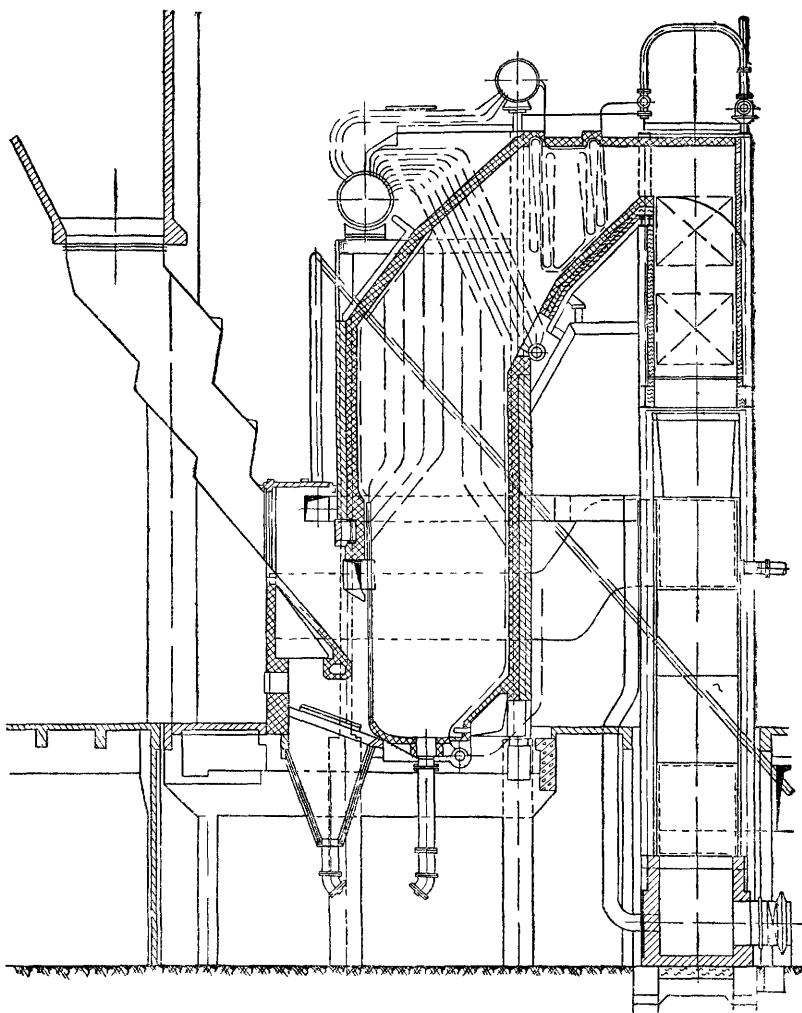


Рис. 42

отверстиями; но лучше, конечно, устанавливать ступенчатую решетку. На том же рисунке указаны заслонки, регулирующие толщину слоя топлива.

До сих пор говорилось о сжигании опилок; вместе с ними на тех же топках можно сжигать и другие мелкие древесные отбросы:

стружку, щепу и пр. В подобных случаях ступеньки могут выполняться в виде кирпичных сводов по типу, приведенному на рис. 150.

В крупных установках опилки следует сжигать во взвешенном состоянии в камерных топках, о чем будет сказано в разделе пылевидного сжигания.

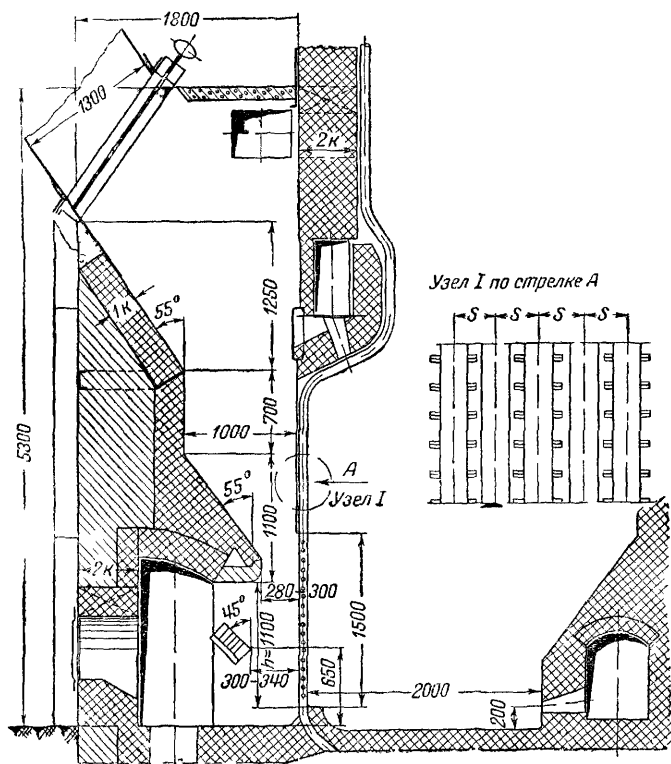


Рис. 43

При рассмотрении вопросов сжигания топлива на простой колосниковой решетке было выяснено, что количество сжигаемого топлива зависит от того, сколько воздуха будет проведено через слой топлива, причем толщина слоя остается неизменной. Однако с повышением форсировки зеркала горения начинает резко возрастать составляющая общей потери тепла от механического недожога — потеря от уноса. Одновременно с этим при высоких форсировках и неоднородном фракционном составе топлива горение получается неравномерным по площади, в нем появляются отдельные кратеры, в которые и направляется по линии наимень-

шего сопротивления большая часть воздуха, отчего вынос мелочи еще более усиливается. Обычно при слоевом сжигании кускового топлива, исключая дрова,  $\frac{Q}{R}$  не превышает 2 000 тыс. ккал/м<sup>2</sup> час (см. табл. 25).

С целью увеличения паропроизводительности крупных котельных агрегатов центральных теплосиловых станций канд. техн. наук В. В. Померанцев предложил оригинальную топку скоростного горения, позволяющую довести тепловое напряжение зеркала горения до 10 000 тыс. ккал/м<sup>2</sup> час и более.

Идея топки заключается в том, что слой топлива зажимается с двух сторон (рис. 42 и 43): слева — ступенчатой колосниковой решеткой обычного типа и справа — трубами, экранирующими топку. К трубам приварены шипы, между которыми образуются сводики из топлива, предохраняющие от выноса мелочи из слоя.

Топливо, направляясь сверху вниз, подсушивается и газифицируется в той части топки, где нет отверстий между трубами экрана; продукты газификации специальным эжектором могут отсасываться из верхней части топочной горловины и направляться в топку или на производственные нужды. При сжигании влажной древесной щепы отсасываемые газы выбрасываются наружу (рис. 42), так как состоят главным образом из водяных паров.

Горение топлива протекает в средней части топки при значении  $\frac{Q}{R}$  порядка, уже указанного. В площадь зеркала включаются и загораживающие его трубы. Нижняя часть топки предназначена для собирания систематически удаляемой золы.

Топка системы В. В. Померанцева по проекту ЦКТИ пока опробирована в эксплуатации при сжигании древесной рубленой щепы (рис. 42). При высоких форсировках слой топлива остается устойчивым и унос незначительным. В настоящее время ведутся работы по использованию этого типа топки и для других топлив.

### § 43. ТОПКИ ДЛЯ ТОРФА

**Колосниковые решетки с ручным обслуживанием.** Наиболее простой и дешевой топкой, не требующей подъема топлива на верхний этаж, так же как и для дров, является колосниковая решетка.

Однако при торфе все недостатки примитивной колосниковой решетки сказываются еще резче.

Зола торфа шлакуется, возрастает газовое сопротивление слоя и приходится держать над слоем повышенное разрежение. Торф — топливо малотеплоплотное, для его загрузки требуется часто открывать топочную дверку, что при наличии повышенных разрежений будет сильно охлаждать топку, увеличивая потерю с отходящими газами. Влажность торфа по большей части выше, чем у

дров, поэтому особенно желательно вести сжигание торфа в шахтных топках, где можно уменьшить избыток воздуха, поднимая тем температуру горения, а также использовать ценные качества шахтной топки, хорошо подсушивающей сырое топливо и облегчающей труд кочегара.

Колосниковыми решетками аналогично с установками, работающими на дровах, обыкновенно оборудуются торфяные котельные при кратковременном суточном потреблении пара или при незначительном количестве работающих котлов (1—2) и при переменной нагрузке, когда бывает трудно регулировать работу шахты, обладающей большой тепловой инерцией.

При сжигании многозольного торфа ( $A^c = 20\%$ ) с легкоплавкой золой приходится отказываться от шахтных топок и переходить на колосниковую решетку с вентиляторным дутьем, так как имеется риск зашлакования горловины топки с нарушением движения торфа по шахте.

Схема колосниковой решетки для сжигания торфа в основном не отличается от уже рассмотренной (рис. 30) дровяной топки. По фронту располагаются три дверки: одна загрузочная, другая на уровне колосников для чистки шлака и, наконец, дверка поддувала. По ширине одним комплектом дверок нормально обслуживается расстояние от 1,0 и до 1,3 м. Колосники брусчатые, но прозоры делают 10—15 мм, а при очень мелком торфе прозоры уменьшают до 5—10 мм.

Толщина слоя сжигаемого торфа меньше, чем у дров; расстояние от кромки загрузочной дверки до полотна колосниковой решетки (размер  $c$ ) принимается  $0,8 \div 0,5$  м. В крайнем случае расстояние  $c$  сокращается до 0,25 м; тогда чистка шлака производится через загрузочную дверку и средняя дверка исключается.

При влажности торфа более 35% топку перекрывают сводами. В остальном схема повторяет дровяную. Необходимо в конце факела перед подходом топочных газов к поверхности нагрева котла устанавливать гляделку, через которую кочегар мог бы наблюдать за размером и цветом факела. Другая гляделка устраивается непосредственно на загрузочной дверке, это, конечно, должно относиться и к дровяным топкам.

Нормальным тепловым напряжением зеркала горения при влажности торфа не более 35% может быть принята величина  $\frac{Q}{R} = 1\,000$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час.

При таких форсировках и правильном обслуживании можно добиться получения избытка воздуха в топке  $\alpha_t = 1,5$  при  $q_3$ , не превышающем 3,0%. Торф — топливо с большим выходом летучих, поэтому потери от механического недожога даже в этой примитивной топке обыкновенно не выше 3—5%. Тепловое напряже-

ние объема топочного пространства обычно  $\frac{Q}{V} = 300$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час. Газовое сопротивление слоя при торфе непостоянно и увеличивается по мере накопления на решетке шлака; в среднем можно принимать

$$\Delta S_T = 4 \left( \frac{Q}{R} \right)^2 \left( \frac{12}{RO_{2(r)}} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (161)$$

В случаях необходимости сжигания торфа с большой влажностью следует рекомендовать устройство горячего дутья под решетку.

**Выносная топка с простой колосниковой решеткой и ручным обслуживанием.** При сжигании торфа под жаротрубными котлами проще всего, конечно, располагать решетку внутри жаровой трубы, но ограниченные размеры зеркала горения не позволяют получить значительных форсировок и котельная поверхность нагрева используется недостаточно. Если во внешних топках нормальной длиной решетки при обслуживании ее вручную принимается размер 2,0 м, то при расположении решетки внутри жаровой трубы эта величина сокращается до 1,8 м и только как предел доходит иногда до 2,0 м. Кроме того, при влажном торфе в целях уменьшения прямой отдачи жаровую трубу в пределах топки приходится футеровать кирпичом, что еще уменьшает размеры зеркала горения. Не удастся также из-за тесноты расположения развить надлежащую толщину слоя топлива. Поэтому при желании получить хорошее сжигание торфа и достаточно высокий съем тепла с котла приходится переходить к выносной топке, устанавливая шахтную топку, или при отсутствии возможности поднять торф на загрузочный этаж — останавливаться на выносной топке с простой решеткой по схеме рис. 44.

Размеры зеркала горения у колосниковой решетки, вынесенной за пределы жаровой трубы, могут быть сильно увеличены. На рис. 44 указано предельное развитие зеркала горения, когда топки смежных котлов непосредственно примыкают друг к другу, имея общую стенку *b*.

Выносная топка, как уже указывалось ранее, затрудняет доступ к арматуре котла, поэтому желательно, если это позволяет сделать расположение на котле штуцеров для водомерной колонки, вынести колонку с водомерными стеклами на фронт топки, соединяя трехдюймовыми трубами колонку со штуцерами, как указано на рис. 44. При комбинации выносной топки с жаротрубным котлом прямая отдача уменьшается. Вследствие этого не следует чрезмерно развивать размер *a* от поверхности колосниковой решетки до горловины, доведя его до минимума, обусловливаемого возможностью размещения слоя топлива, устраняя случай-

ное забрасывание топлива в горловину. В противном случае будет сильно нагреваться обмуровка топки, теплопередача в котле пойдет главным образом путем непосредственного соприкосновения газов, а не излучения топочного факела, что вызовет снижение паропроизводительности котла и уменьшение к. п. д. за счет увеличенной потери с отходящими газами.

При определении теплового напряжения топочного пространства к последнему надо относить не только топочную камеру, но и жаровую трубу, считая ее за экранированную часть топки.

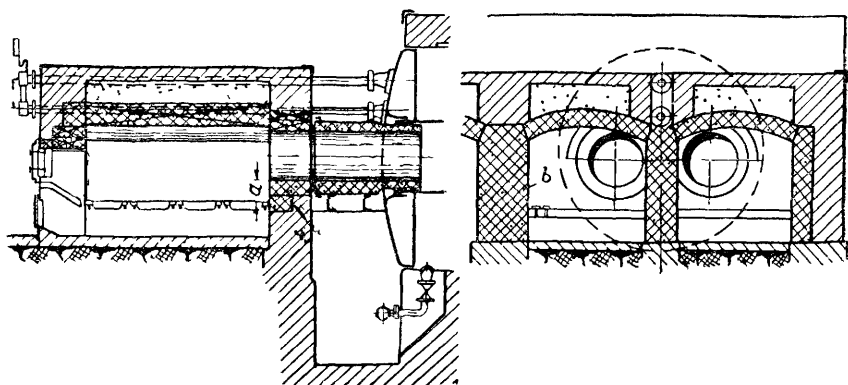


Рис. 44

**Шахтные топки.** Для сжигания кускового торфа применяются шахтные топки с наклонным зеркалом горения. На рис. 45 приведен чертеж такой топки. В отличие от дров торф имеет менее устойчивую влажность, и даже в течение суток она может меняться в широких пределах.

Поэтому в торфяной топке часто устанавливается шибер, регулирующий толщину слоя топлива. К сожалению, этот шибер приходится делать довольно сложным, так как он работает в тяжелых температурных условиях. Наиболее долговечным следует признать чугунный шибер, защищенный со стороны топочного пространства шамотом. Шибер (рис. 45) передвигается в вертикальной плоскости при помощи червячной передачи, монтируемой непосредственно на загрузочной коробке. В шахтных топках для дров регулирующих заслонок не ставят, так как они повреждаются дровами при загрузке.

Наклонные колосники располагаются в среднем под углом  $45^\circ$  к горизонтальной плоскости, причем для лучшего продвижения торфа верхний колосник ставится под углом  $50^\circ$ , а нижний —  $40^\circ$ . Торф при горении шлакуется, поэтому для оживления горения требуется периодически прорезать шлак, проводя резак через про-

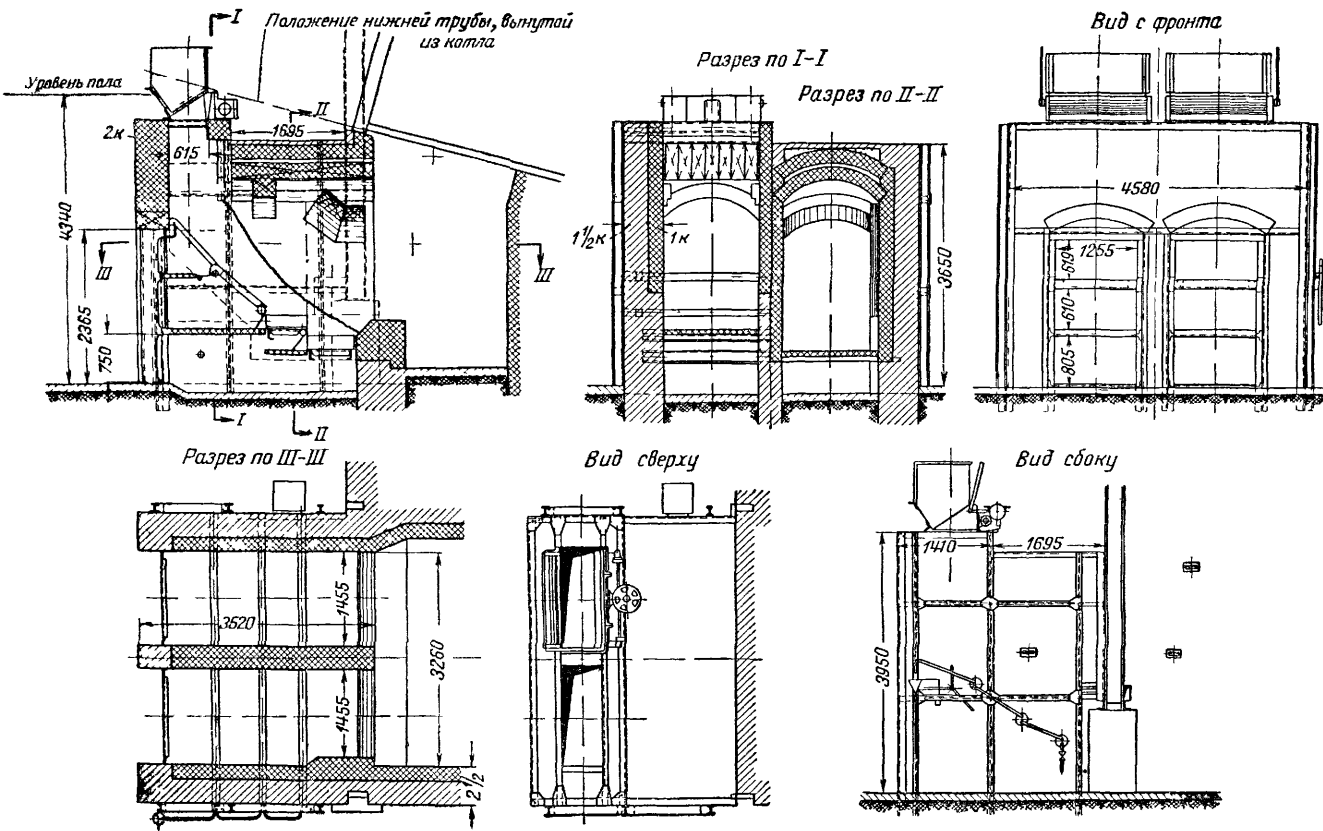


Рис. 45



зоры колосников. Вследствие этого плотно колосниковой решетки выполняется или из брусчатых колосников, или же из плит, но с длинными щелями, допускающими возможность проведения через них резака в глубь слоя торфа. Прозоры с целью уменьшения провала делают в наклонных колосниках размером 10 мм для верхних колосников и 15 мм — для нижних.

Топка разбита на три зоны.

При очень влажном торфе верхняя зона может быть почти полностью закрыта и воздух направлен в нижние зоны активного горения. Провал через прозоры колосников в верхней зоне передается на среднюю зону путем периодического открывания особой заслонки и оттуда уже выгребается в золовую вагонетку.

Чтобы облегчить очистку шлака с горизонтальных колосников, которая производится не реже чем через час, эти колосники располагают в два ряда. Накопившийся шлак счищают с нижних колосников, затем, отгребая крупные шлаковые пластины с верхних горизонтальных колосников, остальную массу лежащих на них шлака и топлива кочегар сдвигает в направлении от себя на нижние колосники, где торф постепенно, до следующей чистки, выорает и остается только шлак. Подобное расположение горизонтальных колосников, облегчая чистку шлака, позволяет одновременно удлинить зеркало горения, доводя его до 2,7 м. Горизонтальные колосники делают брусчатыми с прозорами 15 мм.

Для очистки шлака с горизонтальных колосников щели между ними и наклонными колосниками выполняют значительно более высокими, чем при дровах, поэтому требуется защищать от обгорания концы вышерасположенных колосников. Размещая, как указано на рисунке, три трубы диаметром по 100 мм, опирая на них концы колосников и пропуская последовательно, начиная с нижней, через все трубы воду, можно предотвратить коробление и перегорание колосников.

Вода обыкновенно пускается прямо из водопровода, количество ее регулируется вентилем, поставленным перед нижней трубой; последовательно пройдя через нижнюю, среднюю и верхнюю трубы, вода свободно через воронку сливается в отводящую трубу. Такая схема позволяет кочегару всегда контролировать прохождение воды по трубам и хотя бы приблизительно измерять ее температуру, не допуская нагревания выше 50°. При более высоких температурах воды в этих трубах возможно образование накипи.

Установкой вентиля перед нижней трубой, а не на выходе, гарантируется невозможность получения в системе труб пара под давлением. Воды приходится пропускать довольно много, так как в среднем, считая по внешней поверхности труб, находящихся в пределах топки, через каждый квадратный метр передается тепла около 40 000 ккал/час. Подогретую таким путем воду часто не удается использовать для полезных целей, так как в отопительных

установках температура воды в сборном питательном баке бывает довольно высокая, добавлять же свежей воды (пополняя возвращаемый обратно конденсат) приходится сравнительно немного, и этот расход по большей части значительно меньше расхода на охлаждение. Если тепло воды, идущей на охлаждение труб, балок, вовсе не используется, то это дает снижение к. п. д. на 1—1,5%.

В разделе «Топливо» говорилось о значительных колебаниях температуры плавления золы в торфяном топливе. Часто попадают болота с настолько легкоплавкой золой, что на нижних колосниках шахтной топки шлак лежит в виде тестообразной массы, трудно поддающейся выемке. Эта масса шлака налипает на стенки обмуровки, способствуя их быстрому разрушению. Чтобы защитить кладку от подобного налипания на нее шлака, испытано довольно много разных форм и систем чугунных литых коробок, охлаждаемых водой. Не говоря уже о том, что такие коробки увеличивают потерю на охлаждающую воду и усложняют обслуживание, они оказывались малонадежными в работе и давали трещины. При сжигании торфа, содержащего большое количество влаги, шлак гранулируется и надобности в защитных коробках не встречается; учитывая это, к помощи охлаждаемых водой панелей следует прибегать лишь в крайних случаях при сухом торфе, к тому же обладающем легкоплавкой золой. В отношении обмуровки, каркаса, допускаемой ширины топки, высоты горловины и пр. остаются в силе указания, данные для дровяных шахтных топок. Следует только добавить, что для обеспечения возможности обслуживания шахты с фронта необходимо оставлять расстояние, считая от стены здания до фронта топки, обеспечивающее возможность свободного действия резаком. По правилам Котлонадзора это расстояние при любых топливах и топках должно быть не менее 3 м.

В котельных сравнительно мелкого масштаба иногда встречаются затруднения в подаче торфа на загрузочный уровень. В таких случаях можно рекомендовать шахту по рис. 46 — с загрузкой торфа сбоку, что позволяет, используя профиль местности, обходиться без применения подъемных устройств. Топка (рис. 46) имеет незначительную высоту горловины, в этом ее недостаток — ухудшается подсушка и приходится чаще загружать торф.

Тепловая работа шахтной торфяной топки по типу, изображенному на рис. 45, при правильно выбранной толщине слоя топлива и внимательном обслуживании характеризуется следующими дан-

ными:  $\alpha_T = 1,3$ ;  $\frac{Q}{R} = 1\,000$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час для  $W^p$  до 45%,  
 $\frac{Q}{V} = 300$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час, при этом  $\Delta S_T = 4$  мм;  $q_3 \approx 0,5\%$ ,  
и  $q_4 = 3,0 \div 5,0\%$ .

Изменение газового сопротивления в зависимости от форсировок и избытков воздуха подсчитывается из выражения

$$\Delta S_T = 4 \left( \frac{Q}{R} \right)^2 \left( \frac{15,0}{RO_2(\tau)} \right)^2 \text{ мм вод. ст.} \quad (162)$$

При рассмотрении дровяных топок отмечалось, что в шахтных топках с наклонным зеркалом горения сжигание торфа происходит хорошо при влажности его, не превышающей  $W^p = 45\%$ . При уве-

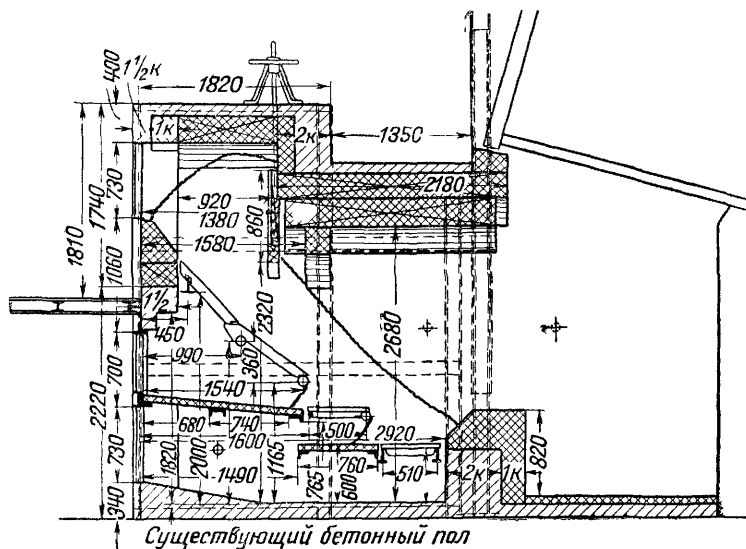


Рис. 46

личении влажности сверх 45% граница начала горения опускается вниз, считая от места выхода топлива из горловины шахты. Падают мощность топки и съем тепла с котла. Для торфа нельзя использовать вертикальную шахту, его слой будет рассыпаться под углом естественного откоса, и надо искать другую схему. Можно использовать подсушивающие свойства ступенчатой решетки, заменяя в шахтной топке наклонные чугунные колосники рядом сводов, по которым будет сползать основная масса торфа. Часть торфа будет задерживаться между сводами, образуя подсушивающие очаги. В такой топке (рис. 47) уже может сжигаться торф с влажностью порядка 50%. Для очень влажного торфа можно рекомендовать введение вторичного воздуха помимо слоя топлива. В таком случае транзитным воздухом не будет пере-



охлаждаться слой сырого торфа и улучшатся условия горения. Устраивая ввод вторичного воздуха  $a$  (рис. 47) в топочное пространство, необходимо обеспечить его регулирование. Давать вторичный воздух следует только в таком количестве, чтобы ликвидировать неполноту сгорания, получающуюся даже при правильно выбранной начальной толщине слоя топлива. К сожалению, на практике очень часто приходится наблюдать, что отверстия для ввода вторичного воздуха всегда бывают открыты полностью и вследствие этого приносят больше вреда, чем пользы.

**Совместное сжигание кускового и фрезерного торфа.** При рассмотрении методов добычи торфа указывалось на преимущество фрезерного торфа, стоимость добычи которого обходится примерно в 2 раза дешевле, чем кускового. Из общего количества вырабатываемого торфа процент фрезерного с каждым годом повышается.

Фрезерный торф, являющийся в значительной своей массе торфяной крошкой, как бы самым способом добычи предназначен для сжигания не в слое, а в камерной топке. Такими топками оборудуются мощные котлы, где затраты на должное развитие объема топочного пространства и необходимое оборудование для транспортирования и подготовки к сжиганию торфяной крошки вполне уместны и окупаются получаемыми высокими к. п. д. при одновременно больших количествах годового потребления торфа. Подробнее об этом будет сказано при рассмотрении условий сжигания топлива в камерных топках.

В мелких отопительных установках с относительно малым числом часов годичной работы и незначительным валовым потреблением топлива приходится идти на более примитивные устройства. Учитывая это, государственные топливопланирующие организации назначают фрезерный торф для сжигания на подобных установках в смеси с кусковым торфом.

Фрезерный торф при сжигании его в смеси с кусковым по большей части будет иметь влажность, превышающую влажность кускового и доходящую до 55% и более, поэтому особое внимание должно быть обращено на то, чтобы при забрасывании в топку фрезерного торфа он попадал на накалинные участки слоя горящего кускового торфа.

Эти положения осуществляются, когда кусковой торф сжигают в шахтных топках с равномерной подсыпкой фрезерной крошки на зоны активного горения слоя.

Газовое сопротивление слоя топки при примешивании фрезерного торфа значительно увеличивается, и в шахтную топку приходится подводить искусственное дутье, желательнее горячее. На рис. 48 приводится принципиальная схема подобной топки. Практически наибольшие затруднения обнаружались при разрешении вопросов регулярной подачи в топку торфяной крошки. Прихо-

дится устраивать довольно сложные приспособления по отсортировке крупных кусков фрезерного торфа и дальнейшей передачи мелочи к особому порционеру-питателю, регулирующему подачу крошки непосредственно на слой кускового торфа. До сих пор еще не найдена конструкция подобных устройств, достаточно надежная и простая, и пока эта часть является слабым местом описываемой схемы.

Следует отметить интересный опыт Ивановского отделения Оргэнерго, которое рекомендует сжигать фрезерный торф в смеси

с кусковым в шахтных топках со ступенчатыми наклонными колосниками или по типу, изображенному на рис. 47. Характерно, что такое простое решение вопроса дало хорошие результаты в Ивановском районе, где торф все время являлся основным видом топлива и с практикой его сжигания хорошо освоились. Не устраивая сложных сортировок и питателей, конечно, гораздо труднее получить хорошие результаты сжигания топлива, и если все-таки они

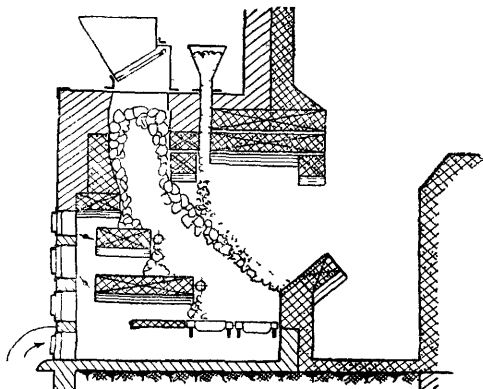


Рис. 48

достигаются, то только за счет умелого и внимательного отношения со стороны кочегаров и технического персонала предприятий. Если, например, смесь будет неравномерная, то фрезерный торф, осаждаясь вниз слоя, будет глушить топку, далее большие массы крошки, подсохнув в моменты оживления горения, например, при прорезке шлака, могут дать бурное возгорание с вылетом факела в поддувало и на фронт топки и причинить ожоги персоналу.

Во всяком случае опыт совместного сжигания кускового и фрезерного торфа с суммарным добавлением последнего в размере до 30% позволяет прийти к заключению, что можно добиться форсировки зеркала горения в среднем такого же порядка, как и для кускового торфа, без снижения к. п. д. установок. Тепловое напряжение объема топочного пространства обычно принимается около 250 тыс. ккал/м<sup>3</sup> час, так как в объеме топочного пространства будут сгорать частицы не только газа, но и твердого топлива, требующие для горения большого количества времени.

**Слоевое сжигание фрезерного торфа.** Камерные топки требуют значительной высоты, мало пригодны для мелких отопитель-

но-производственных установок, и поэтому для последних стремятся создать топку для слоевого сжигания фрезерного торфа. К наиболее удачным конструкциям следует отнести топку, предложенную инж. П. И. Храниловым.

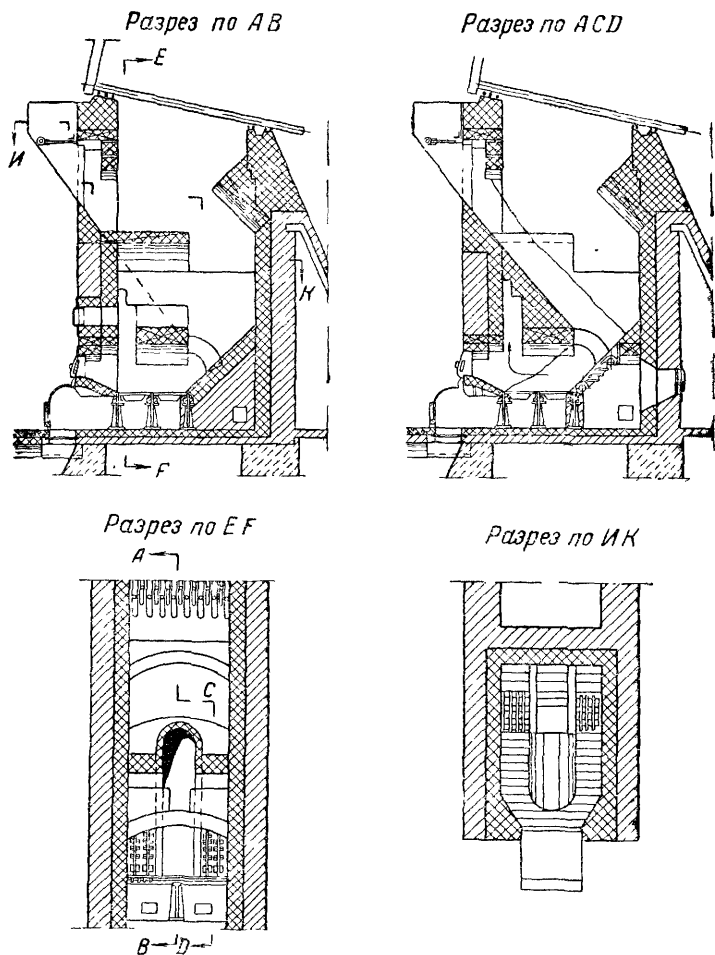


Рис. 49

В топке Хранилова (рис. 49) топливо, прежде чем поступить в шахтную топку, предварительно подсушивается на особом сильно разогретом кирпичном лотке, снижая свою влажность до 30—40%, что обеспечивает нормальные условия его горения в двух боковых шахтах. Следует обратить внимание, что указанные шахтные топки почти лишены прямой отдачи, поэтому при сжигании топлива

с пониженной влажностью могут получаться осложнения при очистке шлака, который из-за высоких температур слоя при легкоплавкой золе не будет гранулироваться, а приобретет тестообразную структуру, чем осложнится обслуживание топки, и без того достаточно трудоемкое. Подобного рода топка могла бы быть приспособлена для сжигания также городского мусора.

**Механизация очистки шлака в шахтных топках.** При работе на дровах шахтная топка, улучшая по сравнению с простой решеткой процесс сгорания, в то же время значительно облегчает труд кочегара. Последнее достоинство нельзя в полной мере распространить на торфяные шахты; загрузка топлива там происходит так же, как и при дровах, но добавляется очень трудная и тяжелая операция — периодическая чистка шлака, вызывающая, не говоря уже о тяжелых условиях труда, увеличение количества обслуживающего персонала. Дополнительно к кочегарам для торфа и других шлакующих топлив при ручной чистке добавляются зольщики. Каждый зольщик должен выгружать от 300 до 500 кг шлаков и золы в час. Естественно, что на необходимость рационализации этой части топочного устройства давно уже обращали внимание. Здесь, опять-таки учитывая незначительность размеров отопительных котельных, нужно искать простое и надежное решение.

Проф. Кирш предлагал механизировать отвод шлака из шахтной торфяной топки при помощи цепной решетки.

В нижней части топки располагается короткая и примитивная цепная решетка, состоящая из соединенных друг с другом колосников, составляющих неразрывную цепь, перекинутую через звездочки (наподобие цепной передачи). Цепь электродвигателем приводится в медленное движение (несколько метров в час), удаляя таким образом в зольниковый бункер образовавшийся шлак. На рис. 50 показано конструктивное оформление этой схемы. Это еще не механическая топка в полном смысле этого слова, но все же операции по обслуживанию топки значительно облегчаются.

Расход электроэнергии на приведение в движение такой решетки требуется в незначительном количестве. Электродвигатель устанавливается мощностью около 1,5 квт, а соединение его с ве-

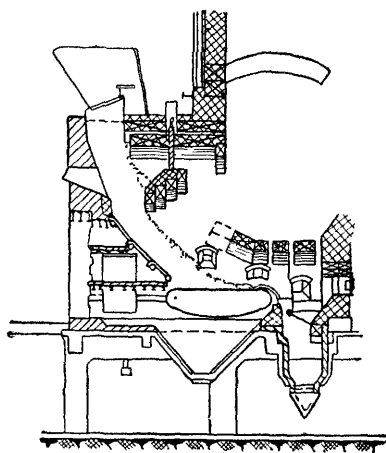


Рис. 50



душим валом решетки осуществляется через редуктор, уменьшающий число оборотов. Воздух вдувается во все зоны топки. Цель охлаждается воздухом нижней зоны.

#### § 44. ПРОСТЫЕ КОЛОСНИКОВЫЕ РЕШЕТКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ АНТРАЦИТА И ВЫСОКОСОРТНЫХ УГЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ ВЫХОДОМ ЛЕТУЧИХ

**Сжигание антрацита.** Впервые большие экспериментальные работы по изучению сжигания антрацита на колосниковой решетке с ручным обслуживанием были проведены проф. К. В. Киршем в котельной лаборатории Московского высшего технического училища в период 1911—1914 гг. С полной отчетливостью была выяснена картина горения антрацита в слое, в частности роль шлакового слоя, концентрированного ввода воздуха, правильно выбранной толщины слоя топлива.

Изложение этой главы базируется на классических работах указанной лаборатории, которые получили широкую известность и положили начало большим исследованиям по сжиганию топлива, ведущимся в многочисленных научно-исследовательских институтах.

При рассмотрении процесса сжигания топлива на колосниковой решетке с обслуживанием ее вручную обращалось внимание на своеобразные условия сжигания антрацита. Антрацит обладает ничтожным выходом летучих, и весь процесс сжигания практически заканчивается в слое. Транзитный воздух, охлаждающий слой при сжигании топлив с большим выходом летучих, в данном случае отсутствует.

Таким образом, антрацит горит в слое с минимальными избытками воздуха, при этом развиваются очень высокие температуры и при легкоплавкой золе шлак плотной массой заливает решетку, чрезмерно повышая ее газовое сопротивление. Такой шлак вызывает большие трудности при чистке топки.

Шлаковый слой составляет главнейшее сопротивление при прохождении через него воздуха. Это сопротивление растет по мере накопления шлака на решетке, причем суммарное сопротивление слоя перед новой чисткой, обычно производимой раз в смену, достигает иногда порядка 80 мм вод. ст. Поэтому, как правило, антрацит приходится сжигать с искусственным дутьем под пологно решетки, так как при этом преодолевается почти все сопротивление топки. Тяговым устройством поддерживается разрежение в топочном пространстве около 3 мм вод. ст. Небольшое разрежение в топке, не создавая больших присосов воздуха в моменты загрузок топлива, в то же время также предупреждает врывание горячих газов в котельную через загрузочные дверки. Регулирование тяги производится в

данном случае двумя заслонками: на дутьевой линии и за установкой перед тяговым прибором.

Графическое распределение размеров газового сопротивления решетки, слоев шлака и топлива приводится на рис. 51.

Только в небольших установках, например, в чугунных водогрейных или паровых котлах, антрацит иногда сжигается без дутья за счет естественной тяги, не превышающей в подобных котлах нескольких миллиметров водяного столба. Малое разрежение обуславливает и ничтожное тепловое напряжение зеркала горения, вследствие чего сильно увеличивается прямая отдача и в топке устанавливаются настолько невысокие температуры, что шлак получается в небольшом количестве, пористый и легко отстающий от чугунных колосников. Установкой дутья можно повысить  $\frac{Q}{R}$ , но в этом случае будет наблюдаться значительное ошлакование колосников.

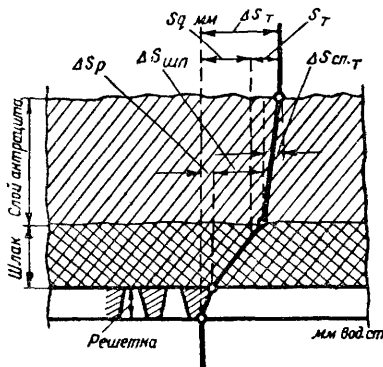
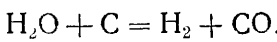


Рис. 51

Вдувание воздуха под колосниковую решетку обычно производится вентилятором. Значительно менее совершенный и расходующий почти в 10 раз больше тепловой энергии, чем при вентиляторе, это — метод эжектирования воздуха струей пара. К такому способу дутья приходится прибегать при отсутствии электроэнергии, а также в некоторые периоды работы топок с целью охлаждения колосниковой решетки и создания пористого шлака. Водяной пар, перегреваясь, отнимает тепло у решетки; кроме того, он при высоких температурах вступает в реакцию с углеродом по формуле



Реакция идет с поглощением тепла и охлаждает слой топлива. Температура колосников не остается постоянной в течение работы топки. При вентиляторном дутье она достигает максимальных значений, доходя до 700—750° при растопке, затем по мере накопления на решетке шлака последний начинает предохранять решетку от нагревания и она постепенно охлаждается.

На рис. 52 дается пример изменения температуры решетки в течение промежутка времени от чистки до чистки. Подъем температуры после того, как на решетке не осталось ни топлива, ни шлака, объясняется влиянием излучения накаленной обмуровки.

Паровое дутье для снижения температуры решетки желательно применять в период растопки, когда отсутствует шлаковый слой.

При сжигании антрацитов, обладающих особо легкоплавкой золой, вообще приходится работать на паровом дутье, иначе шлак, стекая вниз к решетке, не успевает застыть до момента соприкос-

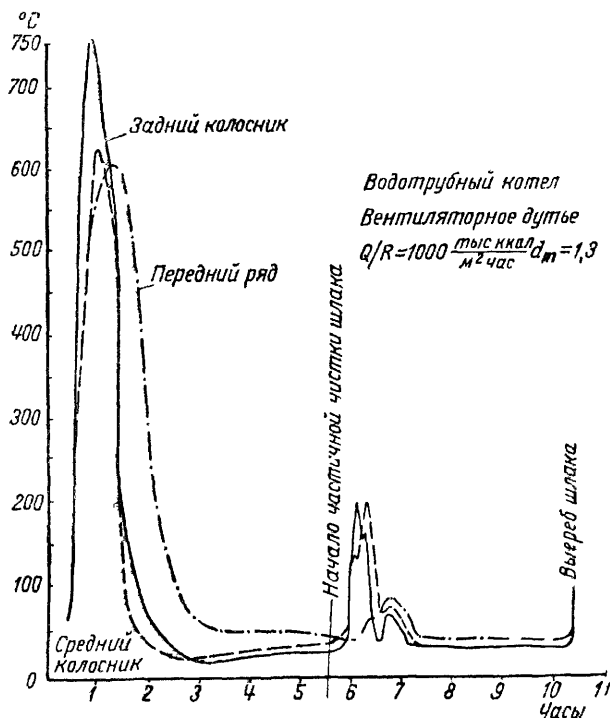


Рис. 52

новения с ней и тогда заливает плотной массой всю решетку. Воздушные струи под влиянием напора дутьевого вентилятора прорываются через слой из такого плотного шлака, но уже не распределяются им равномерно по зеркалу горения. Образуется кратерное горение с большими избытками воздуха, на соседних же с кратерами участках решетки горение идет плохо—с неполнотой. Поэтому желательно располагать обоими родами дутья, по возможности используя вентиляторное, и в случаях, только что описанных, переключаясь на паровое.

В котельных, оборудованных водогрейными котлами, пар отсутствует, и приходится ограничиваться только вентиляторным дутьем.

В периоды поступления в котельную антрацита с легкоплавкой золой приходится идти на понижение температуры слоя за счет уменьшения его толщины. Однако при этом приходится считаться с увеличением избытков воздуха и, следовательно, ухудшением к. п. д.

Для уменьшения температуры слоя топлива иногда применяют впрыскивание воды в воздушный поток, идущий под решетку, но это мало дает пользы, так как воздух, забираемый из котельной, обладает невысокими температурами и малой влагоемкостью.

Представляет большую опасность внезапная остановка работы топки в течение первых 0,5—1,5 часа после чистки шлака, когда еще не успел образоваться новый его слой. Это может получиться, например, при водогрейных котлах в случаях прекращения подачи тока и остановки дутьевых вентиляторов. Тогда необходимо открыть поддувальную дверку, а иногда и выгребать жар из топки; к последнему будет побуждать также и возможность закипания воды в котлах, почти не движущейся, из-за остановки циркуляционных насосов.

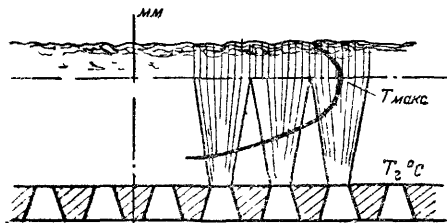


Рис. 53

При паровом теплоносителе в подобных случаях надо переключить топку на паровое дутье.

Вообще паровое дутье является надежным резервом на случай выхода из строя по тем или иным причинам вентиляторного дутья, что особенно важно в установках, не только работающих на нужды отопления, но и дающих тепло на производственные процессы.

Характерные особенности работы решетки при сжигании антрацита с развитием высоких температур в слое побуждают обращать особое внимание на форму колосников. Для сжигания дров или торфа имеют значение размеры прозоров между колосниками, а не форма колосников и взаимное расположение прозоров или щелей при плитчатых колосниках. Для сжигания антрацита плотно колосниковой решетки составляют из плит, причем круглые отверстия или щели должны быть расположены так, чтобы создался концентрированный ввод воздуха в слой. На рис. 53 показана схема подобного концентрированного подвода воздуха. Цель, преследуемая при этом, заключается в том, чтобы возможно дальше отнести пояс высоких температур от решетки, где будет пла-

виться шлак, который затем, стекая в направлении к решетке, успеет сгранулироваться, сделаться пористым и, хорошо распределяя воздух по зеркалу горения, не будет создавать одновременно слишком высоких сопротивлений. Конечно, отнесение зоны высоких температур уменьшит и температурный максимум кривой нагрева решетки.

На рис. 53 приводится также и график распределения температур по слою. Наивысшая температура получится в местах сопри-

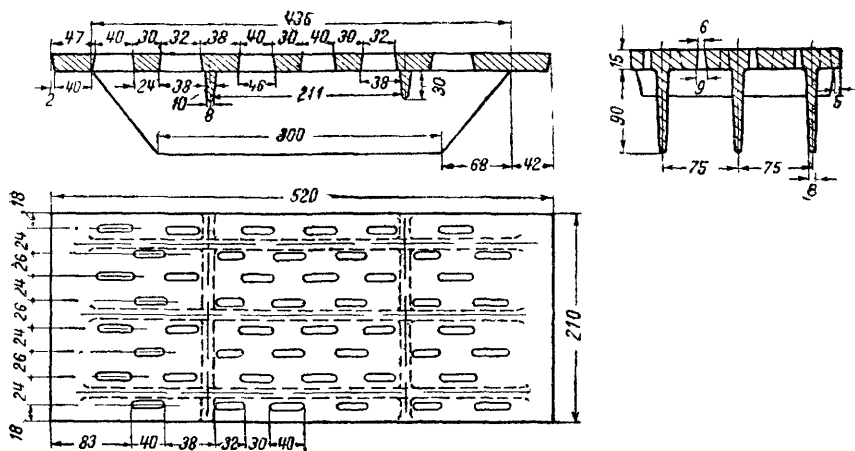


Рис. 54

косновения воздушных конусов, захвативших максимальный объем топлива. В других местах, ближе к решетке, конус охватывает только сравнительно небольшую часть топлива, которая будет гореть при повышенных избытках воздуха и, наоборот, сниженных температурах горения. Понижение температуры после максимума по мере приближения к поверхности слоя объясняется влиянием прямой отдачи топки. На рис. 54 дается чертеж колосниковой плитки с концентрированным вводом воздуха. Плитка чугунная литая с отверстиями, уширяющимися книзу. Такая форма уменьшает засоряемость отверстий шлаком, но все же рекомендуется раз в неделю остановить котел и просмотреть решетку, очищая те из отверстий, которые окажутся забитыми шлаком, так как в местах, где не будет идти воздух, решетка может перегореть.

Плитки снабжены ребрами, способствующими более интенсивному их охлаждению потоком воздуха и одновременно увеличивающими механическую прочность. Плитки опираются на балки, форма которых уже приводилась на рис. 32. Полотно решетки будет при нагревании расширяться, поэтому между плитками при

их укладке надо оставлять зазоры порядка 3—5 мм. Площадь живого сечения (отношение площади, через которую проходит воздух, к площади всего полотна решетки) у подобных решеток составляет 10—15%; у брусчатых колосников деревянных или торфяных топок доходит до 30%.

Длина колосниковой решетки из-за удобства ее обслуживания, главным образом при чистке шлака, не должна превышать 2,1 м при ширине на каждую загрузочную дверку 1,0 м нормально и до 1,3 м как максимум.

На рис. 55 приведен чертеж колосниковой решетки (по проекту инж. Б. И. Радошинского и А. А. Щенкова), изготавливаемой в соответствии с ГОСТ 3493-46. Топка нормально эксплуатируется на вентиляторном дутье, причем предусмотрен в случае надобности дополнительный выпуск пара, для чего на кронштейне *a*, против каждого диффузора, укрепляется сопло для выпуска пара и эжектирования воздуха. При работе на вентиляторном дутье диффузор перекрывается крышкой, укрепляемой особой трубой-державкой *б*, устанавливаемой между крышкой и соплом. На крышке, в месте присоединения трубы, имеется отверстие, через которое может пропускаться пар в периоды работы топки после ее чистки при отсутствии шлака.

Если требуется длительная работа на паровом дутье, например, при сжигании антрацита с легкоплавкой золой или при выключении электрического тока, аварии вентилятора, то крышка *в* и труба *б* снимаются, заслонка воздуховода закрывается, после чего через сопло пускается пар, нагнетающий путем эжекции воздух в поддувало.

Поддувало дутьевой решетки должно разделяться перегородками на зоны, что дает возможность при чистке шлака на одной из зон не останавливать работу остальных и тем сводить до минимума колебания в производительности котла (см. рис. 76 и 155).

Скорость воздуха в воздуховодах от вентилятора до топок принимается до 10 м/сек с таким расчетом, чтобы при наличии статического давления у вентилятора 100 мм вод. ст. обеспечить давление в поддувале до 80 мм (20 мм теряются на сопротивление в воздуховодах).

Шлак удаляется через загрузочную дверку. Расстояние от нижней кромки загрузочной дверки до колосниковых плит берется равным 200—250 мм. Такое расстояние устанавливается как некоторое среднее решение при следующих двух взаимно противоречащих требованиях: удобство чистки побуждает делать размер от кромки меньше, потребность же выдержать должный по высоте слой топлива (до 200 мм при необходимости в течение длительного промежутка времени одновременно копить шлак на решетке) заставляет углублять полотно решетки. Сравнительно редкая чистка шлака (через 4 часа и более) желательна по ряду соображений.

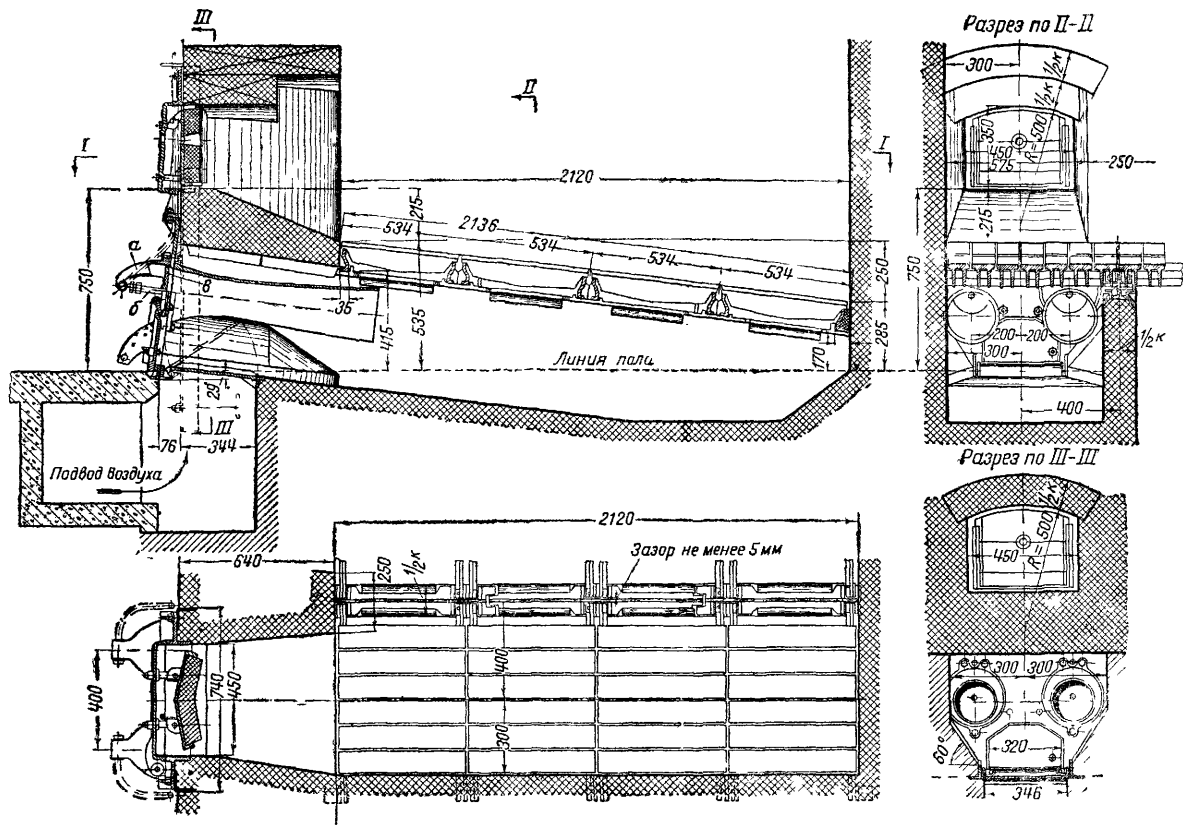


Рис. 55

Шлаковый слой, вызывая газовое сопротивление, одновременно и полезен, так как предохраняет решетку от нагревания и хорошо распределяет воздух по площади зеркала горения.

С целью облегчить чистку шлака решетку иногда устанавливают с небольшим наклоном (рис. 55).

Чугунные части топочного фронта должны крепиться к стальному каркасу, который в свою очередь связывают с общим каркасом котла. Такое крепление исключает возможность расшатывания в работе рамок топочных дверок и облегчает монтаж, предшествующий обмуровочным работам.

Если в котельной устанавливается несколько крупных котлов, например 3—4 котла по  $150 \text{ м}^2$ , то чистку шлака не следует производить на пол котельной, так как это создает тяжелые, антисанитарные условия для обслуживающего персонала. В этом случае котельная должна иметь золовой этаж, куда и направляют шлак и золу. Чистка шлака производится периодически. В золовой бункер шлак попадает через отверстия, образуемые в полотне колосниковой решетки, для чего часть колосниковых плит делают поворачивающимися вокруг горизонтальной оси на угол  $90^\circ$  по типу, изображенному на рис. 59. На рис. 155 приведена решетка для сжигания антрацита системы Теплотехнического института.

Сжигать антрацит под жаротрубными котлами можно только при расположении решеток внутри жаровых труб, используя преимущества экранированного топочного объема. Это повышает к. п. д., а также облегчает условия обслуживания, потому что в экранированной топке будут сильно снижены температуры слоя, а следовательно, гораздо легче получить пористый шлак. Исключение составит только антрацитовый штыб, если бы его пришлось сжигать под жаротрубными котлами. Большая зольность и унос потребуют тогда устройства выносной топки.

Малые размеры жаровых труб не позволяют должным образом углубить колосниковую решетку по отношению к кромке топочной дверки, и в конструкциях решеток под жаротрубными котлами этот размер не превышает  $75 \text{ мм}$ , хотя работать приходится из-за сниженных температур с более толстыми слоями, так как медленнее идут реакции образования  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ .

Нормальной длиной решетки, находящейся в жаровой трубе, считается размер  $1,8 \text{ м}$ . Диффузоры в этих топках с трудом размещаются в поддувале; в таких случаях чистку поддувала приходится производить при помощи особых ложек, которыми зачерпывают провал и выносят из поддувала. Лучше диффузоры выносить наружу, как, например, это выполнено на рис. 56. Тогда можно углубить полотно решетки хотя бы на  $160 \text{ мм}$  и получается свободный доступ в поддувало.



При желании перейти на паровое дутье в диффузор дают пар. Заслонкой *в* регулируется давление в поддувале. Доступ к паровому соплу осуществляется через крышку *б*.

На рис. 57 приведена антрацитовая топка Теплотехнического института для жаротрубного котла. Подколосниковые балки опираются на башмаки, которые крепят к особому корыту, размещаемому в поддувальной части топки. Более упрощенную конструк-

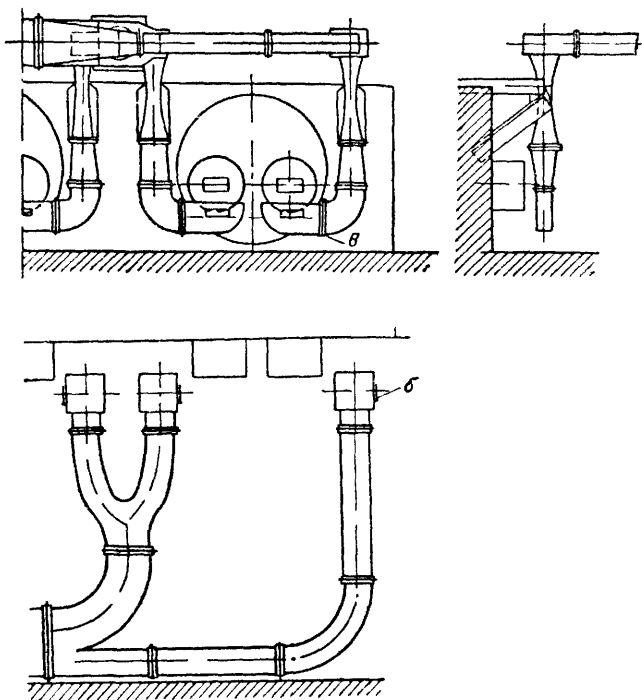


Рис. 56

цию предлагал завод «Мастежарт» (рис. 58), где подколосниковые балки опираются прямо на жаровую трубу. Окончательная выверка расположения балок производится при помощи распорных болтов *а*.

Колосниковая решетка для сжигания антрацита при расположении ее под водотрубными, и им подобными котлами, имеющими внешние топки, позволяет довести тепловое напряжение зеркала горения до  $\frac{Q}{R} = 1\,000$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час для сортированного антрацита. Для штыба во избежание повышенных потерь от

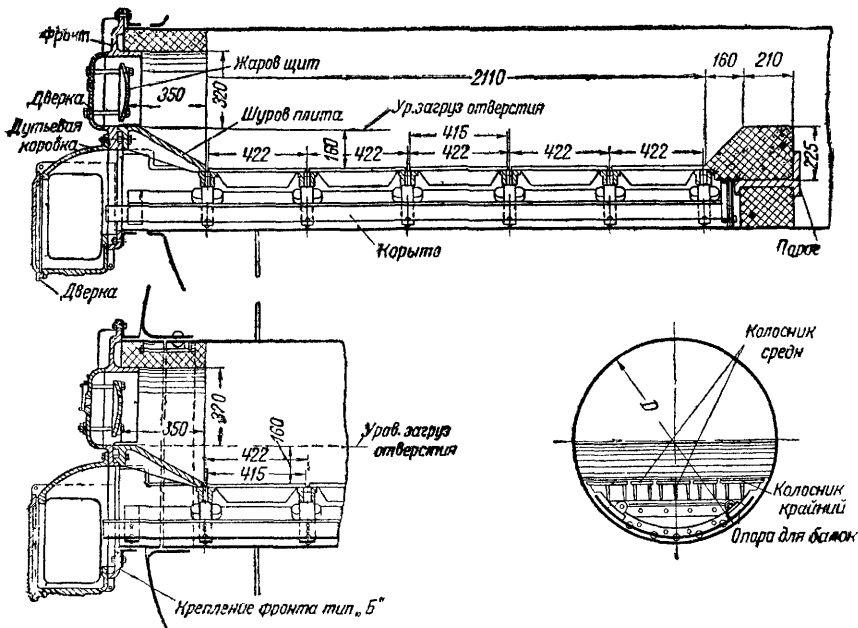


Рис. 57

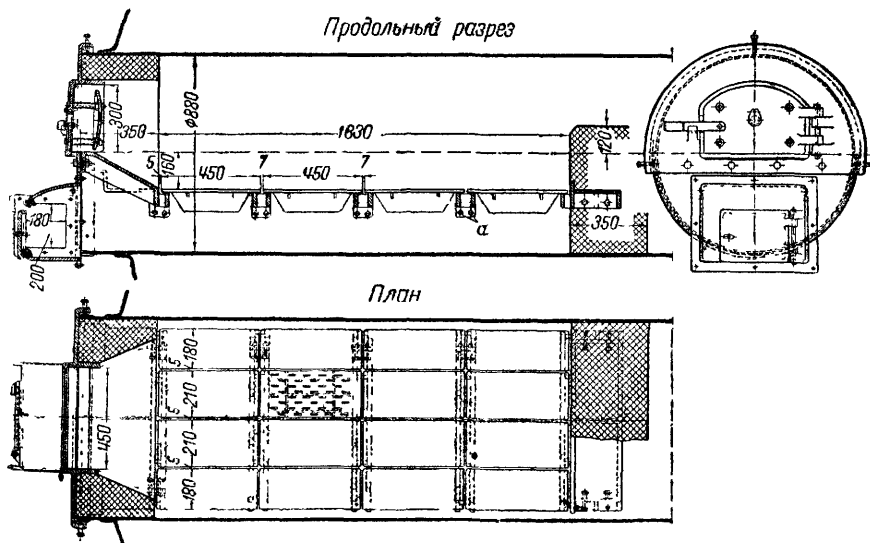


Рис 58

механического недожога тепловое напряжение принимается  $\frac{Q}{R} = 600$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час. Антрацит марки АРШ приходится сжигать, принимая средние цифры (см. табл. 25). Избыток воздуха в топке в зависимости главным образом от опытности кочегара можно получить  $\alpha_T = 1,3—1,4$  для сортированных антрацитов, причем одновременно почти полное сгорание достигается при тепловом напряжении объема топочного пространства  $\frac{Q}{V} = 300$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час.

Для штыбов  $\alpha_T$  увеличивается до 1,8 и  $\frac{Q}{V}$  снижается до 250 тыс. ккал/м<sup>3</sup> час.

Причины, побуждающие значительно увеличивать объем топочного пространства при сжигании антрацита — топлива, обладающего ничтожным выходом горючих летучих, уже описывались ранее и вытекают из свойств кокса (не спекается), а также характера летучих, в которых преобладает СО — газ, особенно трудно поддающийся сжиганию.

Для напряжений решетки и топочного пространства в пределах значений, только что указанных, и в условиях умелого обслуживания с забрасыванием новых порций не реже как через 7—8 мин. можно получить при правильно выбранной толщине слоя топлива потерю от химической неполноты горения не более  $q_3 = 2\%$  и суммарную потерю от механического недожога:  $q_4 = q_4^{пр} + q_4^{шл} + q_4^{ун} = 0,3 + 3,0 + 3,0 = 6,3\%$  — для сортированного антрацита и  $2,0 + 11,0 + 13,0 = 26,0\%$  — для штыба.

Для марки АРШ (антрацит рядовой со штыбом), в которой количество мелочи (штыб) составляет около 25%, потери от механического недожога могут быть охарактеризованы так:

$$q_4^{пр} + q_4^{шл} + q_4^{ун} = 0,3 + 4,7 + 4 = 9\%.$$

Конечно, потеря от механической неполноты сгорания, достигающая до 26,0%, чрезмерна, поэтому прибегать к сжиганию штыбов на примитивных решетках можно только временно. Антрацитовый штыб сжигается с высоким к. п. д. в установках для пылевидного сжигания на крупных районных станциях, туда он и должен направляться в первую очередь.

При расположении решетки внутри жаровых труб потеря от уноса по сравнению с потерями во внешних топках стационарных котлов повышается. В жаровой трубе отсутствует высокое топочное пространство, и мелкие частицы топлива выносятся за порог топки. Тепловое напряжение зеркала горения в подобных условиях надо снижать (см. примечание к табл. 25).

Полотно колосниковой решетки работает при сжигании антрацита в тяжелых температурных условиях, плитчатые колосники

часто перегорают и их приходится заменять новыми. Желая сделать решетку более долговечной и облегчить работу по съему шлака с полотна решетки, в разное время предлагались конструкции так называемых «холодных решеток» с полыми колосниками, охлаждаемыми водой. Однако такие топки распространения не получили.

Причина неуспеха предложений, в основе вполне целесообразных, заключается в том, что на охлаждение решетки приходится затрачивать воду, тепло которой затем не удастся полностью использовать. В сборном баке при паровом теплоносителе обыкновенно температура образного конденсата довольно высокая, а добавлять воды требуется небольшое количество. Нагревать в колосниках воду до температуры, превышающей 50°, рискованно из-за опасности образования в них накипи. Далее, для беспереывного охлаждения колосников вода, пройдя решетку, сливается через воронку. При этом она насыщается воздухом, и в случае использования ее, например, в системах отопления, может появиться разъедание металлических частей кислородом воздуха. Наконец, при перегорании или течи колосника холодной решетки его уже не удастся так просто (без остановки работы) заменить новым, как это делается в обычной топке.

Во время этих аварий вся решетка, а следовательно, и котел выбывают из строя до тех пор, пока не закончится ремонт.

Антрацит — топливо, трудно разгорающееся, поэтому топка растапливается дровами или заимствуется жар от топок соседних котлов.

**Сжигание длиннопламенных высокосортных углей.** Все элементы колосниковой решетки, предназначенной для сжигания антрацита, остаются без изменения и в случаях сжигания углей с более высоким выходом летучих.

Можно было бы отказаться от парового дутья, так как температура в слое вследствие повышенного выхода летучих будет ниже и риск пережигания колосников отпадает, однако оставить резервное паровое дутье на случай перерывов в подаче электрического тока весьма желательно. К колоснику здесь предъявляются иные требования. Первое из них — уменьшение провала через решетку. Второе — равномерное распределение воздуха по полотну решетки, так как уже не требуется концентрированного ввода воздуха и, кроме того, пламенные угли сжигаются более тонким слоем по сравнению с антрацитом, который не успеет выровнять концентрированного его подвода. Эти два требования до известной степени друг другу противоречат: при увеличении живого сечения решетки увеличится и провал. Поскольку большинство пламенных высокосортных углей имеет зольность примерно такую же, как и антрацит, форму колосников можно оставить без изме-

нения. Слой золы и шлака способствует равномерному распределению воздуха.

Таким образом, для пламенных углей топка остается той же.

Чтобы получить хорошие результаты горения, работая на высокосортных пламенных углях, требуется большой опыт у кочегара, так как необходима при этом равномерная загрузка всей поверхности решетки тонким слоем. Особенно трудно работать в периоды отсутствия шлака, который равномерно распределяет воздух.

При правильной эксплуатации топки для пламенных углей избыток воздуха в топке равен 1,4, а  $\frac{Q}{V} \approx 250$  тыс. ккал/м<sup>3</sup>час.

Потеря от химической неполноты сгорания при этих условиях не превышает 3—4%. Допустимое напряжение зеркала горения, а также величина потери от механического недожога приведены в табл. 25 и 26.

#### § 45. ПРОСТЫЕ КОЛОСНИКОВЫЕ РЕШЕТКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ МНОГОЗОЛЬНЫХ УГЛЕЙ

При рассмотрении условий работы решетки для сжигания антрацита подчеркивалась необходимость углубления решетки до 250 мм, считая от нее до кромки загрузочного отверстия. Тогда же отмечалось, что это решение вынужденное.

Чистка шлака с выгребанием его на фронт топки, позволяя обходиться без золowego этажа, затрудняет работу кочегаров. При чистке шлака пыль и сернистые газы разносятся по котельной, загрязняя ее и ухудшая условия работы обслуживающего персонала. Если с этим еще можно мириться в мелких котельных с числом загрузочных дверок до 6—8, считая на весь фронт котельной установки, и при сжигании высокосортных и малозольных углей, то при более крупных масштабах котельной даже и для таких углей следует прибегать к более совершенным способам шлакоудаления, облегчающим самую выгрузку шлака и улучшающим условия работы. В подобных случаях надо переходить на двухэтажную котельную, снабжаемую особым золовым этажом.

Топливо загружается тогда в топку с верхнего этажа, куда приходится его подавать тем или иным механизированным приспособлением: лебедкой, шахтным подъемником и т. п. Зола и шлаки при чистке спускаются в зольник, откуда под действием силы тяжести направляются в золовые вагонетки. Чтобы получить возможность удаления золы и шлаков в зольниковый бункер, часть колосниковых плит делается поворачивающимися около горизонтальной оси. Нормально при работе решетки такие плиты располагаются горизонтально и поворачиваются на угол 90° при чистке шлака.

Если к подобным конструкциям решеток приходится прибегать даже при сжигании малозольного высокосортного топлива, то для многозольных углей, каковым, например, является подмосковный уголь, такая конструкция решетки необходима вне зависимости от размеров котельной.

На рис. 59 приводится чертеж топки с опрокидывающимися колосниками для подмосковного угля, изготовляемой по ГОСТ 3493-46. Этот уголь является типичным для низкосортных и многозольных углей, поэтому топки с такими колосниковыми решетками можно применять и для другого аналогичного топлива.

С целью повышения температуры в слое топочное пространство перекрывается сводами, как указано на рис. 159. Своды дают двоякую пользу. Защищая накаливаемый слой топлива и частично его факел от непосредственного воздействия лучеиспусканием на относительно холодные стенки котла, они уменьшают прямую отдачу и поднимают температуру в слое. Кроме того, при сжигании мелких сортов угля со сводами будут ударяться мелкие кусочки топлива, вынесенные из слоя, и часть их осядет обратно или сгорит в процессе прохождения в топочном пространстве по удлиненным траекториям.

Во внутренних топках решетку для подмосковного угля располагать нельзя. При жаротрубных котлах не удастся скопить хоть сколько-нибудь значительное количество шлака, а главное, нельзя разместить решетку с достаточной площадью зеркала горения. Для уменьшения прямой отдачи приходится, кроме того, частично футеровать жаровые трубы, что еще более уменьшает зеркало горения.

При относительно тонком слое, с каким сжигаются угли, обладающие повышенным выходом летучих, слой золы и шлака по высоте для многозольных углей достигает больших значений. Оставляя интервал между чистками топок для подмосковного угля в 4—6 час., слой шлака будет достигать к концу периода работы 500—600 мм, и, таким образом, глубина расположения решетки по отношению к кромке загрузочной дверки должна быть не 250, а 500 мм.

Нормальная длина решетки в данном случае должна считаться 2,1 м, и только как предел, учитывая облегченные условия чистки шлака, не прикипающего к решетке, а также наличие поворотных колосников, можно доводить длину решетки до 2,6 м. Нормальную ширину решетки, приходящуюся на каждую топочную дверку, принимают в 1,0 м с возможностью увеличения этого размера до 1,3 м.

Само полотно решетки, как уже указывалось, по размерам плит, расположению отверстий и их размерам может не отличаться от антрацитово́й решетки.

Плиты могут быть со щелями или с круглыми отверстиями. В отличие от решеток, на которых сжигаются высокосортные угли,

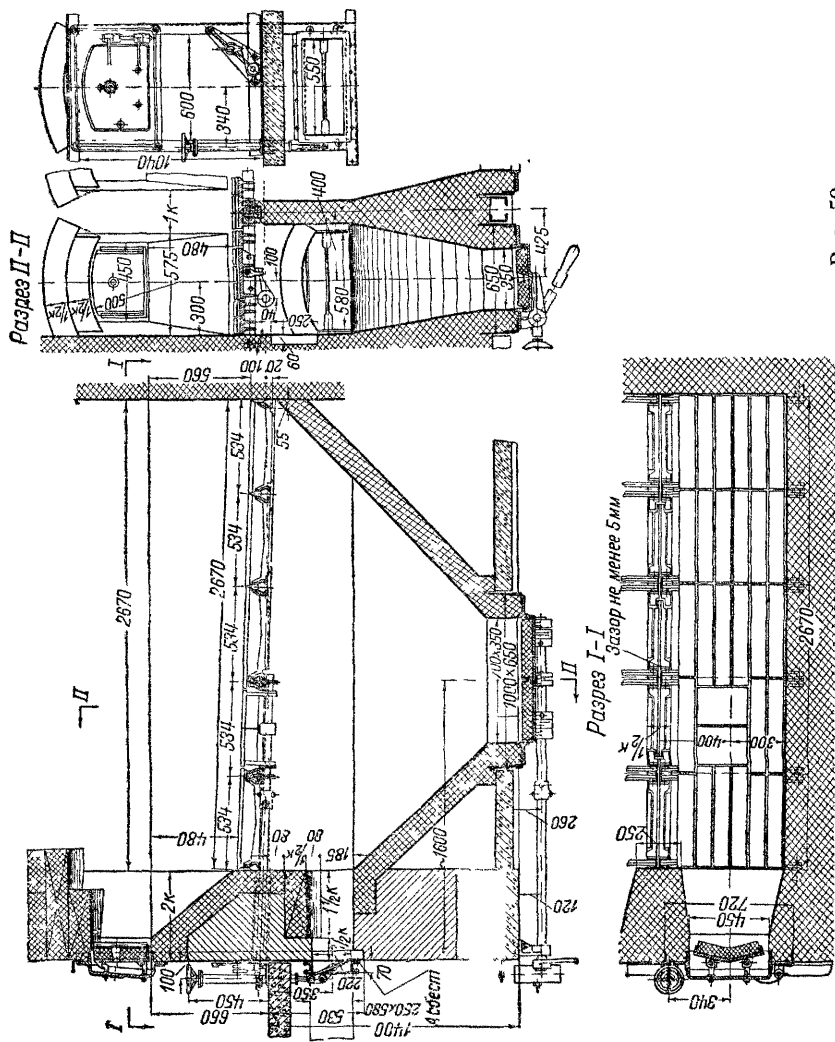


Рис. 59

В топках для подмосковного угля не следует применять парового дутья даже как запасного, так как значительная влажность подмосковного угля при одновременно большой зольности настолько снижает температуру горения, что еще более ее понижать совершенно нерационально.

Шлак многозольных углей из-за невысоких температур слоя получается пористым и легко отделяющимся от решетки при чистке, но при столь значительной толщине его, как 500 мм и более, естественно, газовое сопротивление шлака достигает значительных размеров. В зольнике необходимо обеспечить давление порядка 60—80 мм, что позволит удлинить интервалы между чистками. В топке на уровне загрузочной дверки следует держать разрежение не меньше 3 мм вод. ст., иначе может происходить выбрасывание пламени через загрузочную дверку.

Удаление золы и шлаков производится периодически. Перед чисткой уголь сгребают в сторону от поворотных плит, последние опрокидываются и шлак сбрасывают в зольный бункер и далее в вагонетку. Удаляемый шлак заливают водой. В мелких котельных, чтобы не осложнять оборудование дополнительными вентиляционными устройствами, вагонетку размещают под золовым бункером в изолированной камере с раздвижными дверями. Пыль и газы из камеры будут подсосаны тягой топки в газоходы котла. Привод к затвору зольника выводится в общее помещение. Таким образом, затвор можно открывать и закрывать, не входя в камеру, где находится вагонетка. Когда пыль осядет, вагонетка выкатывается наружу. Зольник аналогично с антрацитовыми решетками подразделяется на отдельные зоны, позволяющие производить чистку шлака по частям, не останавливая работы всей решетки. Рукоятку для поворачивания плитчатых колосников обыкновенно выводят через обмуровку сбоку топки и размещают таким образом, чтобы кочегар мог ею пользоваться с верхнего загрузочного уровня. В некоторых конструкциях привод для опрокидывания колосников выносят на фронт топки; это имеет преимущества при широких котлах или при обмуровке нескольких котлов в одном блоке.

В последнее время для сжигания многозольных углей получают большое распространение колосниковые решетки с покачивающимися колосниками. Покачивание обычно производится вручную, причем в поддувало проваливается нижняя часть шлаковой подушки и одновременно оживляется горение слоя, так как с кусочков кокса топлива сбивается окружающий их слой золы, затрудняющий проникание кислорода воздуха к горючей части кусочков. Решетки с покачивающимися колосниками (рис. 76) хорошо работают в условиях сжигания углей с повышенным выходом летучих, также торфа и горючих сланцев.



При сжигании антрацита во внешних топках отопительных котлов в слое развиваются настолько высокие температуры, что плавящаяся зола заливает решетку плотной коркой шлака, покачивать колосники не удается и шлак приходится чистить через загрузочную дверку.

Тепловое напряжение зеркала горения при сжигании подмосковного угля в топках с ручным обслуживанием можно доводить до 500 тыс. ккал/м<sup>2</sup>час и для топок, имеющих золотый этаж, — до 650 тыс. ккал/м<sup>2</sup>час. Тепловое напряжение топочного объема — 250 тыс. ккал/м<sup>3</sup>час.

При наличии таких напряжений  $q_3$  не превышает 2—4% при избытке воздуха в топке  $\nu_T = 1,5 \div 1,4$ , и потери от механического недожога — около 7% (см. табл. 25 и 26).

## Б. МЕХАНИЧЕСКИЕ И КАМЕРНЫЕ ТОПКИ

### § 46. МЕХАНИЧЕСКИЕ ТОПКИ

**Цепная решетка и ее общее описание.** По мере развития мощностей отдельных электростанций представляется существенно необходимым выполнять котельную установку наиболее компактной, занимающей минимальные объемы и предельно экономящей ценный высококачественный металл котлов высокого давления. Это достигается путем увеличения паросъема с 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрева котлов. Если в отопительных котельных, обслуживаемых ручными топками, напряжение поверхностей нагрева котла колеблется в пределах 25—30 кг/м<sup>2</sup> час нормального пара, то на районных электростанциях эти цифры даже при средних нагрузках достигают величины 50—70 кг/м<sup>2</sup> час и более. Температура газов за котлом в подобных условиях достигает больших значений — 400 ÷ 500°, поэтому за котлом, как правило, устанавливают экономайзеры и воздухоподогреватели.

Чтобы получить паросъем с котлов порядка 70 кг/м<sup>2</sup>час и более, необходимо соответственно развить мощность топки. Форсировка топки за счет увеличения  $\frac{Q}{R}$  за пределы, установленные практикой, скажется на уменьшении к. п. д. вследствие увеличения отдельных составляющих механического недожога и в первую очередь потери от уноса. Поднять форсировку топки можно главным образом за счет увеличения размеров зеркала горения. Ширина зеркала ограничена, так как этот размер совпадает с шириной котла, считая ее между стенками обмуровки. Можно, следовательно, увеличивать длину решетки. Длина колосниковой решетки с ручным обслуживанием не превышает 2—2,5 м, иначе кочегару было бы трудно забрасывать топливо и чистить шлак. В механических же топках размер в длину решетки доводится

до 7—8 м, т. е. можно утроить теплопроизводительность топки, соответственно подняв и паросъем с котла. Это является одним из достоинств механической топки. Сжигая утроенное количество топлива на определенной ширине котла по фронту, уже не представляется возможным вручную подавать топливо; то же относится и к способам удаления шлака. В такой топке механизмуется подача топлива в топку, далее механически оно перемещается по зеркалу и механически же удаляется шлак. На кочегара возлагается только обязанность корректирования работы: изменение толщины слоя, скоростей продвижения топлива, дутья и, наконец, исправление и выравнивание слоя путем периодической шуровки через боковые окна.

Одной из наиболее распространенных механических топок является цепная решетка, описание которой приводится ниже.

По идее цепная решетка является подобием ленточного транспортера, только лента состоит из колосников, связанных со-

бой в одну бесконечную цепь, перекинутую через две звездочки; из них передняя, выходящая на фронт котла, обычно является ведущей и присоединяется к электропроводу. Топливо, находясь сверху на решетке, медленно передвигается и при движении горит.

В процессе сгорания постепенно образуется шлак, который впоследствии сваливается в особый бункер по мере того, как полотно решетки переходит через звездочку в нижнюю часть.

На рис. 60 приводится схема топки, снабженной цепной решеткой для сжигания углей. Топливо при помощи тех или иных механических приспособлений подается в верхнюю часть котельного здания, откуда под действием силы тяжести опускается рукавами в загрузочные воронки топок и из них поступает на полотно цепной решетки. Воздух подводится снизу решетки отдельными зонами, это дает возможность регулировать его поступление на отдельные участки цепи (рис. 61).

По характеру сжигания топлива работа цепной решетки резко отличается от простой колосниковой.

Заброшенная на просую решетку порция топлива попадает на накалившиеся угли, в условия, благоприятствующие быстрому

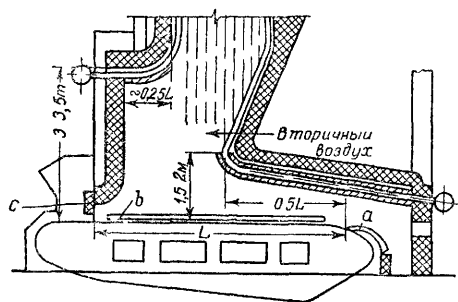


Рис. 60

двойному зажиганию — от слоя и топочного факела. Простая решетка равномерно покрывается слоем свежего топлива, и процесс горения, изменяясь во времени, остается идентичным для всех отдельных пунктов зеркала горения.

На цепную решетку новая порция топлива попадает из загрузочной горловины и может загореться только за счет одностороннего зажигания излучением топочного факела, а также вследствие непосредственного контакта с уже загоревшимися кусками топлива. Условия зажигания сверху вниз не относятся к числу эффективных, поэтому топливо, трудно загорающееся, например, антрацит, не сразу вступает в реакцию с кислородом.

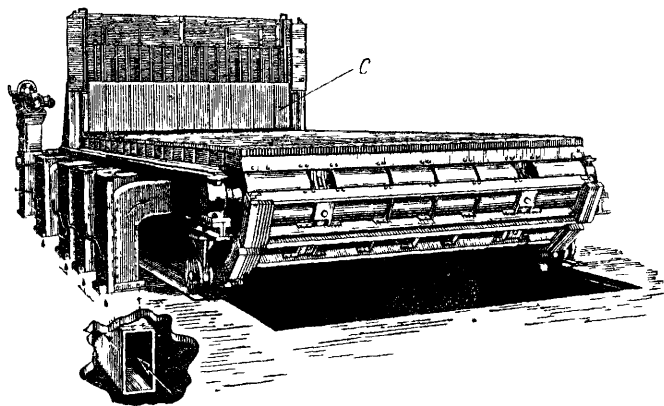


Рис. 61

Горение топлива, начиная с поверхности, постепенно проникает в толщу слоя. В первые зоны, где топливо еще только разгорается, подводят умеренное количество воздуха, иначе можно заглушить процесс розжига. Также не подают много воздуха в конец решетки, где выжигаются несгоревшие частички топлива из шлака.

Предел форсировки топки, так же как и в ручных решетках, устанавливается главным образом повышенной потерей от уноса.

Топливо лежит неровным слоем на цепной решетке; слой постепенно, начиная от загрузочной воронки к шлакоснимателю, выгорает и делается тоньше. Слой шлака, наоборот, нарастает, что и дает возможность полностью механизировать не только загрузку топлива, но и отвод шлака.

В начале решетки, пока слой толст, происходят подсушка топлива, его газификация и горение с большой неполнотой, затем наступает период интенсивного полного горения, и в конце выжи-

гается горючее из шлака. В конце решетки горение идет с повышенными избытками воздуха. Чтобы уменьшить объем топочного пространства и ускорить догорание летучих, излишне прошедший через последние элементы цепи воздух направляется при помощи заднего свода навстречу продуктам газификации (рис. 60). Кроме того, факел горящих летучих веществ сводом отжимается в направлении к слою топлива и тем улучшаются условия горения последнего. Для лучшего перемешивания газов в суживающуюся часть топочного пространства, наперерез движущемуся факелу, вводится дутье. Количество введенного таким путем воздуха составляет 10—15% от общего расхода воздуха. Давление перед соплами берется около  $100 \div 150$  мм вод. ст. и обеспечивает скорость воздушной струи до 30—35 м/сек.

При эксплуатации было установлено, что ввод воздуха через небольшие сопла и с большими по сравнению с указанными скоростями не дает должного эффекта перемешивания продуктов сгорания.

В последнее время стали отказываться от описанного «острого» дутья, заменяя многочисленные сопловые устройства меньшим количеством, но увеличенного сечения каналами, устанавливаемыми по большей части по углам топочной камеры. Воздух в каналы поступает от того же вентилятора, который обеспечивает дутье под решетку. Быстрому загоранию и хорошему горению топлива на цепной решетке сильно способствует горячее дутье. Воздух, пройдя воздухоподогреватель, направляется под решетку с температурой до  $250^\circ$ , где он хорошо подсушивает топливо и тем ускоряет процессы зажигания и горения.

Наиболее примитивная конструкция полотна колосниковой решетки состоит из колосников, связанных между собой в одну цепь, однако более надежной, допускающей легкую замену перегоревших колосников новыми, является цепь с накладными колосниками (рис. 62). В таком случае при помощи цепей типа Галля приводятся в движение траверсы, на которые и накладываются колосники.

При плавном движении колосников они в периоды прохождения под рабочей частью цепи неполностью очищаются от шлака.

На рис. 60 показан шлакосниматель *a* — упор, увеличивающий толщину шлакового покрова в конце решетки и тем уменьшающий количество лишнего воздуха, проходящего через ее последнюю зону. Шлакосниматель также способствует переламыванию надвигающихся на него шлаковых пластин и их отделению от полотна цепной решетки. Для топлив с большой и изменяющейся влажностью, например, кускового торфа, часто применяется

маятниковый шлаковый подпор, в еще большей степени способствующий утолщению шлакового слоя в конце решетки при наличии необходимости выжигания из шлаковых пластин несгоревшего топлива.

Шлак, сходя с решетки, поднимает соответствующие колосники, подвешенные наподобие маятников и снабженные меха-

низмом, автоматически уменьшающим нагрузку по мере отклонения колосника (рис. 62).

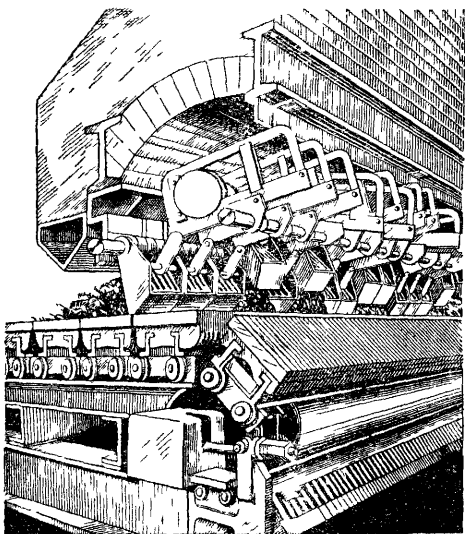


Рис. 62

Шлаковые подпоры служат для предотвращения прохода в топочное пространство лишнего воздуха не только через полотно цепи, но и сверху нее — из шлаковых бункеров. При незначительных разрежениях в топочном пространстве через шлаковые подпоры просасывается ничтожное количество воздуха. Чтобы предотвратить их коробление и перегорание, балки, на которых подвешены колосники, выполняются с водяным охлаждением.

Охлаждаемыми водной панелью *b* (рис. 60) защищают боковые стенки обмуровки; это увеличивает долговечность обмуровки; кроме того, бывает важно, чтобы шлак не прилипал к обмуровке и тем не нарушал правильности в продвижении топлива. Шлаковые наросты будут тормозить движение слоя, а за ними образуются оголенные места.

Однако при установке только одних панелей цель полностью не достигается; наросты шлака, скопившиеся сверху холодных панелей, свисают на слой и нарушают его движение. Гораздо более совершенным методом следует признать экранирование этих мест, причем коллектора экранов в таком случае являются панелями.

Провал через решетку попадает в дутьевые зоны, откуда удаляется при периодическом открывании особых отверстий; иногда провал перемещается шнеками в отдельные пункты, откуда он может удаляться путем эжектирования воздухом. Оформляя

колосники и их взаимное расположение, стараются до минимума сократить просыпание горючего и золы через решетку, для этого новейшие решетки снабжаются колосниками, взаимно перекрывающимися друг друга.

На рис. 63 приводится эскиз расположения колосников на беспровальной решетке, изготовляемой заводом «Комега».

Если ширина котла превышает 2—3 м, то перекрытие толки обычными арочными сводами уже невозможно и приходится переходить на подвесные своды. В таких случаях огнеупорные кирпичи укрупненных размеров и своеобразных форм схватываются сверху, в местах, наименее нагреваемых, металлической конструкцией, и далее весь вес передается на каркас котла и фундамент (рис. 64).

Регулирование работы цепной решетки производится за счет изменения первоначальной толщины слоя и скорости движения колосникового полотна. Чем больше скорость цепи, тем равномернее получается толщина слоя по решетке, тем меньше потребуется дожигать в топочном пространстве летучих горючих веществ, выделившихся из чрезмерно толстого слоя вблизи загрузочной горловины. Но для каждого топлива в зависимости от степени его горючести приходится устанавливать пределы скоростей цепи, иначе топливо загорается только на некотором расстоянии от загрузочной горловины и часть полотна решетки, таким образом, не используется.

Скорость цепи в зависимости от состава топлива, его горючести и крупности кусков приходится изменять в пределах от 2 до 30 м/час, для чего в привод цепей включается коробка скоростей или фрикционный редуктор. Лучше производить регулировку скорости цепи изменением числа оборотов электродвигателя постоянного тока.

На приведение в движение цепи затрачивается незначительная мощность — 1,5—5 квт (около 0,1 л. с. на 1 м<sup>2</sup> решетки).

Толщина слоя топлива регулируется шибром с (рис. 60 и 61).

**Сжигание углей на цепных решетках.** В табл. 25 и 26 приводятся цифры избытков воздуха, тепловых напряжений слоя и топочного объема, потерь от механической неполноты сгорания применительно к углям месторождений СССР.

Цифры даются для механических топков и главным образом цепных решеток.

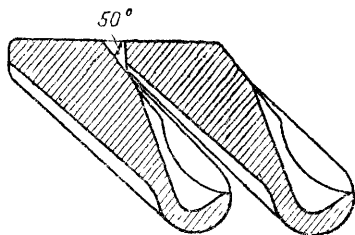


Рис. 63

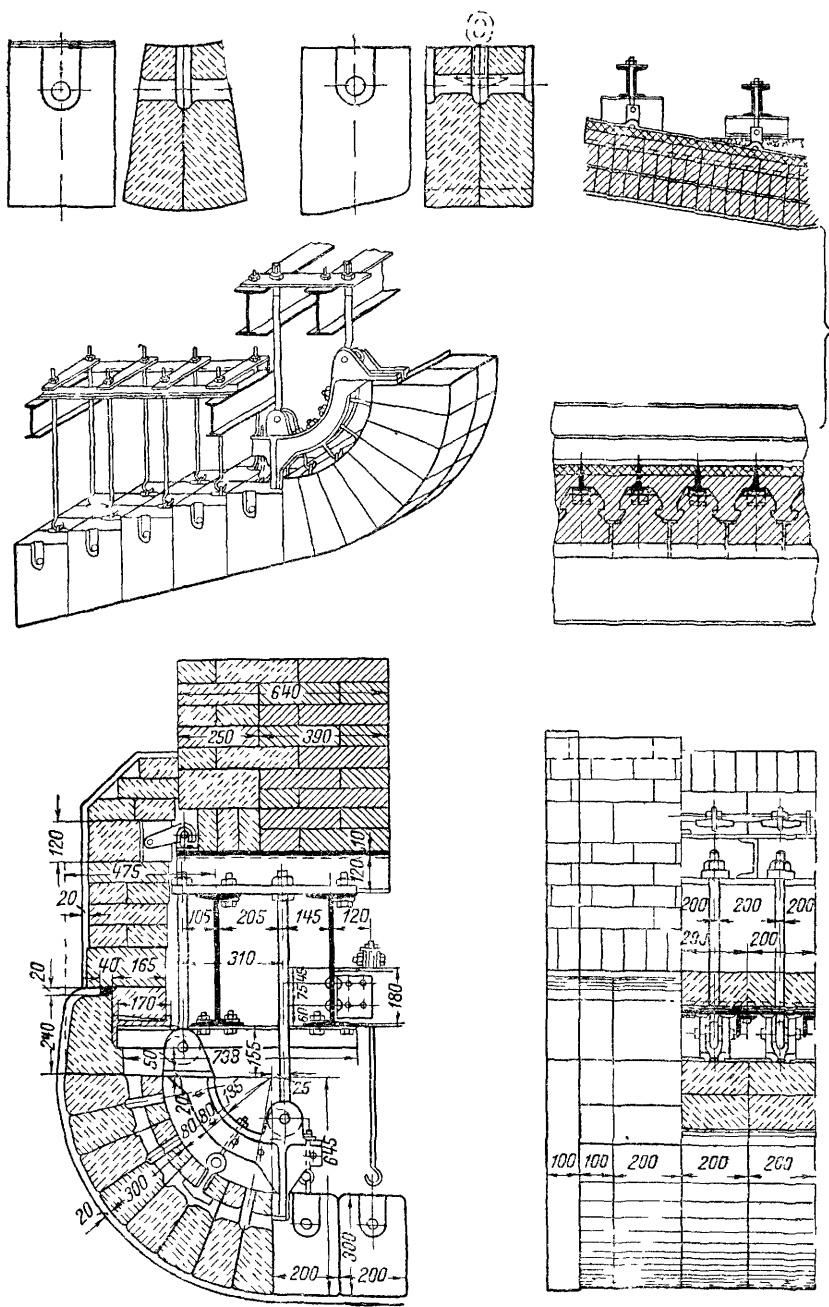


Рис. 64

Необходимо заметить, что для получения удовлетворительных результатов при сжигании углей на цепных решетках, чтобы обеспечить равномерное выжигание кусков по длине цепи, требуется предварительная сортировка углей. Так, при сжигании антрацита получаются хорошие результаты для сортированных марок, в частности для АС и АМ; более крупные фракции уже труднее сжечь на цепных решетках, куски во всяком случае не должны превышать 40 мм. Высокий к. п. д. достигается у слабо спекающихся углей, например, газовых; сильно спекающиеся угли плохо сжигаются на цепных решетках. Спекание уменьшает унос — это достоинство, но спекание кокса в отдельные глыбы ведет к неравномерности процесса, получается горение отдельными кратерами, падает мощность топки и одновременно увеличивается унос из незашлакованных участков слоя, появляется потребность в обслуживании топки сбоку.

В таких случаях топки должны быть сконструированы так, чтобы в них происходил излом слоя топлива и разрушение образующихся спекшихся пластин. Наиболее пригодными в этом отношении являются топки с нижней подачей топлива, описание которых приводится ниже.

При горении слоя топлива, медленно передвигающегося при помощи цепной решетки, отдельные куски топлива не перемещаются один относительно другого. Это отсутствие как бы внутренней шуровки сказывается особенно неблагоприятно на процессе сжигания многозольных и влажных бурых углей типа подмосковного. В установках средней мощности такие угли лучше сжигать на наклонно переталкивающих решетках, где перемещение ступенек «оживляет» процесс горения, так как в подобных условиях тепло передается в слое не только путем соприкосновения верхних нагретых кусков топлива с нижними, еще неразгоревшимися, но и путем выгалкивания кусков из нижних слоев наверх, где на них воздействуют факел и зажигательные своды.

Ранее указывалось, что цепная решетка механизует подачу топлива и удаление шлака, однако при сжигании шлакующего, спекающегося или многозольного топлива требуется обслуживать топку с боков через специально оставляемые для этих целей дверки.

Такие шуровки требуют рабочей силы, причем число шуровок в час особенно возрастает для таких топлив, как спекающиеся или плохо сортированные угли. Это приходится учитывать при решении вопросов выбора топочного оборудования. Растопка цепных решеток при работе их на антраците ведется на легко загорающемся пламенном угле или дровах и затем уже переходят на антрацит.



Необходимость применения сортированного топлива являлась существенным недостатком цепных решеток. В большинстве случаев котельные установки получают рядовые угли, т. е. несортированное топливо с наличием крупных кусков и мелочи. В подобных условиях топливо приходится пропускать через дробилку, чтобы не иметь кусков более 40 мм, разумеется после указанной операции количество мелочи (от 0 до 6 мм) еще более увеличивается, часто превышая 50%.

Энергетическим угольным топливом, как уже ранее указывалось, являются преимущественно некоксующиеся и с малым выходом летучих тощие угли, а также антрациты.

Тощий уголь Донецкого бассейна при сжигании его на цепной решетке дает низкий к. п. д. топки главным образом из-за повышенных потерь в уносе и со шлаком. То же приходится отметить и в отношении антрацита с большим содержанием мелочи.

Обе разновидности угольного топлива хорошо сжигаются в пылевидном состоянии, и районные электростанции, базирующиеся на этом топливе, снабжаются топками для пылевидного сжигания.

Большим достижением советской теплотехники явилась предложенная ВТИ двухступенчатая топка, позволяющая с высоким к. п. д. сжигать бурые и каменные угли — с повышенным выходом летучих при наличии мелочи.

Топливо, пройдя скребковый питатель (рис. 65), поступает на наклонную плоскость (разгонную плиту), с которой скатывается вниз на цепную решетку.

В конце указанной наклонной плоскости через щелевые каналы вдувается воздух, подхватывающий более мелкие куски топлива и распределяющий их в длину по решетке, причем чем мельче кусок, тем дальше он выносится. Выжигание мелочи происходит в благоприятных условиях двойного зажигания. Самые мелкие кусочки, приближающиеся по своим размерам к пыли, вовсе не оседают на решетке, а выносятся в объем топочного пространства, где и сгорают. С целью обеспечения двойного зажигания — снизу и сверху на передней части решетки — в первоначальной конструкции топки, поперек колосникового полотна, располагалась охлаждаемая водой труба, создающая подпор топлива с целью образования зажигающего очага. В дальнейшем при эксплуатации выяснилось, что топка хорошо работает и без указанной трубы (рис. 66).

Несмотря на значительное количество мелочи, провал в описываемой топке почти отсутствует, так как ближе к полотну решетки располагаются более крупные куски, а мелочь — сверху. Кроме воздуха, идущего на разбрасывание топлива, вторая часть вто-

ричного воздуха вдувается непосредственно в горящий факел на расстоянии 1,5 м от решетки с целью его завихривания. Расход воздуха на забрасывание составляет 7—10%, а на завихривание 20—25%, считая от всего расходуемого на горение воздуха.

Тепловое напряжение зеркала горения в двухступенчатых топках достигает значения порядка  $Q_R = 1\,200—1\,800$  тыс. ккал/м<sup>2</sup>час и  $\frac{Q}{V} = 150—180$  тыс. ккал/м<sup>3</sup>час при нормальных тепловых по-

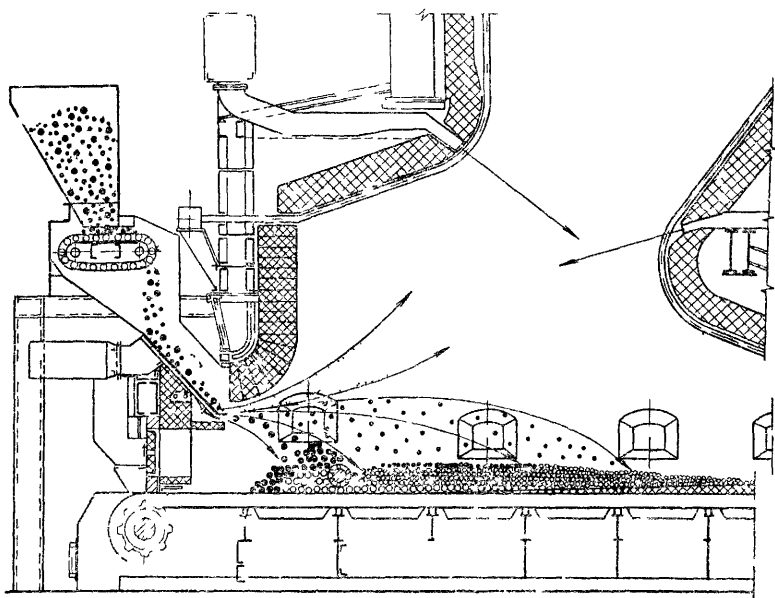


Рис 65

терях топки и коэффициенте избытка воздуха, приводимого в табл. 25 и 26.

Характерной особенностью двухступенчатой топки является ее пониженное газовое сопротивление. Давление воздуха под решеткой не превышает 40 мм вод. ст. (давление в обычных решетках доходит до 80 мм). Статический напор перед щелевыми каналами, вводящими воздух для разбрасывания и завихривания топлива, учитывая предварительный разгон топлива на наклонной плите, обычно ниже 100 мм вод. ст. Таким образом, воздух, расходуемый по трем указанным выше назначениям, нагнетается общим дутьевым вентилятором. При эксплуатации наблюдалось ошлакование заднего свода, а также боковых стен топки в местах

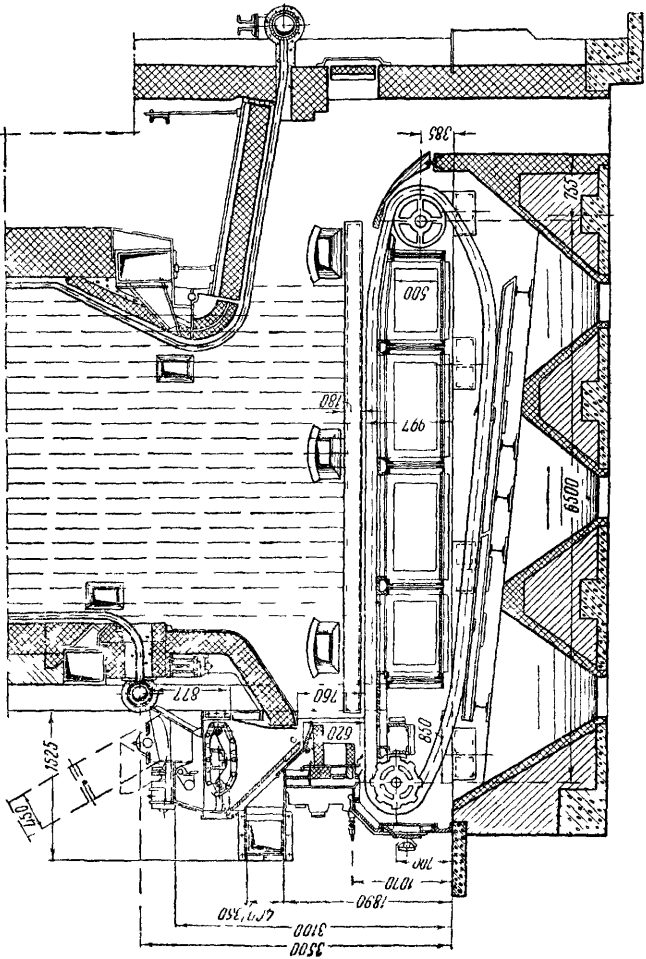
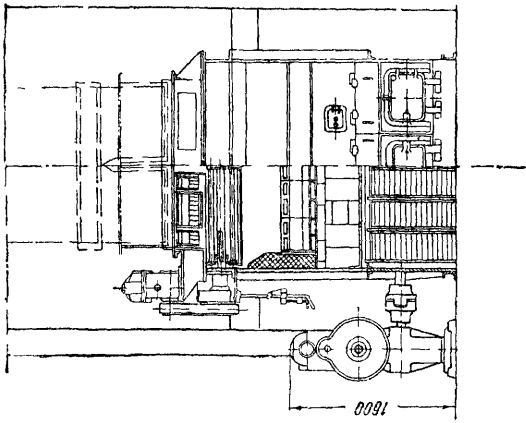


Рис. 66

отсутствия водяных экранов. ВТИ рекомендует выполнять заднюю стену вертикальной, плотно экранированной, и также полностью экранировать боковые стены обмуровки.

На рис. 67 приведен чертеж скребкового питателя, используемого для равномерной и регулируемой подачи топлива на разгонную плиту.

**Сжигание древесины на цепных решетках.** В местах, где древесное топливо планируемыми организациями назначается в качестве основного вида топлива, в установках, сжигающих дрова, шахтные топki дают хороший тепловой эффект и высокий к. п. д.

Однако, когда расход пара с котла начинает превышать 50 *т/час*, обычная подача дров становится затруднительной. В таких случаях переходят на дробление дров на щепу размером приблизительно 30×50×5 мм в особых рубильных машинах. В дальнейшем щепа передается к загрузочным воронкам топок устройствами, однотипными с применяемыми для кускового топлива; следует только учитывать, что угол естественного откоса насыпанной щепы приближается к 90°, и стенки бункеров приходится делать круто наклонными, а рукава особо широкими и почти вертикальными. На операцию дробления расходуется 7,5 квт·ч на 1 т; стоимость щепы на больших станциях обходится не дороже распиленных и расколотых дров.

Процесс сжигания щепы на цепной решетке значительно отличается от горения углей. Даже при скоростях цепи до 30 *м/час* приходится пропускать щепу из-под регулирующего слэя шибера толстым слоем — 400—450 мм, в то время как, например, для АС этот размер не более 70 мм. Выйдя на решетку, щепа начинает подсыхать, затем газифицируется, зона же интенсивного горения сравнительно невелика. В связи с этим в первые и последние зоны можно почти не подавать воздуха. В последнюю зону вводят излишний воздух, чтобы предохранить решетку от перегорания, так как при сжигании щепы отсутствует защищающий колосники слой шлака. Таким образом, специфика горения щепы — обильное выделение летучих в начале решетки и ввод добавочного воздуха сзади — предъявляют особые требования при проектировании конфигурации топчного объема. Эти топki имеют длинный, низко опущенный задний свод и высоко поднятый — передний. Такое расположение сводов создает хорошее перемешивание летучих горючих с воздухом.

Тепловые характеристики работы решеток на древесине приведены в табл. 25 и 26. При указанных параметрах к. п. д. топki получаются очень высокими. Газовое сопротивление слоя меняется для каждой зоны цепной решетки и обычно не превышает 10—15 мм.

**Шахтно-цепные топki для сжигания торфа.** Для сжигания кускового торфа на цепной решетке оказалась очень удачной

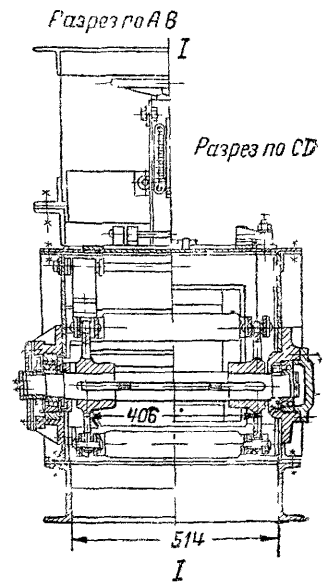
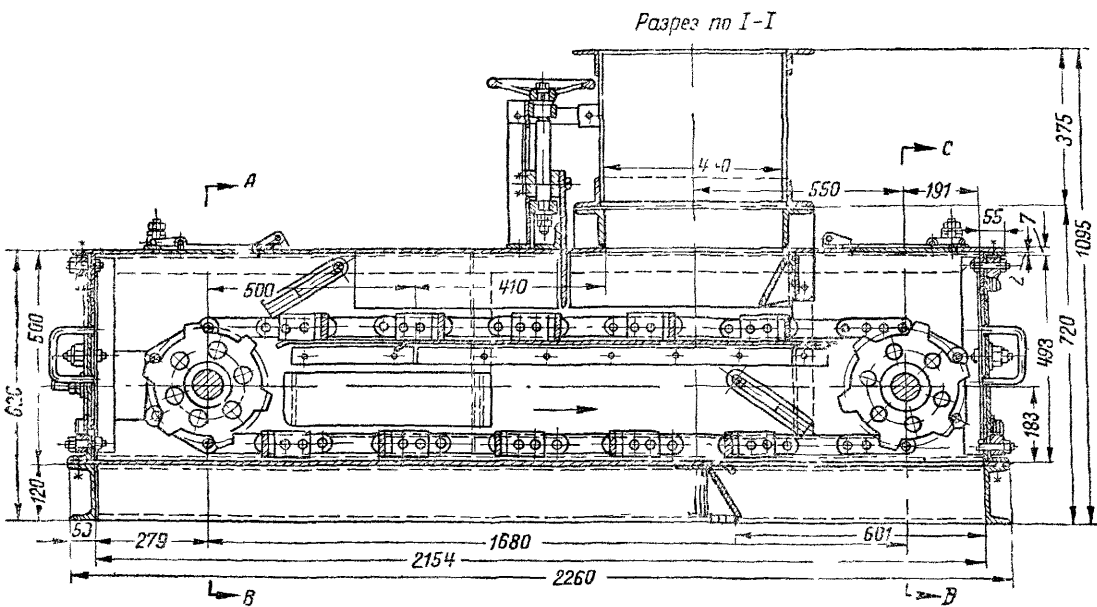


Рис. 67

комбинация цепи и предтопка, производящего предварительную подготовку торфа, его подсушивание и частичную газификацию. С  $1 \text{ м}^2$  зеркала горения, считая от выхода торфа на цепь до шлакоснимателя, для воздушносухого торфа удавалось получать цифры, превышающие  $2000 \text{ тыс. ккал/м}^2 \text{ час}$ .

Высокая влажность горфа, а также наличие значительного количества торфяной мелочи могут значительно понизить приведенную цифру.

На рис. 68 приводится такая топка, снабженная подтопком Макарьева и установленная под котлом в  $1660 \text{ м}^2$ .

Котел имеет две решетки, шириной  $4,4 \text{ м}$  каждая, разделенные между собой промежуточной кирпичной стеной. Такое разделение сделано из-за предтопки, чтобы не получить больших пролетов для охлаждаемых водой поперечных балок *a*.

Сушка и подготовка горфа в предтопке производятся при помощи подсушивающих очагов *b*. Горячие газы, образующиеся при горении торфа в очагах, просасываются через слой торфа в подсушивающем предтопке перед

поступлением торфа на решетку, а выделяющиеся водяные пары и летучие горючие поступают в топочное пространство. На интенсивность подсушки оказывает большое влияние порог *з*, способствующий застою горячих газов под передним зажигательным сводом и предупреждающий его охлаждение. Балка *a* и пять остальных балок образуют подсушивающий предтопок и обычно включены в циркуляцию котла. Балки защищены шамотными подвесными кирпичами соответствующей формы.

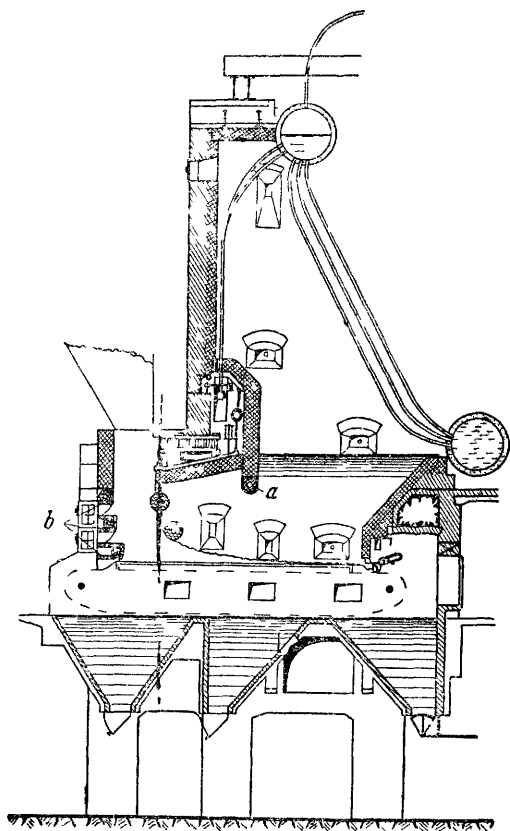


Рис. 68

Шахтно-цепная топка хорошо справляется с сжиганием торфа влажностью до 50%, в дальнейшем мощность ее падает, в особенности при наличии крошки.

Скорость цепи при нормальных условиях равняется 5—8 м/час. Тепловая работа шахтно-цепных топок охарактеризована цифровыми данными табл. 25 и 26, в графе механических топок.

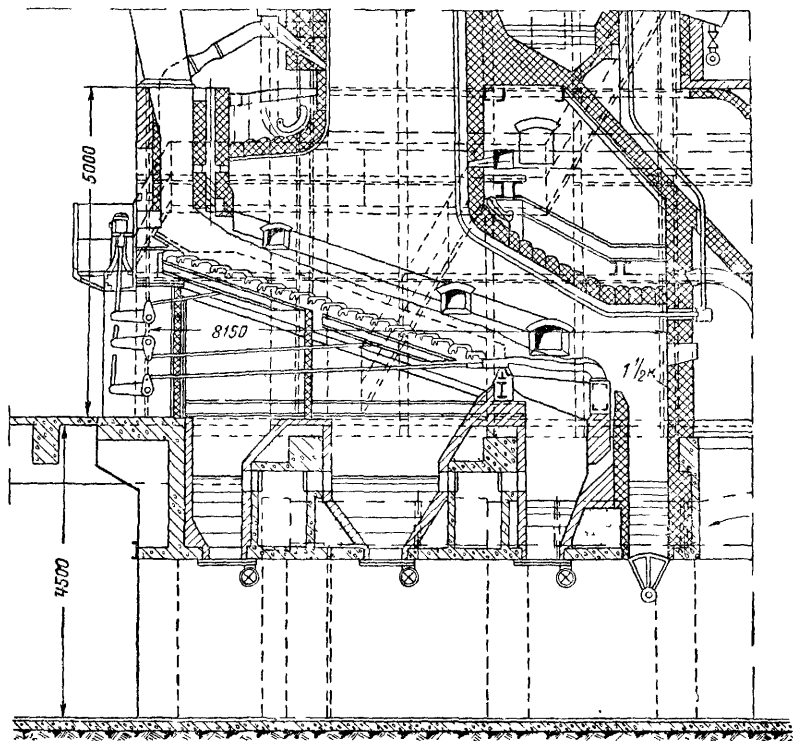


Рис. 69

Потери от химической неполноты горения при правильно спроектированной и эксплуатируемой топке вообще не превышают  $q_3 = 1,0\%$ . Большой выход летучих у древесины и торфа способствует доведению потери от механического недожога до минимальных значений;  $q_4$  при сжигании щепы на цепной решетке равно 0,2%, для торфа — около 1%. Газовое сопротивление шахтно-цепных топок  $\Delta S_T = 20-30$  мм вод. ст.

**Наклонные механические решетки.** Процесс горения топлива на ступенчатой переталкивающей решетке по существу мало отличается от процесса горения на цепной решетке. Топливо

также поступает из загрузочной горловины на полотно решетки (рис. 69) и зажигается вследствие непосредственного контакта с уже горящим топливом, а главное за счет излучения светящегося факела. Переталкивающая решетка снабжается в своей нижней части полого расположенными колосниками, предназначенными для выжигания горючего из шлака. В эту часть решетки аналогично с цепью проходит много лишнего воздуха, который и направляется задним сводом навстречу продуктам газификации.

Полотно цепной решетки, охлаждаясь при обратном ходе к фронту, менее подвержено влиянию высоких температур, чем ступени переталкивающей решетки, поэтому ступенчатая механическая решетка применяется преимущественно для сжигания низкосортных зольных и влажных углей и в первую очередь бурых типа подмосковного. Высокосортные угли с малым выходом летучих, когда отсутствует охлаждающий слой «транзитный» воздух, не следует сжигать на подобных топках, так как будут гореть колосники.

Для изготовления наклонных механических решеток расходуется меньше металла, и поэтому они конкурируют с цепными решетками преимущественно в установках среднего масштаба, где увеличенные первоначальные затраты на оборудование могут не окупиться выгодой, получаемой от повышения экономичности топливоиспользования.

Переталкивающая решетка хорошо справляется с сжиганием многозольных бурых углей как «оживляющая» процесс горения слоя.

При взаимном перемещении частиц топлива (шуровка) происходит сбрасывание с их поверхности золы; кроме того, перемешивание слоя топлива способствует равномерному горению и более раннему зажиганию.

Тепловое напряжение слоя, избыток воздуха и потери от механического недожога могут быть приняты по данным табл. 25 и 26.

Для сильно влажных углей и торфа, который также можно сжигать на подобных решетках, топки иногда снабжаются подсушивающим предтопком, работа которого не отличается от работы предтопков шахтноцепных топок. Конструктивно подсушивающие очаги образуются при помощи ступенчатой решетки с наклонно располагаемыми ступеньками, позволяющими золе сыпаться вниз и в дальнейшем — на наклонную решетку.

Горячее дутье способствует улучшению и ускорению процесса сгорания, и его можно доводить при низкосортных влажных углях до  $200\text{--}250^\circ$  без боязни вызвать пережог колосников. Газовое сопротивление топки  $\Delta S_r = 20\text{--}50$  мм вод. ст.

Наклонно-механическая топка как производящая изламывание слоя могла бы справиться с сжиганием высокосортных спекающихся углей, однако в подобных случаях приходится беспо-



коиться за прочность и долговечность ее полотна. Поэтому для сжигания высокосортных спекающихся углей надо предпочесть топку с нижней подачей топлива.

**Конструкция наклонных механических решеток.** По принципу действия наклонные механические решетки могут быть разбиты на три схемы (рис. 70). Первая из них, наиболее примитивная, состоит в том, что к обычного типа ступенчатой решетке добавляется несколько рядов движущихся колосников, способствующих

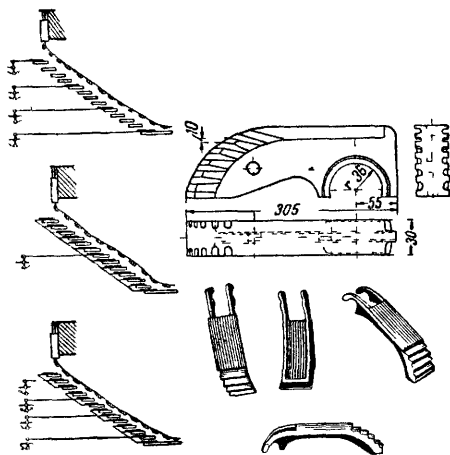


Рис 70

продвижению вниз топлива. Такие решетки в условиях СССР при значительной засоренности бурых углей не найдут применения, так как пространство между неподвижными ступеньками быстро заполняется золой и шлаком, что требует частой прочистки этих мест резком вручную. Схема вторая имеет чередующееся расположение подвижных и неподвижных ступеней, и, следовательно, застоя золы и шлаков в верхних частях решетки здесь наблюдаться не будет. Однако наилучшим типом пе-

реталкивающей решетки следует признать третий, где подвижные колосники разбиты на несколько групп, приводимых в движение от отдельных приводов, что позволяет менять ход и скорость движения на отдельных участках слоя в зависимости от сорта топлива и его поведения в процессе сжигания.

Переталкивающая решетка (рис. 69) соответствует третьей схеме (рис. 70).

Непременным требованием, как и при цепной решетке, является позонный ввод воздуха, вдуваемого под топку, что позволяет регулировать расход воздуха на отдельных участках слоя. Решетка обычно снабжается боковыми охлаждаемыми панелями, которые желательно включить в циркуляционный поток котла.

Процесс горения регулируется величиной хода (50—70 мм и доходит до 150), скоростью движения ступенек (от 0,2 до 4 м/час), а также толщиной слоя топлива, которая фиксируется вертикально располагаемым шибером. Угол наклона ступенчатых ре-

шеток может изменяться при эксплуатации и колеблется в пределах  $15\text{--}35^\circ$ , а для шлаковых колосников —  $10^\circ$ ; последним желательно давать перемещения вперед и одновременно вниз, затем назад и вверх, тогда они лучше разламывают шлаковые пластины. Длина зеркала горения доходит при очень мощных топках до 10 м, включая сюда 7—7,5 м по наклонной части и 2—2,5 м — по шлаковым колосникам

На рис. 70 даны чертежи колосников подобной топки. Часть колосников, как подвижных, так и неподвижных, располагающихся в верхней части решетки, где еще идет подсушка и воздуха не требуется, выполняется без отверстий. Это мероприятие, если не устраняет полностью, то также уменьшает возможность загорания угля в воронке до поступления его на решетку.

**Топки с нижней подачей топлива.** Зброшенная на простую колосниковую решетку порция топлива подсушивается, затем газифицируется и загорается. Этот процесс, изменяясь во времени, остается одинаковым для всех пунктов решетки. Процесс сжигания топлива на цепной или наклонной решетках, не изменяясь во времени, различен в пространстве: часть полотна решеток служит для предварительной подготовки топлива к сжиганию, и в конце полотна из шлака выжигаются частицы находящегося в нем горючего.

Процесс горения топлива в топках с нижней подачей топлива, являясь постоянным во времени, в то же время имеет минимальное развитие подготовительных участков, так как топливо, подаваясь в слой снизу, постепенно подсушивается и газифицируется, не требуя для этих операций затраты части площади зеркала горения.

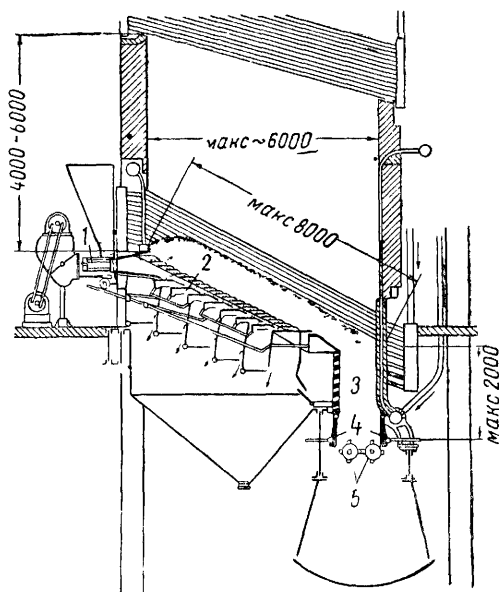


Рис. 71. Топка с нижней подачей топлива

1—питательный поршень, 2—лоток реторты; 3—шлаковая дожигательная шахта, 4—качающиеся боковые плиты шлаковой камеры 5—вращающиеся шлакодробители

Это своеобразие процесса, имеющего двойное зажигание—снизу и сверху, позволяет сильно форсировать тепловое напряжение зеркала горения. Кроме того, в топках с нижней подачей топлива слой все время ломается, что не дает ему чрезмерно спекаться, незначительное же спекание слоя в этих топках полезно.

Чтобы произвести соответствующую подготовку топлива (подсушка, выход летучих), толщина слоя должна быть значительной — около 0,5 м и более. В связи с этим воздух для горения приходится подавать при высоких давлениях в поддувале.

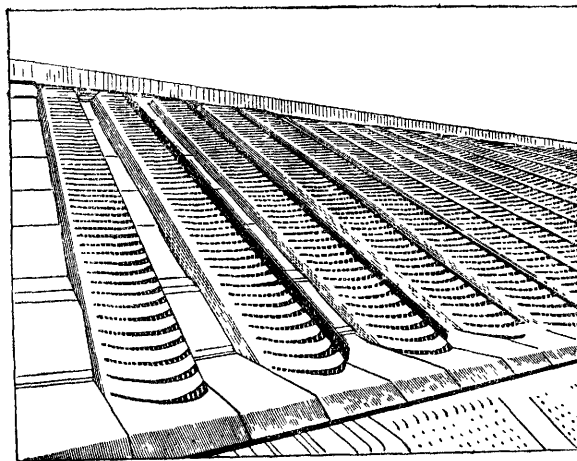


Рис. 72

При подаче топлива в слой снизу зола будет попадать на верх слоя, в область весьма высоких температур. Шлаки, находясь сверху слоя, в дальнейшем при наклонном расположении реторты (рис. 71 и 72) постепенно передвигаются на нижний дожигательный участок топки, где из них и выжигается горючее, но не на колосниках, как это делается при цепной или наклонной решетках, а в особом дожигательном бункере. Такой бункер (им иногда снабжают и цепные решетки), увеличивая размеры топки по высоте, дает возможность экономить площадь зеркала горения, подсчитывая которую, включают сюда и зеркало бункера. Схема движения по слою золы и шлаков указывает на затруднительность сжигания в таких топках многозольных углей, имеющих к тому же низкую температуру плавления золы.

Топки с нижней подачей топлива получили большое распространение в США, где отсутствие государственного планирования

приводит к хищническому расходованию на цели сжигания высококачественных спекающихся углей. В нашей стране, в условиях планового социалистического хозяйства, угли малозольные спекающиеся с повышенным выходом летучих, например, Донецкого бассейна марок К, ПЖ, ПС, в основном расходуются на получение металлургического кокса и для комплексной энергохимической перегонки топлива. В качестве же основного энергетического топлива используются антрацит и тощий уголь, которые вследствие малой горючести (выход летучих меньше 15%), легкоплавкости золы и отсутствия спекаемости нельзя считать вполне подходящими для сжигания по методу нижней подачи. Бурые угли также неподходящи из-за их многозольности, влажности и отсутствия спекаемости. Топки с нижней подачей топлива могут быть использованы для сжигания углей Кузнецкого бассейна, в основном спекающихся малозольных и обладающих высокими температурами плавления золы.

По сравнению, например, с цепной решеткой зона выжигания горючего из шлака у топки с нижней подачей доводится до минимума. Это осуществляется за счет применения своеобразной конфигурации шлакодожигательной шахты, в которую вместе со шлаком поступает значительное количество топлива.

Тепловое напряжение зеркала горения для спекающихся сортированных углей доходит до 2 000 тыс. ккал/м<sup>2</sup> час (без учета размера высоты дожигательной шахты). Длина зеркала горения топок с нижней подачей доходит до 8 м при ширине до 10 м.

На рис. 71 приведена одна из распространенных в США топок с нижней подачей топлива системы Тейлора. Топка состоит из отдельных реторт, по которым продвигается топливо, переталкиваемое снизу. В неподвижные вертикальные полые стенки, замыкающие собой реторты с боков, подводится позонно воздух. Воздух вводится и в дожигательную шахту, снабжаемую снизу вращающимися и раздробляющими шлак вальцами.

#### **§ 47. МЕХАНИЧЕСКИЕ ТОПКИ ДЛЯ ОТОПИТЕЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК СРЕДНЕЙ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Котлы с поверхностями нагрева, изменяющимися в пределах 100—300 м<sup>2</sup>, в большинстве случаев оборудуют колосниковыми решетками с ручным обслуживанием. Переход на механические топки облегчает труд кочегаров, резко сокращает число последних. Одновременно улучшаются теплотехнические показатели работы котельных, главным образом за счет механизации процесса при снижении степени влияния на процесс квалификации обслу-

живающего персонала. В настоящее время в котельных средней мощности начинают получать распространение два типа механических топок:

1) топки с верхней подачей топлива на плотно колосниковой решетки;

2) топки с шурующей планкой.

**Топки с забрасыванием топлива на плотно колосниковой решетки.** В этих топках сохраняется основное достоинство простых колосниковых решеток:

двойное зажигание — снизу и сверху — свежесброшенного топлива.

Разрез по А-Б

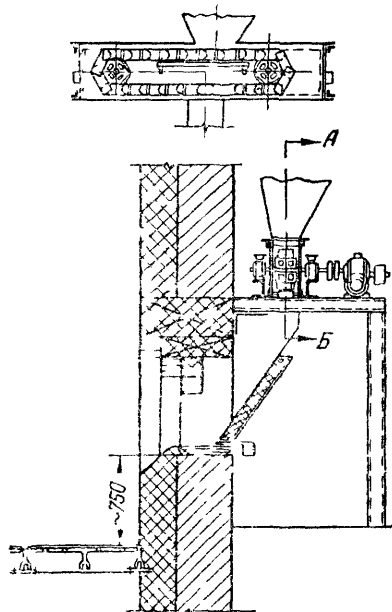


Рис. 73

Наилучшим способом забрасывания топлива на решетку следует признать использование энергии струй воздуха, нагнетаемого вентилятором. На рис. 73 приведена схема работы подобного устройства. Топливо при помощи скребкового питателя падает на направляющую плиту, с которой скатывается и попадает в сферу воздействия воздушных струй, которые разбрасывают его по решетке, причем мелочь, по своим размерам приближающаяся к пыли, выносится в топочный объем, где и сгорает.

Как уже указывалось при описании двухступенчатой топки ВТИ, распределение различных по размерам кусочков топлива

по длине решетки получается неравномерным, что до некоторой степени может быть исправлено путем изменения угла наклона воздушных струй и скоростью выхода воздуха. Во всяком случае в первую очередь такие топки могут быть рекомендованы для углей, имеющих повышенный выход летучих веществ, — бурых и каменных мелочь которых будет скорее сгорать в топочном объеме.

Спекающиеся каменные угли также будут удовлетворительно сжигаться в таких топках, так как кусок топлива, прежде чем он попадет на зеркало горения, подсохнет, начнет коксоваться и в значительной степени потеряет способность к спеканию.

Сложнее решается вопрос о механизации сжигания несортированных сортов антрацитов (АРШ). Выносимая при их сжигании в топочное пространство мелочь, состоящая по существу из частиц кокса, не сможет в значительной степени сгореть в объеме топочного пространства даже при использовании вторичного воздуха, вводимого в топочное пространство для завихривания факела. В результате будет возрастать потеря от уноса.

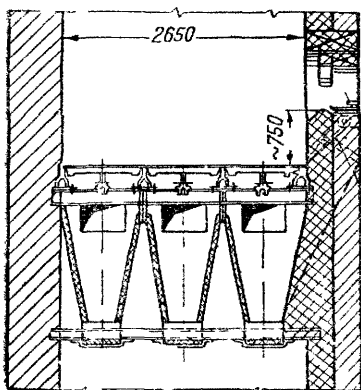


Рис. 74

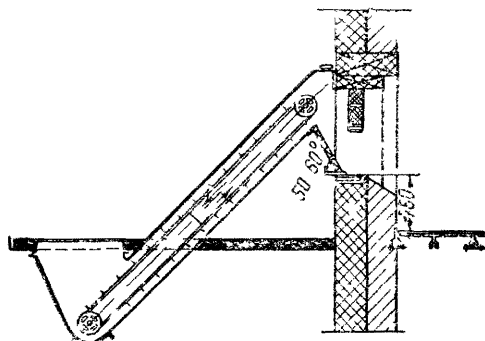


Рис. 75

При расчете топок с верхним забрасыванием топлива при сжигании каменных или бурых углей можно принимать следующие данные:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{R} &= 600 \div 700 \text{ тыс. ккал/м}^2 \text{ час;} & q_3 &= 1,00\%; \\ \frac{Q}{V} &= 150 \div 200 \text{ тыс. ккал/м}^3 \text{ час;} & q_4^{\text{ун}} &= 2 - 3\%; \\ \alpha_T &= 1,4 - 1,5; & q_4^{\text{пр+шл}} &= 3 - 5\%. \end{aligned}$$

Забрасывание топлива с наличием мелочи ведет к значительному выносу несгоревших твердых частиц в газоходы. В связи с этим приходится принимать пониженные значения  $\frac{Q}{V}$  и увеличивать высоту топочного пространства.

Колосниковые решетки, как правило, применяются с покачивающимися колосниками, облегчающими удаление шлака. Это в данном случае существенно важно, так как чистку топки путем покачивания колосников приходится производить довольно часто — примерно через 2 часа.

Под колосниковое полотно вводится воздух позонно, причем зоны желательно располагать, как указано на рис. 74, чтобы иметь возможность производить регулировку подачи воздуха

в соответствии с фракционным составом сжигаемого топлива. Количество воздуха, потребное для разбрасывания топлива, колеблется в пределах 10% от воздуха, идущего на горение. Напор этого воздуха перед сопловым аппаратом, главным образом в зависимости от конструкции аппарата, варьируется в пределах 130—400 мм вод. ст. Желательна разработка конструкций, всемерно сокращающих потери напора в сопловом аппарате, чтобы

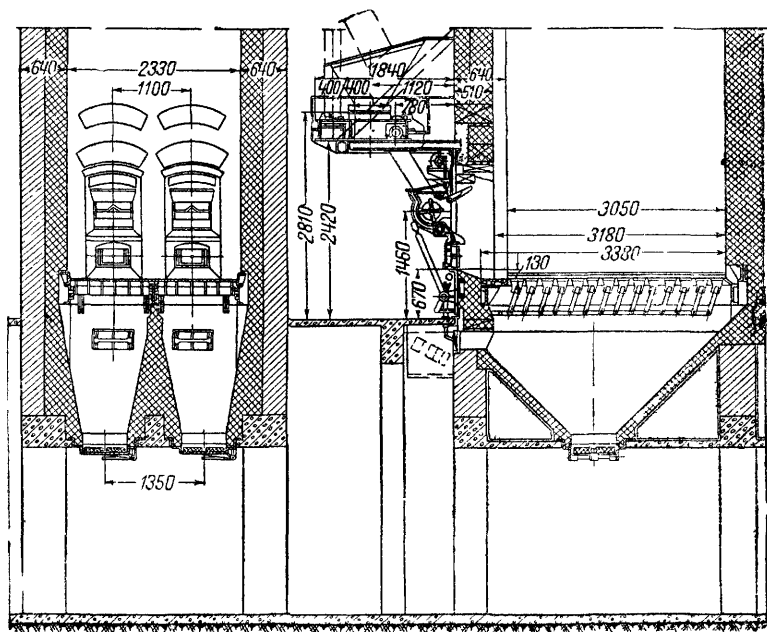


Рис. 76

тем дать возможность использовать один вентилятор среднего давления для дутья под решетку и забрасывания топлива.

На рис. 75 дан пример подачи топлива при отсутствии в котельном здании бункеров.

Завод «Комега» предлагает для сжигания бурых и каменных углей механическую топку при комбинированной подаче топлива путем ротационного забрасывания с пневмозабрасывателем (рис. 76).

Опыт работы топок только с ротационным забрасывателем выявил следующее. Ротационный забрасыватель группирует крупные куски топлива в конце решетки, а мелочь располагается ближе к фронту. Поэтому ротационный забрасыватель не может удовлетворительно работать на сортированном топливе, для него

требуется рядовой уголь с кусками, обычно не превышающими 35 мм.

Комбинируя два метода забрасывания топлива, дающих взаимно противоположную сортировку топлива по длине решетки, можно надеяться на возможность удовлетворительной работы подобной топки при обязательном использовании вторичного дутья с целью понижения потери от уноса.

Рассмотренные топочные конструкции по существу являются полумеханическими, так как часть операций, преимущественно по удалению шлака, производится вручную.

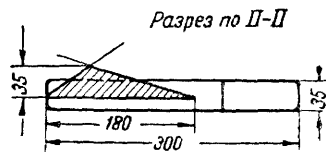
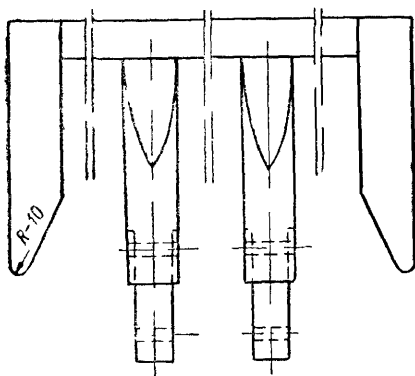
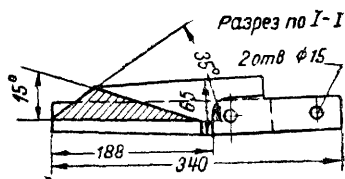
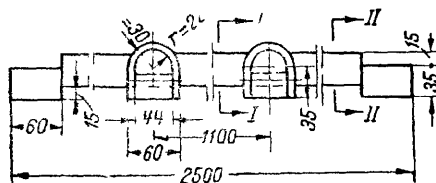


Рис. 77

**Топка с шурующей планкой.** Колосниковая решетка описываемой топки состоит из неподвижных колосников, опирающихся на подколосниковые балки.

Топливо поступает на решетку из загрузочного бункера и постепенно передвигается по решетке за счет периодическидвигающейся шурующей планки, причем длина пути движения планки может изменяться в зависимости от сорта топлива и условий работы топки. Сама планка (рис. 77) выполняется в виде клина, имеющего угол в  $35^\circ$  к горизонту со стороны, производящей перемещение вперед топлива и шлака, и угол в  $15^\circ$  с противоположной стороны. Планка, двигаясь назад к фронту топки, производит



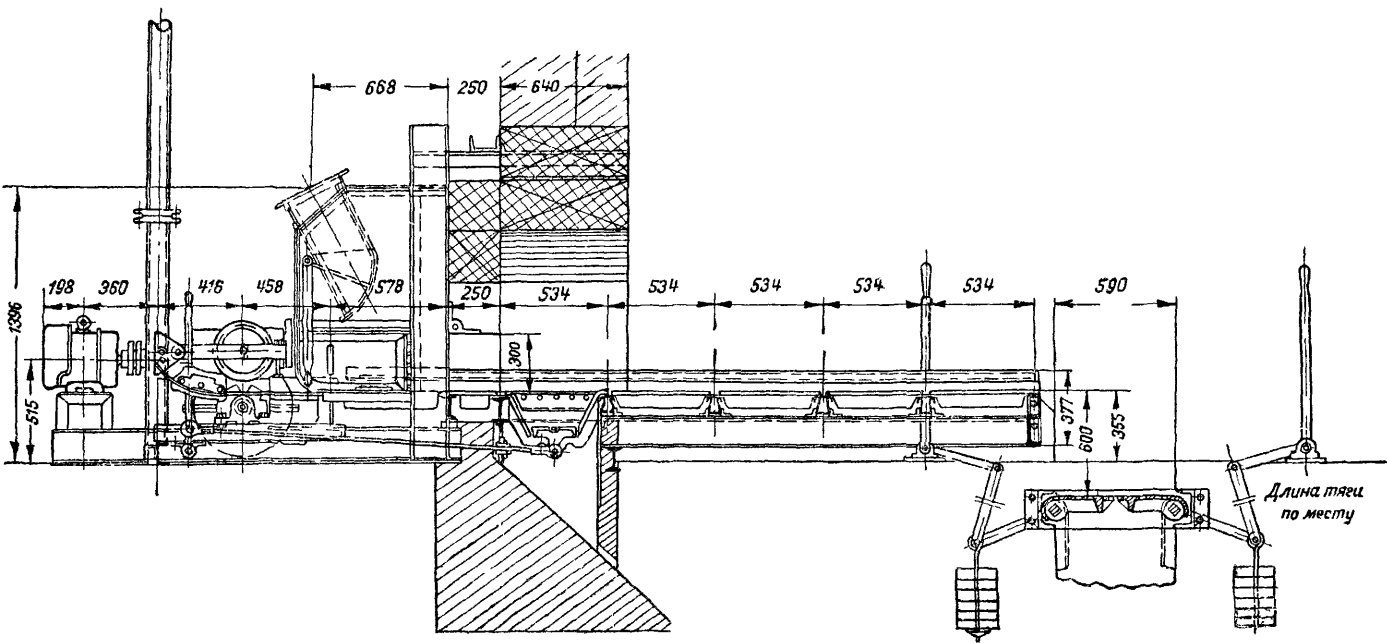


Рис. 78

шуровку слоя и, останавливаясь, располагается в месте, защищенном от возможности сильного нагревания планки. На рис. 78 и 175 приведена топка системы Ю. Г. Васильева с дополнениями, заимствованными из конструкции шурующей планки ВТИ.

Характерными особенностями топки Васильева является привод планки при помощи двух цепей своеобразной формы, выгибающихся только в одном направлении (рис. 79), что достаточно

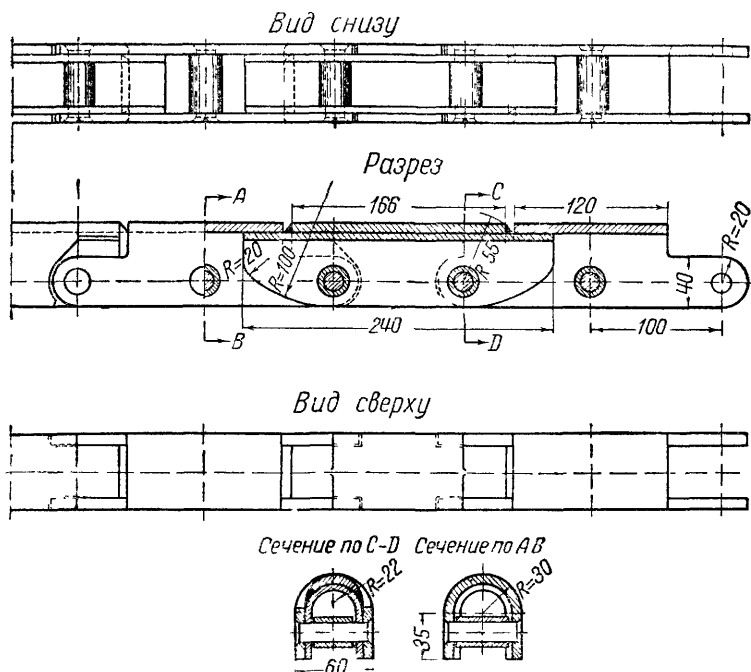


Рис. 79

хорошо обеспечивает постоянство прилегания планки к полотну решетки; к тому же планка своими концами примыкает при движении к нижним частям топочных панелей. Возможность беспрепятственного выгиба в другую сторону позволяет цепям при движении планки в направлении к фронту укладываться в вертикально стоящие трубы, чем устраняется загромождение фронта обслуживания котла.

Колосники системы Ю. Г. Васильева и М. К. Бражкина имеют своеобразную форму, обеспечивая отсутствие провала горячего через решетку (рис. 80); топка с шурующей планкой предназначена в основном для сжигания каменных и бурых

углей при наличии мелочи, но при размере отдельных кусков не более 50 мм.

Условия зажигания свежих порций топлива здесь не настолько хороши, как, например, у топок с верхним забрасыванием топлива, поэтому при сжигании влажных бурых углей требуется горячее дутье под решетку.

ВТИ предложил свой вариант топки с шурующей планкой конструкции проф. С. В. Татищева, инженеров В. Н. Михайловского и Л. И. Гладкова. Эта топка в передней своей части снабжается зажигательным очагом. Этот очаг применен в последней

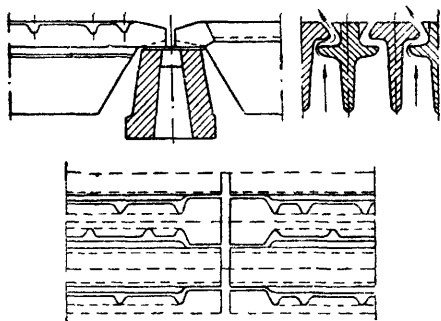


Рис. 80

конструкции топки Ю. Г. Васильева (рис. 78 и 81). Боковые колосники зажигательного очага имеют своеобразно изогнутую форму; в своей нижней части они замыкаются поворотными колосниками, могущими в случае необходимости покачиваться для сбрасывания шлака и золы. Топливо, продвигаясь от фронта, проходит над зажигательным очагом, чем обеспечивается ус-

тойчивая тепловая работа слоя. В некоторых случаях наличие зажигательного очага позволяет обойтись без применения горячего дутья.

Тепловое напряжение зеркала горения топок с шурующей планкой при сжигании бурых и каменных углей колеблется в пределах  $\frac{Q}{R} = 800-1100$  тыс. ккал/м<sup>2</sup> час. Тепловое напряжение

объема топочного пространства  $\frac{Q}{V} = 200-250$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час.

$\alpha_T = 1,3-1,4$ ;  $q_3 =$  (при наличии острого дутья) — 1—2%;  $q_4 = 8-5\%$ . Давление дутья — до 100 мм вод. ст.

В топке Васильева управление движением шурующей планки в значительной степени автоматизировано.

#### § 48. ТОПКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА

**Значение сжигания пылевидного топлива и его характерные особенности.** При рассмотрении отдельных стадий процесса горения твердого кускового топлива было выявлено, что чем лучше перемешано топливо с воздухом как в слое, так и в топочном пространстве, тем меньше приходится вводить в топку лиш-

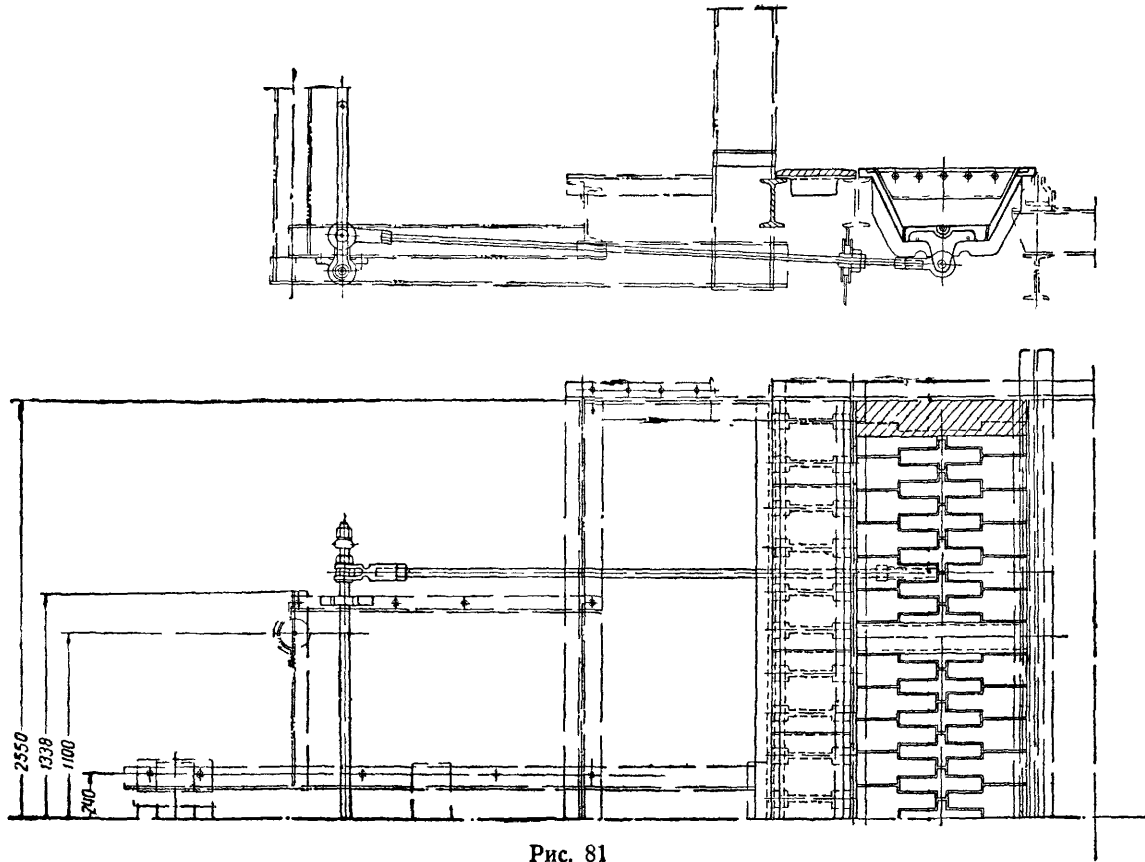


Рис. 81

него избыточного воздуха. Вследствие уменьшения  $\alpha_T$  выше будет температура горения, больше тепла воспримется радиационными поверхностями, уменьшится потеря с отходящими газами и будет выше к. п. д.

Наилучшим методом такого смешивания топлива с воздухом является предварительное измельчение топлива до пылевидного состояния и затем уже перемешивание его с воздухом и сжигание в камерных топках.

При описании условий сжигания топлива на механических топках указывалось, как плохо отражается на работе топок повышенная зольность топлива при необходимости выжигания горючего из шлаковых пластин. Плохая отсортировка топлива сказывается на неравномерности горения слоя топлива, в нем образуются прогары, наблюдается кратерное горение и сильно увеличиваются потери с механической неполнотой горения. Все эти дефекты уничтожаются при пылевидном сжигании.

В камерных топках достигается высокая экономичность процесса горения при минимальных избытках воздуха и потерях от химической и механической неполноты сгорания вне зависимости от того, какого рода и сорта топливо поступает в котельную установку. Энергетические угли: тощие — несортированные, антрациты (АШ), а также отбросы коксохимических заводов — промышленный продукт, плохо сжигающиеся в кусковом виде, при их сжигании в пылевидном состоянии позволяют достигать высоких к. п. д. топки.

В топках для сжигания пылевидного топлива можно получить высокую паропроизводительность при гибкой регулировке нагрузки топки. Этот род сжигания предельно механизмирует все процессы, требуя минимального обслуживания. В крупнейших станциях, где мощность отдельного котельного агрегата начинает измеряться цифрами порядка 200—250 т/час пара, камерные топки являются единственно возможными к осуществлению, так как в подобных условиях отдельные части механических топок получают тяжелыми и громоздкими.

Если сжигание топлива в пылевидном состоянии в настоящее время является в Советском Союзе основным методом для установок крупного масштаба, то по мере дальнейшего внедрения механизации топки для пылевидного топлива найдут распространение и в отопительных котельных, в первую очередь в районных котельных. Экономия топлива в таких случаях скажется особенно резко, а наличие механизации упростит задачи топливоснабжения, облегчит и улучшит условия труда обслуживающего персонала.

Процесс смешивания пыли с воздухом происходит в горелках, конструкции которых будут приведены ниже

Пыль, смешанная с воздухом (аэропыль), попадая в топку, там сгорает. Процесс сжигания пылинки топлива, горячей и одновременно движущейся в камере по пути от горелки к поверхности нагрева, отличается от горения кускового топлива. Там на решетке сгорал кокс, а в топочном пространстве — продукты газификации. При пылевидном сжигании в топочном объеме горит газ и коксовая составляющая пылинки.

Поскольку газ горит быстрее, чем аэропыль, путь горячей пылинки должен быть длиннее, чем путь газового пламени, а объем топочной камеры значительно больше, чем при слоевом горении.

Увеличивая объем камеры, уменьшают его тепловое напряжение, и для пылевидного топлива эти напряжения примерно в 1,5 раза меньше, чем для кускового (табл. 25).

Громоздкость топочных камер — один из недостатков топок для пыли, поэтому принимаются меры, дающие возможность поднять тепловое напряжение топки. При горении частицы пыли вокруг нее образуется облачко инертных продуктов горения и золы, затрудняющие дальнейшее проникновение к ней кислорода воздуха; чтобы их разрушить, необходимо произвести «аэродинамическую шуровку», т. е. надо завихрить потоки пыли и воздуха.

Это достигается при помощи так называемых турбулентных горелок, сообщающих аэропыли винтообразное движение, переходящее затем в вихреобразное движение горящего факела в топочном пространстве.

Дальнейшим мероприятием для уменьшения объема топочного пространства является использование воздуха с высокой температурой, способствующего улучшению процесса горения.

В современных котельных крупного масштаба питательная вода подогревается до высоких температур непосредственно в машинном зале в регенеративных подогревателях. В то же время из работающего с большой форсировкой котла газы выходят с высокой температурой, и это тепло необходимо использовать. Отнять это тепло в сколько-нибудь значительной степени водяным экономайзером не представляется возможным, ибо питательная вода уже подогрета. Остается утилизировать тепло отходящих газов в воздухоподогревателе.

Получается удачное сочетание: воздухоподогреватель необходим в современных установках, работающих с регенеративным подогревом воды, для использования тепла отходящих газов, горячий воздух требуется пылеугольным топкам для ускорения горения пылинок и сокращения объема топочных камер. Повышать температуру дутья более 250° при механических топках часто опасаются, чтобы не вызывать перегревания полотна решетки.

ки и ее отдельных деталей; в камерной топке, где в сущности перегорать нечему, эти температуры можно доводить до  $400^{\circ}$ .

Малые избытки воздуха и горячее дутье способствуют развитию при пылевидном сжигании настолько высоких температур в топке, что всегда бывает не только возможно, но и необходимо экранировать топку, причем в крупных котлах даже для низкосортного топлива это экранирование приходится делать возможно полным. При большом объеме факела он даже при полном экранировании топки не охлаждается ниже допустимых пределов, так как с увеличением размеров растет отношение объема к поверхности факела.

Максимальное экранирование топки всегда полезно, так как, повышая съем пара с  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева, оно одновременно уменьшает возможность зашлаковывания труб. Часто в больших топках все же не удается разместить достаточное количество экранных поверхностей на стенах топки и приходится идти на снижение теплового напряжения топочного объема, увеличивая топочную камеру и вместе с ней экранные поверхности.

Поскольку с увеличением объема топки увеличиваются габариты котла, его обмуровка и каркас в борьбе с зашлакованием ищут и других путей. Например, первые ряды кипяtilьных труб располагают с увеличенным шагом (300—400 мм), что затрудняет образование на них шлаковых наростов. Уменьшить зашлакование топки и первых газопроводов возможно также при переходе на жидкое шлакоудаление. В этом случае шлак в топке доводится до жидкоплавкого состояния и его большая часть выпадает непосредственно в топке.

Пылевидное сжигание потому еще не внедряется пока в мелкие установки, что, вообще говоря, требует довольно сложного оборудования для предварительной подготовки топлива к сжиганию. Пылинка горит по поверхности. Чтобы уменьшить объем топочного пространства, ускорив сгорание пылинок, надо путем дробления увеличить их суммарную поверхность. Топливо приходится хорошо перемалывать в мельницах, причем чем меньше выход летучих, тем труднее горит топливо и тем тоньше должен быть его помол. Например, при сжигании АРШ приходится давать особо тонкий помол, доводя его до такого состояния, что при пропускании пыли через сито, имеющее  $4900 \text{ отв/см}^2$  (сито № 70), остаток должен получаться не больше 8%.

Создавая такой тонкий помол при твердом трудно размалываемом топливе, в условиях сжигания пылевидного топлива более чем когда бы то ни было приходится обращать внимание не только на возможность повышения к. п. д. брутто, но и на уменьшение разрыва между последним и к. п. д. нетто. При размоле антрацитового штыба в шаровых мельницах до помола, тонкость которого указана выше, приходится затрачивать до 40 квт·ч на

1 т пыли. Правильное конструирование топочной камеры при двухступенчатом методе сжигания, о котором будет сказано ниже, дает возможность укрупнить помол.

Топливо, обладающее высоким выходом летучих, может иметь более грубый помол. Например, для подмосковного угля может быть признана достаточной тонкость помола при остатке на сите, имеющем  $4\ 900\ \text{отв/см}^2$  — 30%, причем энергии на размол затрачивается от 8 до 13 квт-ч на 1 т пыли, а фрезерный торф удаётся сжигать во взвешенном состоянии крупной крошкой без предварительного дробления в мельницах (топка инж. А. А. Шершнева, вихревая топка проф. Г. Ф. Кнорре).

Растопка котлов, снабженных топками для сжигания пылевидного топлива, производится путем сжигания кускового или пылевидного топлива в особых печах — муфелях, примыкающих к фронтальной части обмуровки котельного агрегата. В зависимости от местных условий растопка иногда осуществляется и на мазуте, подаваемом в топку при помощи нефтяных форсунок.

**Конструктивное оформление топки для сжигания пылевидного топлива.** На рис. 82 изображена схема современного котла, снабженного топкой для сжигания пылевидного топлива. Котел — высокого давления, состоит почти из экранных поверхностей нагрева с сильно развитыми хвостовыми поверхностями: водяного экономайзера и воздухоподогревателя, разбитого на две части. Пучок труб котла, находящийся между топкой и перегревателем, образуется пароотводящими трубами заднего экрана.

Горелки расположены в два яруса. Объемный вес воды в обратных необогреваемых трубах водяных экранов будет больше объемного веса смеси воды и пара в трубах, воспринимающих излучение топки. Равновесие в системе нарушается, и в котле начнется циркуляция в направлении, указанном на рисунке стрелками.

Эмульсия пара и воды направляется в барабан котла, где пар выделяется с водяного уровня (зеркало испарения), вода же идет обратно вниз. Полученный с зеркала испарения насыщенный пар далее идет в сухопарник и затем в перегреватель.

Внизу топки устраивается шлаковая холодная воронка, через нее выпадающие из факела частицы расплавленного шлака направляются в шлаковый бункер.

Чтобы гранулировать расплавленный шлак, падающий на стенки шлаковой воронки, их делают охлаждающимися, используя для этого трубы водяных экранов.

Горелки часто устанавливают по углам топок (рис. 83). Это улучшает аэродинамику топки, создавая сильное вихревое движение факела. При вихревом движении воздух лучше перемешивается с топливом и факел полнее заполняет объем топочного пространства.



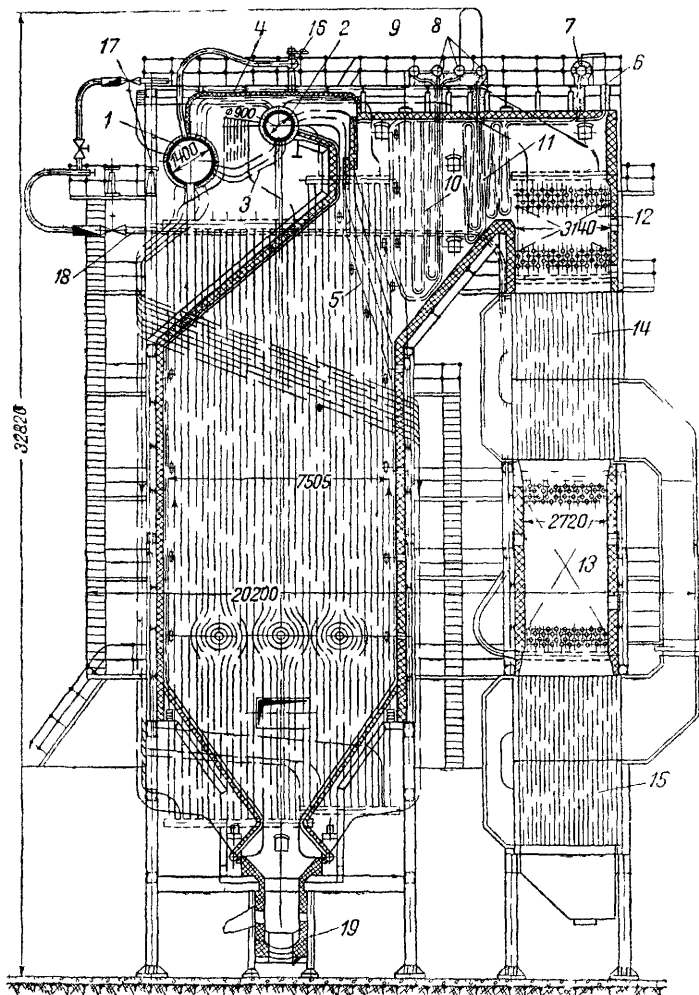


Рис. 82. Котлоагрегат на  $D = 230$  т/час,  $p = 100$  атм,  $t_{не} = 510^\circ$

1—основной барабан котла, 2—разделительный барабан, 3—водоперепускной пучок, 4—пароперепускной пучок, 5—фестон, 6—трубы, подающие пар из барабана в пароперегреватель, 7—коллектор насыщенного пара со встроенным в него поверхностным пароохладителем, 8—смешивающие промежуточные коллекторы пароперегревателя, 9—выходной коллектор пароперегревателя, 10—первая по ходу газов часть пароперегревателя, 11—то же, вторая, 12—первая по ходу газов ступень водяного экономайзера, 13—вторая по ходу газа ступень водяного экономайзера, 14—первая по ходу газов ступень воздухоподогревателя, 15—вторая по ходу газа ступень воздухоподогревателя, 16—импульсный предохранительный клапан, 17—подача питательной воды на регулятор перегрева, 18—подача питательной воды в экономайзер, 19—низконапорное гидравлическое смывное шлакоудаление.

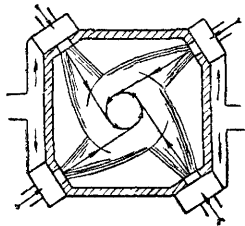
Пыль транспортируется в горелку воздухом (первичный воздух), далее в самой горелке добавляется еще воздух, причем стараются придать такое направление его движению по отношению к струе аэропыли, чтобы происходило максимальное перемешивание.

Один из типов турбулентных горелок приводится на рис. 84.

Горелка может дополнительно снабжаться форсункой для сжигания мазута в периоды растопок.

ВТИ предложен двухступенчатый метод сжигания пылевидного топлива (автор — канд. техн. наук. А. Н. Лебедев).

Топочная камера снабжается щелевыми горелками по типу, изображенному на рис. 85; эти горелки устанавливаются по углам топочной камеры. Выше горелок, также по углам камеры, располагают сопла, по которым вводится вторичный воздух. Схема топки приведена на рис. 86. Форсунки для аэропыли установлены по диагонали, с тем чтобы получить в центре факела зону высоких температур, обуславливающих хорошее воспла-



→ Первичный воздух и пыль  
→ Вторичный воздух

Рис. 83

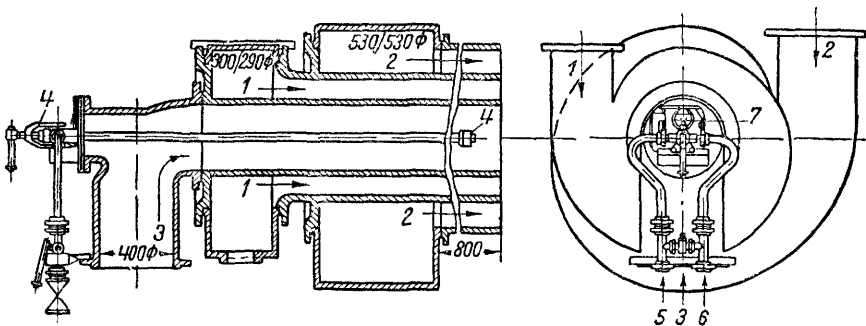


Рис. 84. Турбулентная горелка

1—первичный воздух с пылью, 2—вторичный воздух; 3—центральный подвод воздуха; 4—мазутная форсунка с паровым распыливанием; 5—подвод мазута; 6—подвод пара; 7—гляделка

менение пыли. Расположение ввода вторичного воздуха выше горелок также способствует повышению температуры горения факела за счет развития горения и уменьшения избытка воздуха.

Тангенциальное размещение сопел вторичного воздуха с целью сообщить интенсивное закручивание горящему факелу позволяет хорошо выжечь продукты неполного сгорания и равномернее распределить температуры по горизонтальному сечению камеры.

Особенно хорошие результаты были получены при сжигании тощих углей и антрацитового штыба. При этом оказалось возможным отказаться от установки шамотных зажигательных поясов около горелок, которые искусственно способствовали созданию высоких температур в начале факела и требовали частого ремонта.

Двухступенчатый метод сжигания позволяет укрупнить помол угля без снижения к. п. д. топки.

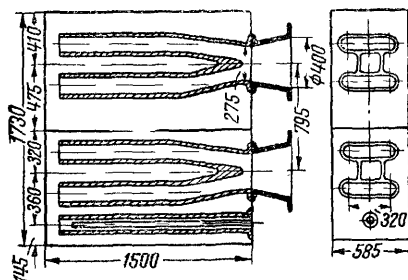


Рис. 85

Расход первичного воздуха, считая от всего воздуха, входящего в топку, колеблется в пределах 25—40%, повышаясь по мере увеличения выхода летучих.

Обмуровка подобного рода котлов и топок часто делается облегченного типа. Шамотные перегородки обыкновенно особыми креплениями присоединяют к металлическому каркасу. От излишнего присоса воздуха через обмуровку установку защищают путем обшивки стен стальными листами. На рис. 87 показаны экраны, состоящие из труб с наваренными на них особыми ребрами (плавниками). Экранами этой конструкции хорошо защищена обмуровка от воздействия на нее шлака, кроме того, «плавники» несколько повышают и эффект восприятия тепла трубами.

Трубы экранов снабжают плавниками в сравнительно ограниченных случаях, так как приварка плавников к трубам является довольно сложной и трудоемкой операцией. Трубы экрана вводятся в коллекторы (рис. 87), объединяющие в одну систему отдельные трубы. Вода через нижний коллектор входит в трубы экрана, через верхний коллектор выводится смесь пара и воды, которая в дальнейшем направляется в барабан котла.

Располагая топку под котлом, стараются избегать подвесных сводов, так как их устройство обходится дорого.

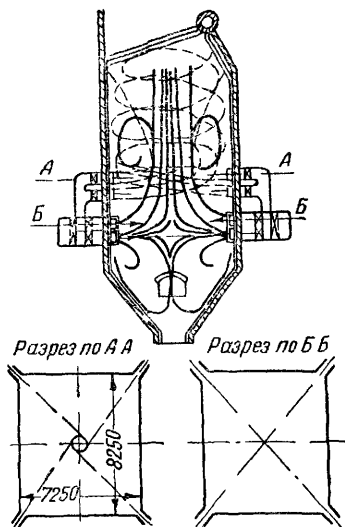


Рис. 86

**Пылеприготовление.** Из всей аппаратуры для пылеприготовления центральное место занимает мельница, перемалывающая кусковое топливо в пыль. На мельницу расходуется наибольшее количество энергии, мельница является и наиболее уязвимым местом всей системы.

Над задачей создания наиболее простой, надежной в эксплуатации и не требующей большого количества электроэнергии мельницы работали многочисленные организации.

В СССР, учитывая необходимость сжигания по преимуществу многозольных и твердых топлив, например АШ, в настоящее время остановились как на основном типе на шаровой барабанной мельнице. На рис 88 и 89 приводятся чертежи этой мельницы.

Электродвигатель через редуктор приводит в движение зубчатое колесо, укрепленное на барабане мельницы. Барабан медленно вращается, делая около 20 об/мин, и приводит во взаимное перемещение насыпанные в него чугунные или базальтовые шары разных диаметров. По оси барабана с одного торца подается уголь, который перемалывается шарами. Пыль забирается потоком сушильного агента и выходит из противоположного конца барабана, направляясь далее в сепаратор, отделяющий крупные, еще плохо размолотые частицы, возвращаемые обратно в мельницу.

Шаровая мельница затрачивает на свой «холостой» ход примерно 80—90% от всей расходуемой энергии. Поэтому, включая шаровую мельницу в схему пылеприготовления, приходится добиваться равномерной и достаточно полной нагрузки мельницы при ее эксплуатации.

Если топливо имеет меньшую сопротивляемость, чем, например, антрацит, и к тому же обладает повышенным выходом летучих, то для уменьшения расхода энергии на помол можно применять мельницы ударного действия: аэробильные или молоткового типа.

Конструкция ударной быстроходной мельницы, довольно хорошо зарекомендовавшей себя в эксплуатации, показана на рис 90, а и б.

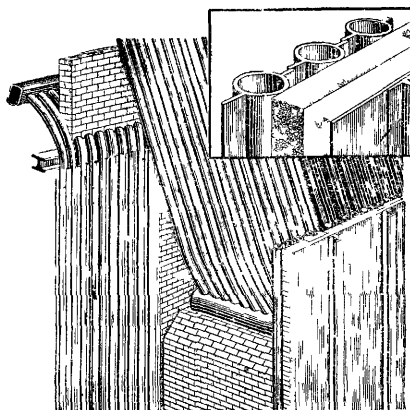


Рис. 87

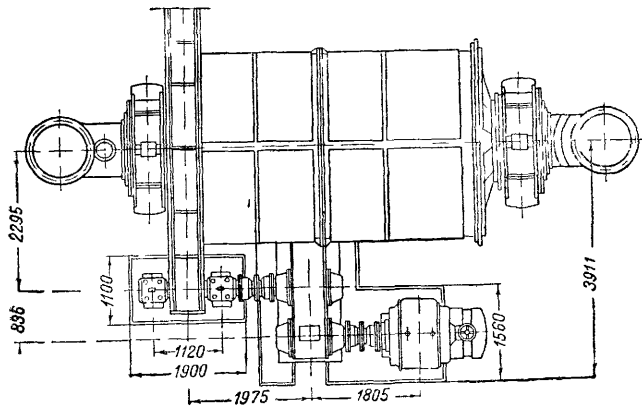
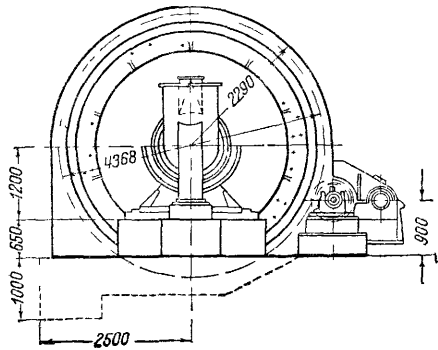
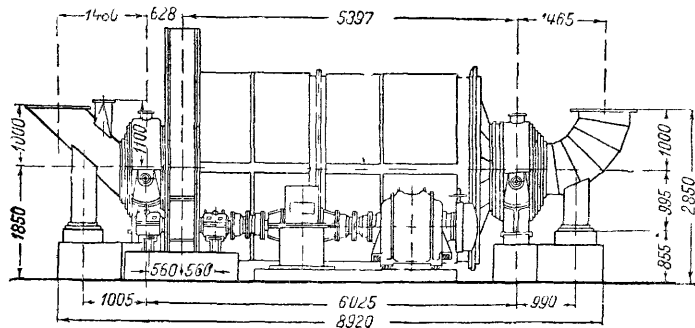


Рис. 88

Топливо, пройдя через тарельчатый питатель, поступает в мельницу, куда подается также и горячий воздух. Мельничный агрегат включает следующие элементы: электродвигатель (на чертеже не показан), вентилятор, транспортирующий аэропыль из мельницы до горелок, собственно мельницу, состоящую из кожуха и диска с жестко укрепленными на нем билами, сепараторы и тарельчатый питатель топлива. Вентилятор и ротор находятся на одной оси; электродвигатель присоединен муфтой. Сепаратор и тарельчатый питатель укреплены на кожухе мельницы.

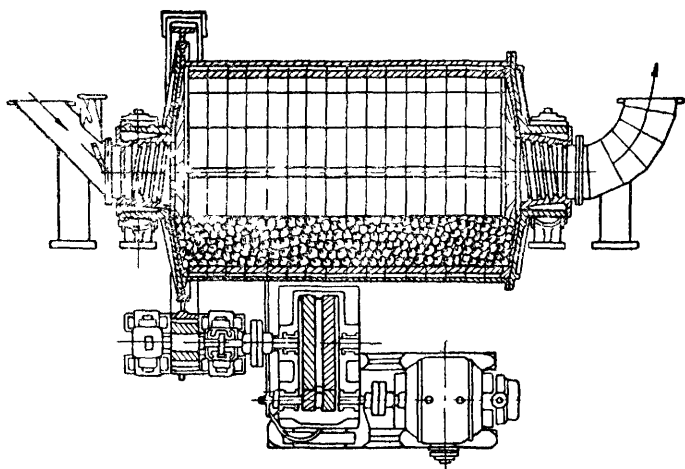


Рис. 89

Топливо вводится в центральную часть кожуха, попадает на ротор, вращающийся с числом оборотов 1 500 в мин., и отбрасывается им к периферии, где разбивается ударом бил и о броню кожуха. Образовавшаяся пыль увлекается воздушным потоком, создаваемым вентилятором, и поступает в сепаратор, отделяющий еще недостаточно перемолотые фракции угля, возвращаемые обратно в мельницу.

В сепараторе аэропыль сначала теряет скорость, которая при входе равняется 20 м/сек, а во внешнем конусе — 6 м/сек. Вследствие уменьшения скорости грубо размолотые частицы осаждаются вниз и идут назад в мельницу. Вторичная сепарация происходит при переходе из внешнего конуса во внутренний. При помощи направляющих лопаток (жалюзи) пыль завихривается, и более крупные пылинки сползают по внутреннему конусу вниз, попадая затем в мельницу.

Мельницы молоткового типа (с подвижными билами), дающие более грубый помол по сравнению с двумя предыдущими типами,

используются преимущественно в так называемых шахтно-мельничных топках, описание которых будет приведено ниже

Многочисленные системы быстроходных мельниц обладают общими для них свойствами компактностью, уменьшенным расхо-

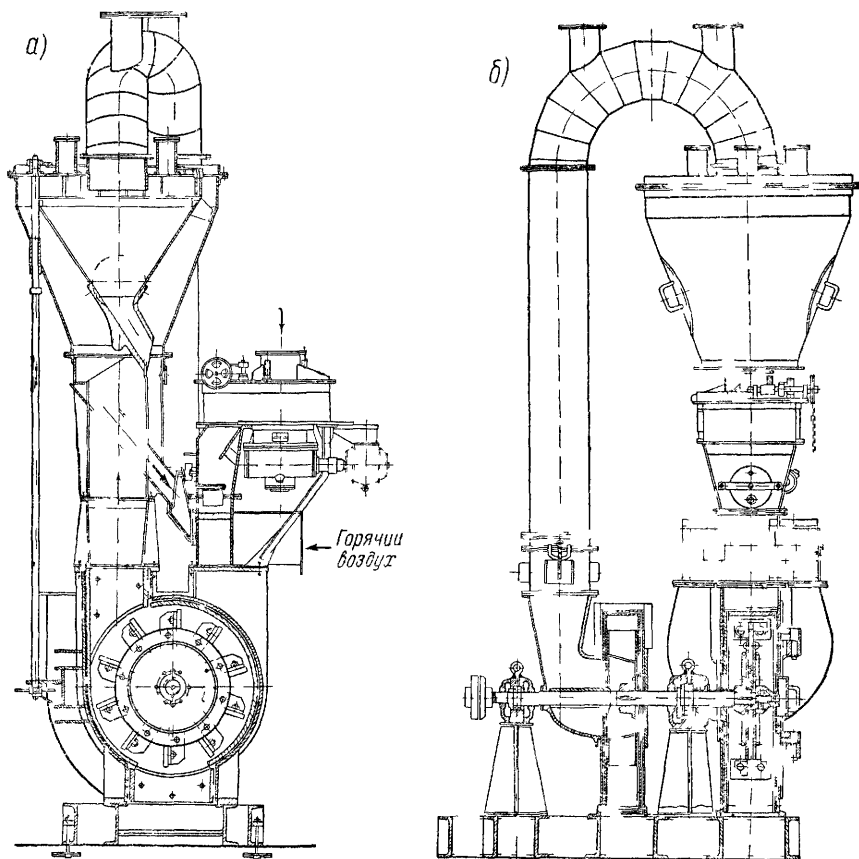


Рис. 90

дом энергии на помол (обыкновенно не выше 20 квт-ч на 1 т пыли, шаровая мельница расходует до 40 квт-ч) и большой изнашиваемостью отдельных частей

Износ получается настолько значительным, что вводится специальный показатель расхода металла на 1 т помола; эти цифры иногда доходят до 150 г на 1 т сырого топлива и даже более

Указанный недостаток настолько увеличивает расходы на ремонт быстроходных мельниц и в то же время снижает надежность

и бесперебойность эксплуатации, что такие мельницы, несмотря на уменьшенное потребление ими энергии, меньший расход на холостой ход и пр., обыкновенно устанавливают в котельных, сжигающих только мягкие угли. Износ бил мельницы заметно повышается при наличии в угле примеси серного колчедана.

Размол топлива идет хорошо, если оно одновременно и подсушивается. При повышенной влажности топлива растет расход энергии на помол, а сама мельница замазывается, снижается ее производительность и ухудшается тонкость помола. Сушку топлива и вообще пылеприготовление можно производить в цен-

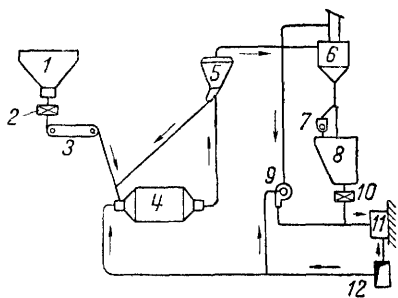


Рис. 91

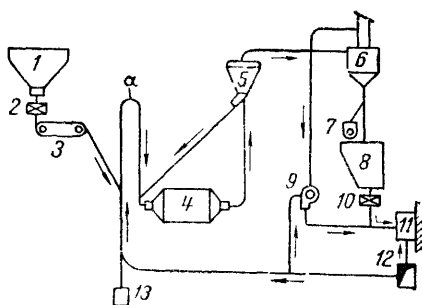


Рис. 92

тральном пункте или индивидуально у каждого котла. Центральные системы пылеприготовления в настоящее время не применяются. Индивидуальная система пылеприготовления исключает устройство самостоятельной сушилки. Уголь подсушивается за счет вентилирования мельницы горячим воздухом из воздухоподогревателя. Иногда при сжигании сильно влажного топлива для повышения температуры сушильного агента к воздуху подмешивают инертные газы, взятые из топки или из промежуточных газоходов котла.

Если сжигается влажное топливо и указанными мерами не удастся его подсушить до состояния, при котором не будет затрудняться размалывание, то к схеме добавляется подсушка топлива в трубе во взвешенном состоянии.

Схема индивидуального пылеприготовления для углей типа АШ приводится на рис. 91, а для углей с повышенной влажностью — на рис. 92. Уголь сначала загружается в бункер 1, далее под действием силы тяжести он пропускается через автоматически действующие весы 2 и затем попадает в питатель 3. Из питателя угли типа АШ прямо поступают в мельницу 4, а угли с повышенной влажностью поступают сначала в трубу-сушилку а. Попадая в нижнюю часть трубы, уголь подхватывается воздухом, идущим из



воздухоподогревателя. Смесь воздуха и топлива со скоростью порядка 25—40 м/сек (зависит от скорости витания частицы топлива) проходит по сушильной трубе *a* и затем попадает в мельницу 4. В нижней части трубы сушилки устанавливается уловитель колчедана 13 (рис. 92).

Если топливо очень влажное, то температура воздуха увеличивается за счет подмешивания газов, взятых из топки. Из мельницы пыль попадает в сепаратор 5, причем часть пыли, помол которой недостаточен, возвращается обратно в мельницу. Пыль требуемого помола идет в циклон 6, откуда поступает в промежуточный бункер 8 или реверсивным шнеком 7 передается в бункер соседнего котла. Из бункера пыль при помощи питателя 10 подается в горелки 11. Иногда схема пылеприготовления выполняется без промежуточного бункера. В таком случае вентилятор забирает пыль прямо из мельничного сепаратора и направляет ее в топку. Схема пылеприготовления упрощается, но промежуточный бункер вообще очень полезен, позволяя иметь запас пыли на 4—7 час. работы и поэтому обходиться без резервных мельничных агрегатов. Реверсивный шнек позволяет в случаях надобности использовать мельницу соседнего котла.

При схемах с промежуточным бункером можно хорошо использовать работу шаровой барабанной мельницы, так как, несмотря на колебания нагрузки котлов, загрузка мельницы будет равномерной и ее к. п. д. высоким.

При наличии трубы-сушилки транспортирование топлива до мельницы идет за счет дутьевых устройств котельной установки, причем транспортирующий воздух берется из общего воздухопровода 12. Начиная от мельницы и до циклона включительно, транспортирование аэропыли производится при помощи вентилятора 9, которому приходится преодолевать суммарное сопротивление порядка 600—1 000 мм вод. ст. Главнейшие сопротивления распределяются примерно так: сушильная труба — 150 мм, мельница — 200 мм, сепаратор — 100 мм, циклон — 150 мм и горелки — 100—200 мм.

Тот же вентилятор 9 производит транспортирование пыли, идущей из бункера через питатель 10 в горелки, а затем в топку. Скорость смеси воздуха (первичного) и пыли из горелок зависит от конструкции горелок и топочной камеры, а также и от горючести пыли. Эта скорость должна быть, очевидно, выше скорости распространения пламени, она колеблется в пределах  $15 \div \div 30$  м/сек. В горелку подается и вторичный воздух (рис. 84) со скоростями на выходе, близкими к указанным. Распределение воздуха зависит от влажности топлива и выхода летучих. Количество первичного воздуха колеблется в пределах 25—45%, меньшие цифры относятся к топливу с малым выходом летучих, например, АШ,

Тепловые характеристики работы камерных топок приведены в табл. 25 и 26.

Количественное и качественное регулирование процесса горения производится путем изменения количества подаваемой пыли и воздуха, а также варьированием подачи первичного и вторичного воздуха и тонкости помола. Критерием служит газовый анализ, по которому следует добиваться полного сгорания при максимальных значениях  $RO_2$ , возможно малой потери от уноса и отсутствия зашлаковывания труб.

Колебания тонкости помола сильно сказываются на потере от уноса.

Примером нормальных показателей потери в балансе тепла на служебные расходы, из которых около 70% падает на мель-

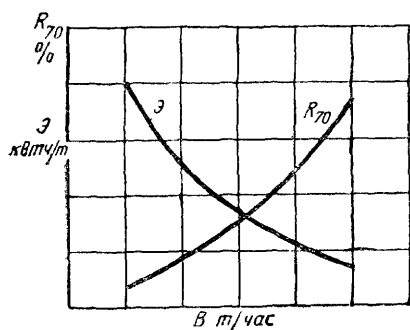


Рис. 93

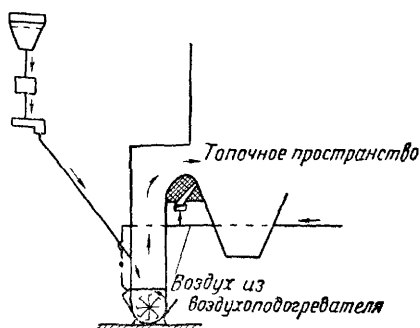


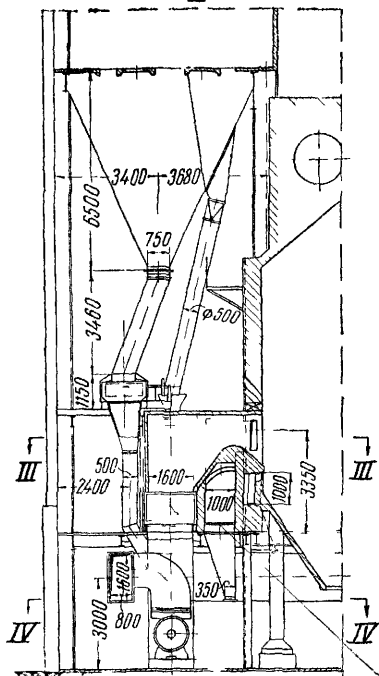
Рис. 94

ницу, могут служить данные, относящиеся к сжиганию подмосковного угля.

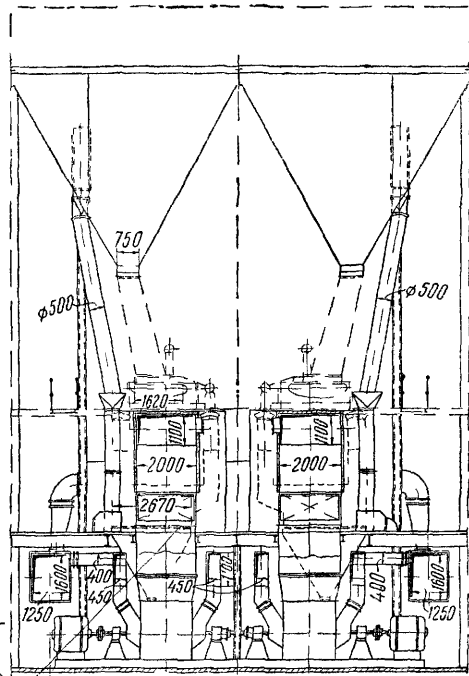
При помоле с остатком 20% на сите 4 900 отв/см<sup>2</sup> и подсушкой в сушильной трубе от  $W^p = 35$  до 22%  $q_{сл} = 2,5\%$ , т. е. к. п. д. нетто равен к. п. д. брутто минус 2,5;  $q = 1,5\%$ .

При более тонком помоле уменьшается потеря от механического недожога, а следовательно, увеличивается и к. п. д. брутто установки. Но не следует забывать, что с увеличением тонкости помола сильно возрастает расход на мельницу, а следовательно, увеличивается расхождение между к. п. д. брутто и нетто. Поэтому практически приходится мириться с наличием незначительного механического недожога, стремясь его доводить до минимума и обращая внимание в первую очередь не на тонкость помола, которая обходится дорого, а на улучшение условий сжигания в топочной камере.

На рис. 93 показано изменение расхода электроэнергии и тонкости помола (остатка на сите № 70) в зависимости от производительности  $B$  т/час шаровой барабанной мельницы.

Разрез I-I  
II

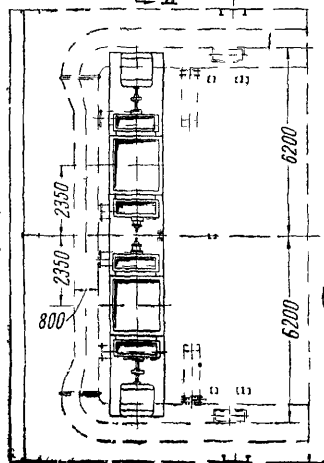
Разрез II-II



II

Колосниковая решетка

План-разрез IV-IV



План-разрез III-III

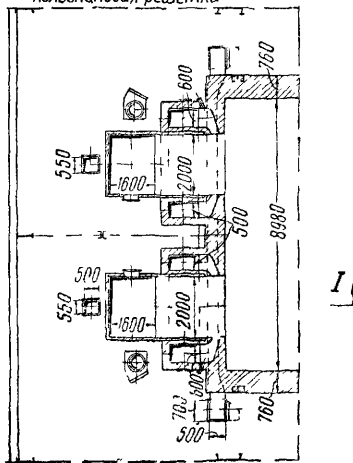


Рис. 95

Выше уже указывалось, что тонкость помола связана с выходом летучих. Для топлив, имеющих повышенный выход летучих веществ, можно не давать тонкого помола и нет оснований усложнять систему пылеприготовления, ее надо упростить. Это можно выполнить, применяя схему пылеприготовления с шахтно-мельничными топками.

Шахтно-мельничная топка дана на рис. 94 и 95. Топливо поступает в шахту, снизу которой расположена молотковая мельница. Образовавшаяся пыль за счет разрежения, имеющегося в топочном пространстве, засасывается в топку. В мель-

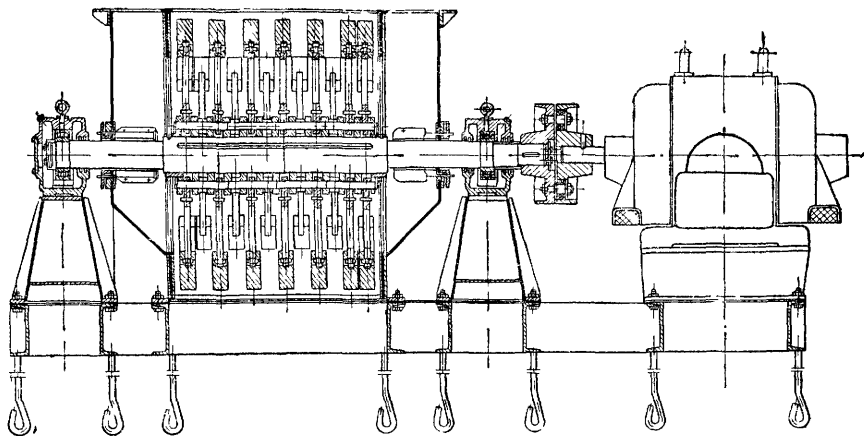


Рис. 96

ницу подводится горячее дутье от воздухоподогревателя. Подсушка топлива производится в основном в мельнице и частично в шахте, последняя является и сепаратором недомолотых частиц. На рис. 94 приводится схема пылеприготовления «мельничной топки»; пройдя весы и питатель, топливо попадает в шахту и затем в шахтную мельницу молоткового типа, из которой через ту же шахту-сепаратор аэропыль направляется в топочное пространство котла. Как уже отмечалось, мельница этого типа (рис. 96 и 97) дает более грубый помол, но зато расходует меньше электроэнергии.

По условиям сепарации, учитывая скорость витания частиц, в шахте придется иметь небольшие скорости — порядка 3 м/сек и менее, а при выходе из горелок, чтобы избежать обратного горения, скорость увеличивается до 3,5—5,5 м/сек. Вторичный воздух вводится в топочное пространство через особые отверстия, которые следует располагать ниже уровня амбразуры шахты.

Количество вторичного воздуха зависит от влажности и рода сжигаемого топлива и не снижается менее 40% от общей потребности. Высота шахты выбирается в зависимости от сечения шахты и обычно равняется не менее 4 м. Глубина топочного пространства на уровне горелок также не менее 4 м. При сжигании сильно влажного топлива желательно повышать температуру горячего воздуха до 350—400°.

Растопку топок для сжигания пылевидного топлива обычно производят твердым кусковым топливом, сжигая его в муфелях.

Мощность муфеля должна составлять 10—15% от мощности топки. На рис. 95 и 98 приводится пример конструктивного оформления такого муфеля, располагаемого рядом с шахтно-мельничной топкой. Муфель находится перед фронтом котла с выводом горячих газов в амбразуру топки.

При сжигании пылевидного топлива на тракте топливоподачи устанавливаются дробилки с целью предварительного дробления углей до размеров 10—12 мм при влажных углях и до 20—25 мм — при сухих. На тракте топливоподачи располагаются магнитные сепараторы, назначение

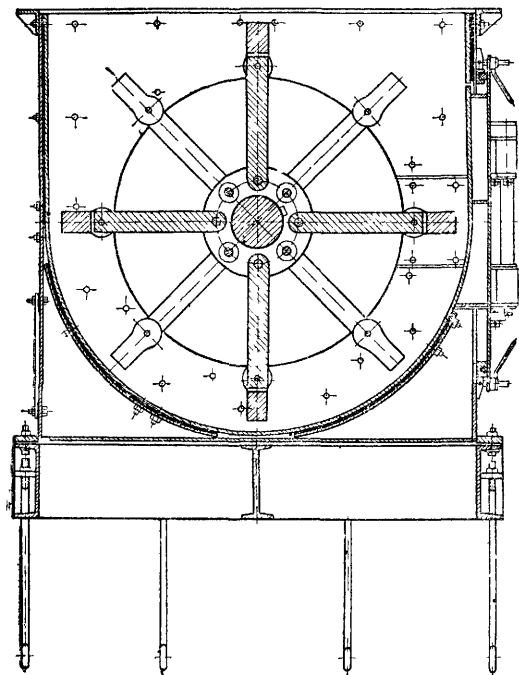


Рис. 97

которых — улавливать железные части, иногда попадающие в топливо (болты, гайки и т. п.) и могущие вызвать аварию мельницы. Схема подобного устройства приведена на рис. 99.

Шахтно-мельничные топки получили в настоящее время большое распространение. Упрощенная схема пылеприготовления с уменьшенным расходом электроэнергии на размол топлива дает возможность распространить метод сжигания топлива в виде пыли и в относительно мелких отопительных и производственных котельных. Работа советских теплотехников по усовершенствованию отдельных элементов шахтно-мельничных топок в отношении

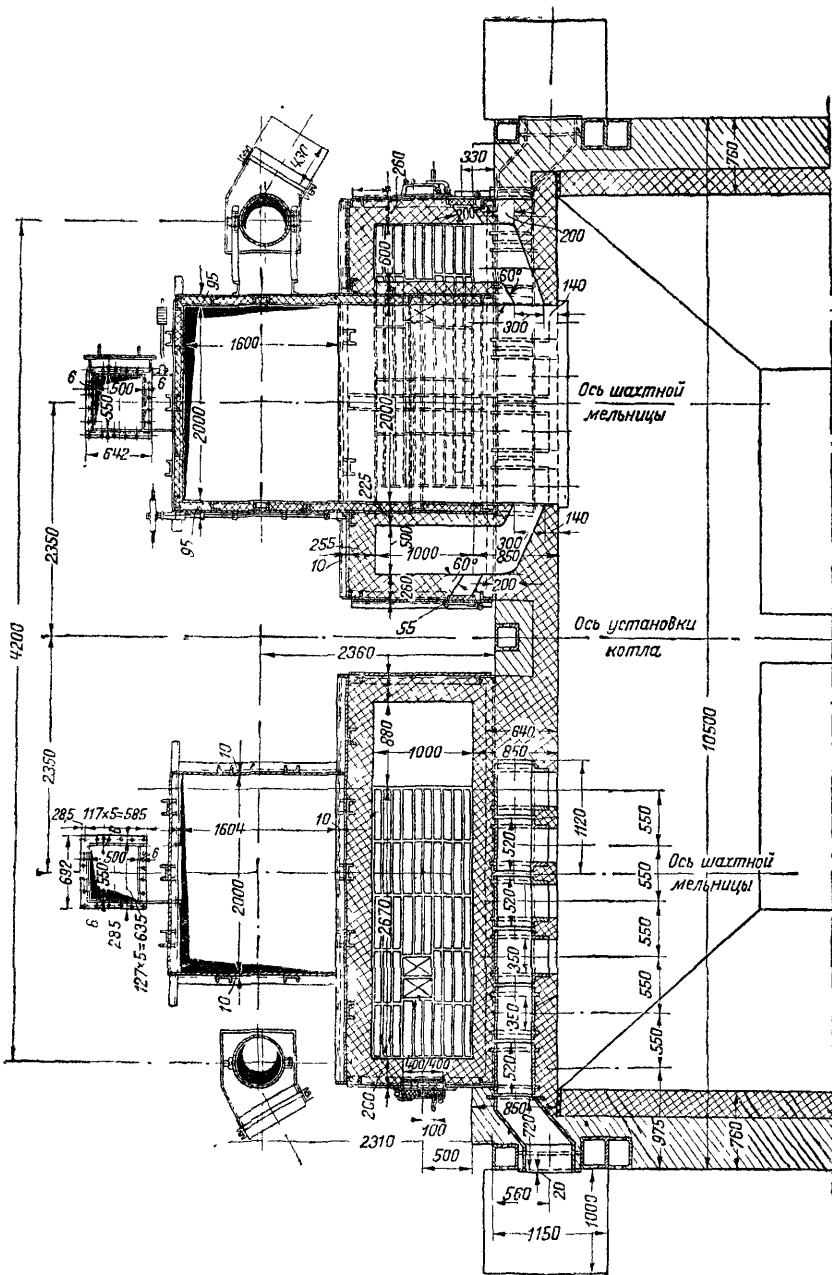


Рис. 98

главным образом сепарации пыли, ввода в амбразуры острого дутья, правильного распределения ввода первичного и вторичного воздуха позволяет использовать эти топки не только для сжигания бурых углей, фрезерного торфа, сланцев, словом, топлив, имеющих большой выход летучих и не требующих тонкого помола, но и каменных углей, когда у них выход летучих превышает 15—20%.

**Сжигание фрезерного торфа во взвешенном состоянии.** Методы сжигания фрезерного торфа определяются его структурой. Более 50% фрезерного торфа состоит из мелочи, наибольшие частицы которой не превышают 2 мм. Большой выход летучих у торфа ( $V = 70\%$ ) и высокая реакционная способность к горению позволяют сжигать его в пылевидном состоянии при грубом помоле. Фрезерный торф можно сжигать в камерных топках, причем желательнее совсем исключить мельницу, заменяя ее дробилкой,

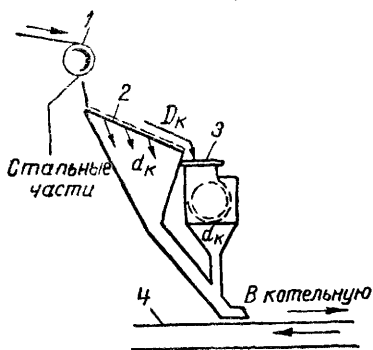


Рис. 99. Установка дробилки на тракте топливоподачи  
1—магнитный сепаратор; 2—грохот; 3—дробилка; 4—транспортер

необходимой для размельчения крупных, а также смерзшихся кусков. Из методов подобного сжигания в так называемом взвешенном состоянии следует выделить топочное устройство, предложенное лауреатом Сталинской премии инж. А. А. Шершневым.

В топках инж. Шершнева фрезерный торф не проходит предварительной подготовки, отсутствует мельница или вентилятор, ее заменяющий, и остается только одна дробилка. Топливо поступает в топочную камеру сверху, затем падает вниз, частично сгорая. Крупные частицы топлива подбрасываются снизу, направляясь опять вверх струей вдуваемого воздуха со скоростями порядка 40 м/сек. Отдельные частицы топлива будут, таким образом, циркулировать в топочном объеме до тех пор, пока не выгорят. Основным препятствием при освоении топков Шершнева были ошлакование стен камеры и вообще затруднения с удалением шлака. Полностью экранируя нижнюю часть топочной камеры (рис. 100), эти затруднения ликвидируют, причем почти вся зола выносятся в газоходы. С последним обстоятельством вообще приходится считаться при работе камерных топков, так как в нижнюю часть топочной камеры попадает незначительное количество золы. Чтобы не загрязнять окружающую местность золой, вынесенной в дымовую трубу, в котельную установку по выходе из нее отходящих газов включают улавливающие унос золоуловители.

Конечно, подобное оформление топочной камеры возможно

только в крупных котельных агрегатах силовых станций, где топки Шершнева и должны найти распространение. К тому же при

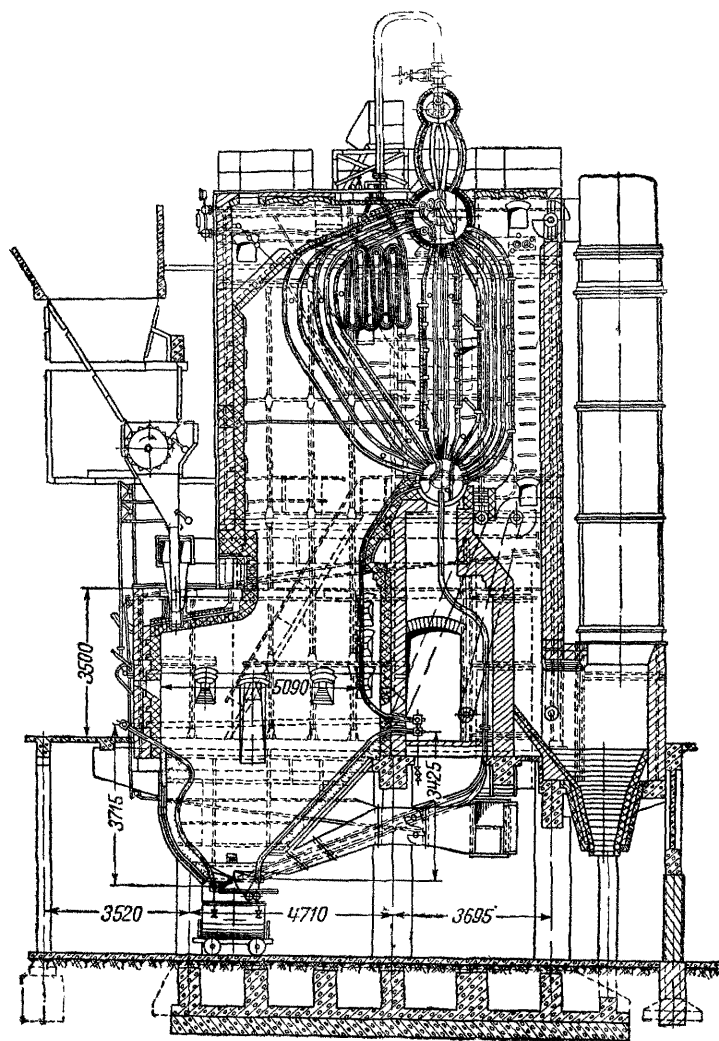


Рис. 100

больших объемах топки не будет сказываться на понижении температуры в топке сильное экранирование топочной камеры. Надлежащим образом запроектированные и оборудованные топки Шершнева по теплотехническим показателям своей работы при-



ближаются к цифрам, приведенным в табл. 25 и 26 для камерных топок, исключая только тепловое напряжение объема топочного пространства, обычно принимаемое равным  $\frac{Q}{V} = 120$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час.

Для сжигания фрезерного торфа в отопительно-производственных котельных установках, в условиях отсутствия золowego этажа

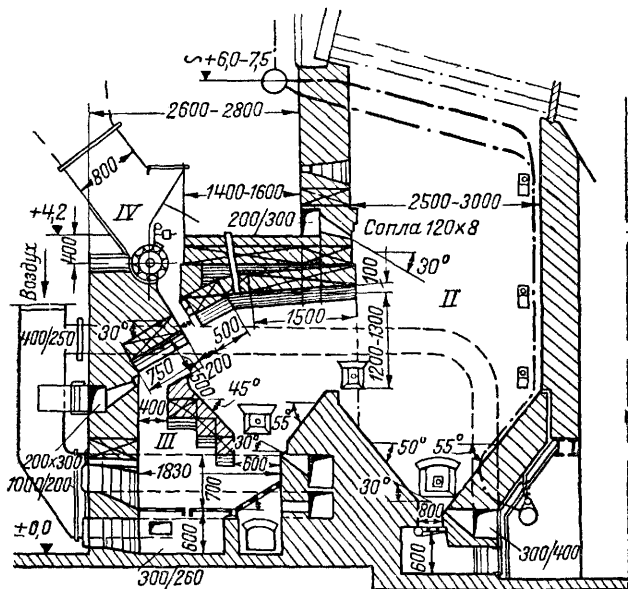


Рис. 101

и при ограниченных размерах объема топочного пространства, может быть применена трехкамерная топка Ивэнгерголепрома.

Топка (рис. 101) состоит из двух камер и подсушивающего муфеля. Как видно из чертежа, здесь, как и в топке Шершнева, использован принцип сжигания во взвешенном состоянии. В первой камере фрезерный торф главным образом подсушивается и только частично сгорает. Для обеспечения устойчивости процессов, происходящих в первой камере, весьма удачно снизу расположен муфель. В нем происходит слоевое сжигание торфа, а отходящие при этом газы пронизывают факел первой камеры. При обычной влажности фрезерного торфа порядка  $W^1 = 50\%$  топка может работать без горячего дутья, а ее стены могут и не иметь экранов. При  $\frac{Q}{V} = 200-300$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час и  $\alpha_r = 1,25$  достигаются довольно удовлетворительные в заданных условиях показатели:

$q_3 = 1,0\%$ ,  $q_4 = 4,5-6,5\%$ . Скорость воздуха, выходящего из сопел первой и второй камер, должна приближаться к  $40 \text{ м/сек}$ .

**Вихревые топки проф. Г. Ф. Кнорре.** Как уже указывалось, в топках для сжигания пылевидного топлива топочное пространство требуется значительно большее, чем в топках для сжигания слоевого топлива.

С целью уменьшения объема топочной камеры стремятся турбулизовать поток движущегося факела.

Стремление избавиться от предварительного размола мелкого топлива, имеющего и тому же высокий выход горючих летучих веществ (фрезерный торф, опилки, просяная лузга и т. п.), привело к созданию так называемой фонтанной топки, предложенной А. А. Шершневым. Однако уменьшение объема топочного пространства при высоких показателях тепловой работы топки оказалось возможным только при правильной организации аэродинамики топочного факела. В этом отношении большая работа была проведена проф. д-ром техн. наук Г. Ф. Кнорре, под руководством которого работниками ЦКТИ изучались аэродинамические особенности различных вариантов топок А. А. Шершнева для сжигания фрезерного торфа, в результате чего и получилась совершенная конструкция топки, приведенная на рис. 100.

Проф. Г. Ф. Кнорре предложил применять при факельном сжигании топлива циклонный принцип организации движения топочного факела, который достаточно хорошо освещается приводимыми на рис. 102 и 103 двумя топками Г. Ф. Кнорре. На рис. 102 изображена топка для сжигания просяной лузги. Дутьевой воздух подводится винтообразно снизу вследствие образовавшейся зоны пониженного давления в центре вихря; поступающая в верхнюю часть вихря лузга засасывается вниз, там подхватывается воздухом и горячими продуктами сгорания, сгорает, и отходящие газы с частью еще не успевшего сгореть топлива направляются в дожигательную камеру вместе с золой.

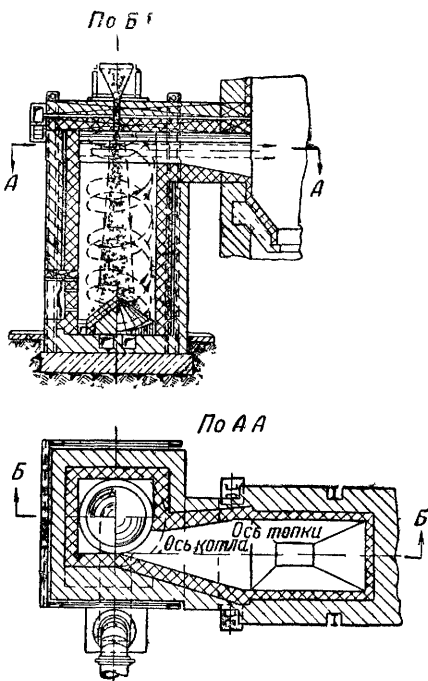


Рис. 102

По данным испытания,  $\frac{Q}{V} = 2\,000$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час, причем

при уменьшении этой цифры процесс сгорания начинает терять устойчивость. Потеря от механической неполноты сгорания отсутствовала, вся зола выносилась в газоходы.

На рис. 103 приводится конструкция вихревой топки для сжигания фрезерного торфа под двухжаротрубным котлом. Здесь обратным потоком, возникающим в центре вихря, возвращаются твердые, еще не сгоревшие частицы топлива, подмешиваясь

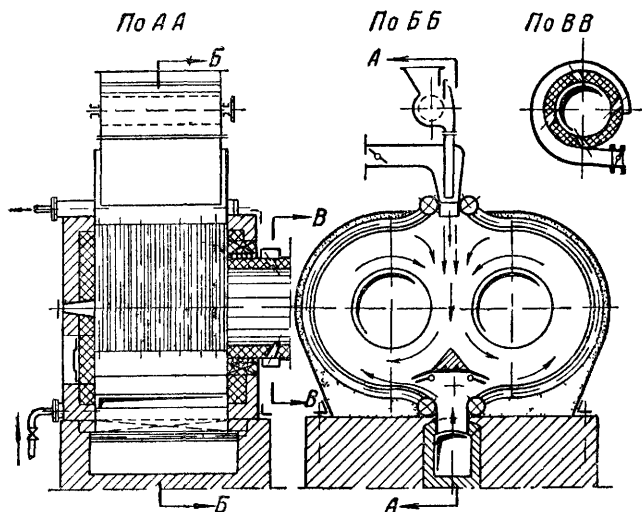


Рис. 103

к частицам, вступающим в горение. Чтобы избежать быстрого истирания кирпичных сводов торфяной крошкой, топочное пространство овальной формы выполняется из котельной стали, к которой с целью охлаждения и гранулирования шлака вплотную примыкают трубы водяных экранов. В обечайки, присоединяющие топку к жаровым трубам котла, винтообразно, через тангенциальные отверстия, вводится третичный воздух, что способствует лучшему сгоранию топлива, а также выносу всей золы за пределы жаровых труб. Вихревые топки требуют повышенных скоростей вводимого в них воздуха, например, скорость третичного воздуха должна быть порядка 50—70 м/сек.

Топка предназначалась для обслуживания жаротрубного парового котла, незначительная высота которого не позволяла включить в циркуляцию котла топочные экраны. Вводить же искусственную циркуляцию путем добавления насоса, перекачивающего

циркулирующую воду, для небольшой установки может оказаться невыгодным.

Для водогрейных котельных через экраны можно пропускать всю обратную воду из сети, направляя ее затем в котел.

Устойчивый процесс горения, как уже указывалось, сохраняется при напряжениях топочного объема в пределах  $\frac{Q}{V} = 2000$  тыс. ккал/м<sup>3</sup> час, что обуславливает для парового котла в 100 м<sup>2</sup> паросъем порядка 55 кг/м<sup>2</sup>час. В большинстве случаев столь высокий паросъем будет нежелателен, так как не удастся, как это будет обосновано ниже, развить должную поверхность экономайзера. При водогрейном котле эти препятствия устраняются. Частичное использование вихревого принципа постепенно внедряется как для слоевого сжигания (трехкамерная топка, рис. 101), так и пылевидного. На рис. 104 приводится схема шахтномельничной топки ВТИ, видоизмененной Кировэнерго, работающей на фрезерном торфе.

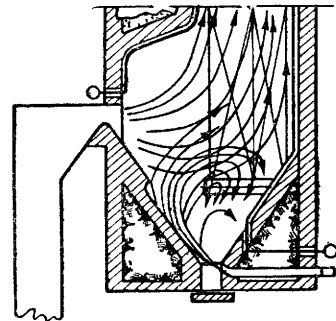


Рис. 104

**Топки с жидким шлакоудалением.** Стремление сделать компактными топки для сжигания пылевидного топлива встречает ряд препятствий. Вводя турбулизацию в поток горящего факела, можно в значительной степени ускорить процесс сжигания пылинок топлива — их газовой и коксовой составляющих, а следовательно, и уменьшить объем топочной камеры.

Уменьшение объема топки одновременно снижает величину экранных поверхностей нагрева, что скажется на повышении температуры газов, входящих в первый газоход, и может у него вызвать зашлакование первых труб.

Характерной особенностью пылевидного сжигания по сравнению со слоевым является вынос подавляющего количества золы в газоходы. Это побуждает прибегать к усиленной обдувке, чтобы избежать ухудшения теплопередачи в газоходах котлоагрегата, и устанавливать сложную газоочистку, чтобы уменьшить износ лопаток дымососов и загрязнения золой окружающей местности.

Как известно, с увеличением скорости газов в газоходах растет коэффициент теплопередачи, но одновременно увеличивается газовое сопротивление газоходов. Примесь золы в отходящих газах не позволяет развить наиболее выгодные скорости по газоходам котельного агрегата — порядка 25 м/сек, так как трубы начнут быстро выходить из строя вследствие износа их от истирания летучей

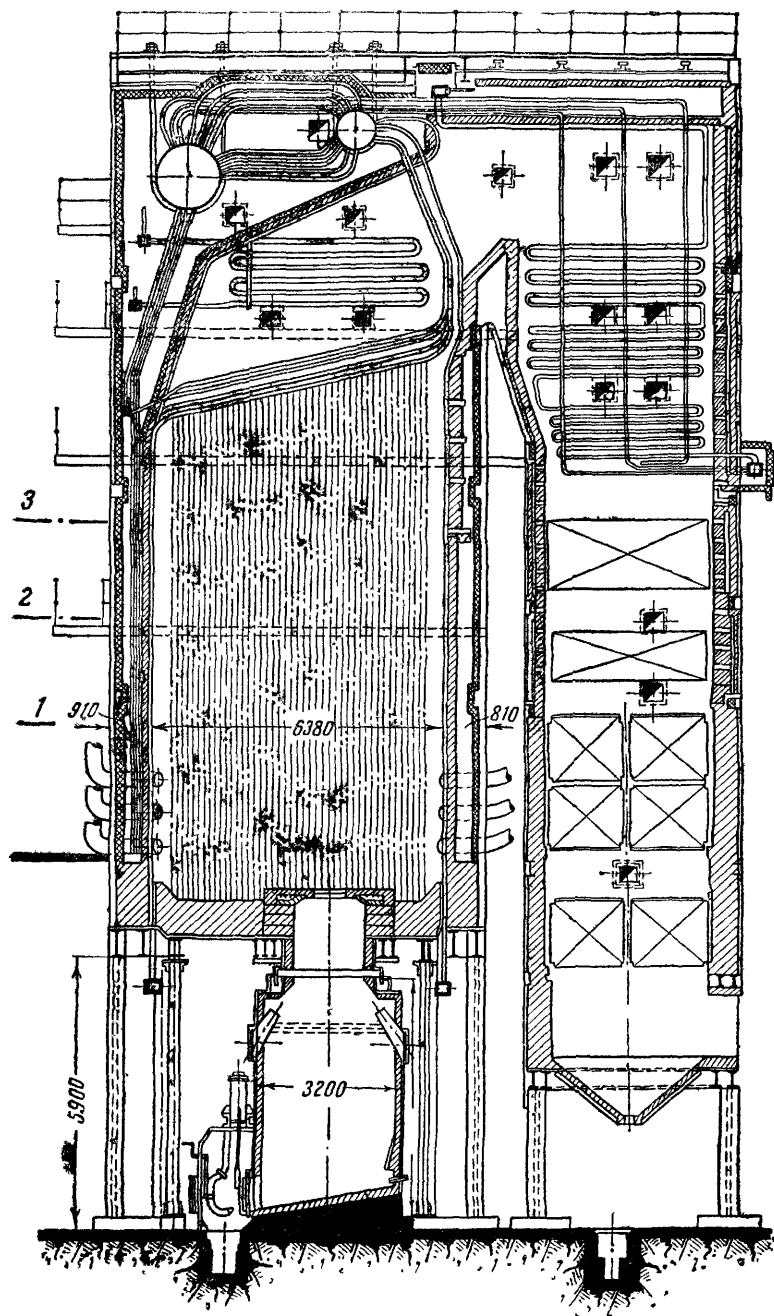


Рис. 105

золой. Указанное обстоятельство побуждает снижать скорость газов, выбирая последние в пределах 8—13 м/сек.

Все перечисленные недостатки могли бы быть исключены в топках с жидким шлакоудалением, где большая часть шлака не выходит из пределов топки, оставляя значительно более чистыми идущие по газоходам газы.

На рис. 105 изображена пылеугольная топка с жидким шлакоудалением. В топках при жидком шлакоудалении трубы экранов в процессе эксплуатации покрываются шлаком, вследствие чего уменьшается тепловосприятие экранной частью котла и повышается температура в отдельных участках топочной камеры. Последнюю можно подразделить на три горизонтальных пояса (зоны). В зоне 1, считая снизу, располагаются горелки; при горении пыли в этой зоне развиваются высокие температуры, превышающие температуру пластического состояния шлака. Жидкий шлак по трубам экрана стекает в нижнюю часть топки. В зоне 2 факел имеет уже пониженные температуры, вследствие чего трубы экранов в этой зоне покрываются вязким, трудно удаляемым шлаком. Бороться с указанными наростами шлака можно путем надлежащей организации процесса горения факела, с тем чтобы горение заканчивалось в зоне 1. В таком случае шлак в зоне 2 будет находиться в окислительной среде при отсутствии продуктов неполного сгорания, вследствие чего он становится более тугоплавким. Для зоны 3 требуется, чтобы температура топочного факела была ниже температуры начала деформации шлака, что обеспечивает его удаление путем обдувки струей пара или воздуха как труб экрана, так и газохода котла.

Потребность в достаточном развитии зоны 3 не позволяет сильно поднять общее тепловое напряжение топочного объема, которое не превышает 200 тыс. ккал/м<sup>3</sup> час.

Как уже указывалось, шлак сливается в нижнюю часть топочной камеры на горизонтальный под, на котором находится жидкий шлак, далее сливающийся в шлакоприемную камеру. Из камеры шлак периодически или непрерывно удаляется в систему гидравлического золоудаления.

С целью придания котлоагрегату универсальности с возможностью организации сжигания пыли при сухом или жидком шлакоудалении ведутся исследования по замене горизонтального пода обычной шлаковой воронкой с расположением под ней шлаковой камеры.

Изучение работы топок при жидком шлакоудалении, проводимое ОРГРЭС, ВТИ, ЦКТИ и др. на котлоагрегатах различных конструкций и паропроизводительности, дает полное основание для форсирования внедрения подобных методов сжигания твердых топлив при соответствующей реконструкции котельных агрегатов в целом.

## § 49. ТОПКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ

**Условия работы и схема топок.** Нефтяные остатки сжигаются в камерных топках. Распыливание жидкого топлива производится форсунками, которые разбиваются на три группы:

- а) форсунки с паровым распыливанием;
- б) механические форсунки;
- в) форсунки с воздушным распыливанием.

Здесь аналогично с пылевидным топливом чем мельче будет распыливание, тем меньше объем капли, горящей с поверхности, тем скорее капля сгорит и уменьшится потребный объем топочного пространства.

Под горением в данном случае подразумевается сложный процесс парообразования, газообразования и горения как газообразной, так и жидкой фазы. Завихривание струи воздуха и распыленного мазута при горячем дутье также хорошо влияет на ускорение процесса горения и на уменьшение необходимого для полного сгорания избытка воздуха. Зола в нефтяных остатках отсутствует (имеются ничтожные следы), поэтому не приходится опасаться плавления шлаков при высоких температурах, но все же нельзя чрезмерно повышать температуру при входе в первый газопровод, так как это невыгодно с точки зрения использования поверхностей нагрева, воспринимающих излучение топочного факела. К тому же, если стены топки не защищены экранами, начинает разрушаться обмуровка. Шамотный кирпич высшего сорта при температуре порядка  $1500^{\circ}$  еще не доходит до оплавления, но падают его термическая прочность и сопротивление сжатию, что в первую очередь скажется на прочности обмуровки. Постановкой водяных экранов достигается правильное использование тепла при минимальных расходах на ремонт обмуровки.

В отопительных установках котлы с незначительными поверхностями нагрева часто или не имеют вовсе водяных экранов, или они бывают недостаточно развитыми. Поэтому в отопительных установках при эксплуатации камерных топок, сжигающих мазут, не дают очень высоких тепловых напряжений топочному объему, а иногда даже искусственно повышают избыток воздуха, чтобы тем снизить температурный режим в топке. Увеличение избытка воздуха поведет к увеличению потери тепла с отходящими газами и ухудшению к. п. д., но одновременно уменьшатся расходы на ремонт обмуровки, так что приходится практически устанавливать экономически наиболее выгодный режим установки.

Оборудование камерной топки для сжигания мазута довольно несложно и в основном состоит из топочной камеры и форсунок.

Топочная камера выкладывается, как обычно в  $2\frac{1}{2}$  кирпича с огнеупорной футеровкой в 1 кирпич. Учитывая высокие темпера-

туры, развивающиеся в топке, стены обмуровки снабжают каналами, по которым проходит воздух, требующийся для горения и направляющийся в топку.

Воздух подогревается, охлаждая обмуровку, движение его по каналам происходит или за счет разрежения в топочной камере, или путем дополнительной установки для этих целей дутьевого вентилятора.

Распыливание мазута, как указывалось, производится посредством струи пара или воздуха, либо при помощи особых насадков, пульверизаторов, в которые мазут подается насосом под давлением (механическое распыливание).

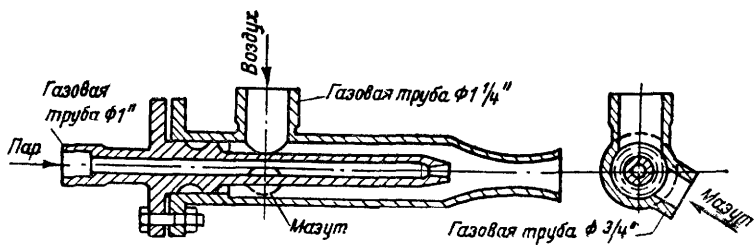


Рис. 106

**Паровые форсунки.** Тонкость распыливания мазута зависит от того, насколько совершенно будет производиться разрыв струи жидкого топлива на капли при помощи струи пара.

Тонкость распыливания связана со скоростью паровой струи: чем выше эта скорость, тем тоньше распыливание. Поднять скорость паровой струи путем повышения давления не удастся, так как при выходе из отверстия уже при давлении 1,5 атм скорость пара будет критической, равной около 400 м/сек.

Если паровую струю, перед тем как она будет использована на цели распыливания, пропустить через сопло Лавалю, то скорость пара повысится и тем самым увеличится тонкость распыливания. Дополнительно возможно повлиять на уменьшение радиуса капли путем устройства в самой форсунке особой камеры распыливания, в которой при некотором подпоре повышается удельный вес среды распыливания.

Необходимо отметить, что одной из наиболее экономичных форсунок, дающих хорошее распыливание при минимальном расходе пара ( $W_{\phi} = 0,2-0,3$  кг на 1 кг распыленного мазута), является насчитывающая десятки лет существования форсунка Данилина (рис. 106), в которой как раз имеются сопло Лавалю и камера распыливания. Изготавливаемые в настоящее время форсунки ЦККБ в основном повторяют эту же конструкцию (рис. 107). Форсунки Данилина хорошо работают при давлении



пара в подводящих трубопроводах не ниже 10 *ати*, причем нефтяной бак, из которого при паровом или воздушном распыливании струя мазута идет в форсунку самотеком, может располагаться

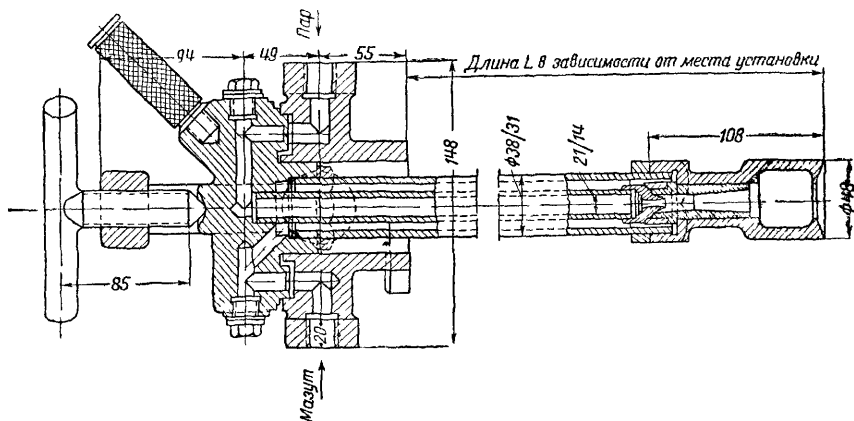


Рис. 107

только немного выше самой форсунки, так как струя мазута подсасывается струей пара, выходящей из сопла. При давлении пара

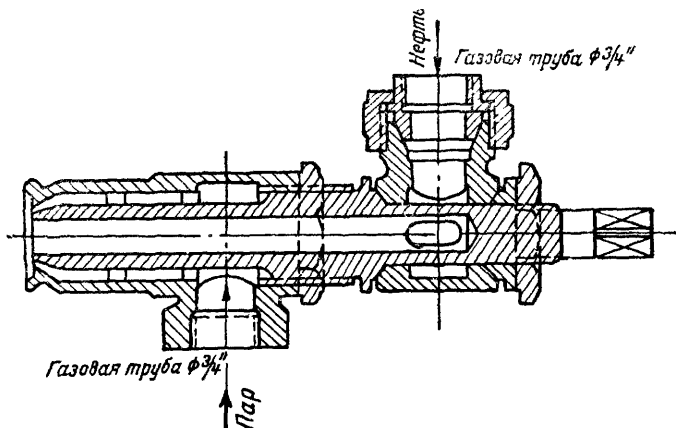


Рис. 108

ниже 10 *ати* дает хорошее распыливание весьма распространенная форсунка Шухова (рис. 108). Вывод пара для распыливания здесь осуществляется при помощи кольцевого сечения, не создающего сколько-нибудь значительного сопротивления; необходимо только следить, чтобы паровая щель была не больше 1 мм, иначе

повышается и притом бесполезно  $W_{\phi}$ . Хорошие показатели были получены также при испытании форсунки по типу, приведенному на рис. 109, дающей наиболее короткий факел, в которой мазут подводится снизу вверх, а пар перерезает выходящую струю мазута в перпендикулярном направлении. Эта форсунка в отличие от предыдущих круглых—плоская.

Расход пара на форсунки Шухова и плоского типа  $W_{\phi} = 0,3-0,5 \text{ кг/кг}$ .

Паровые форсунки дают хорошее распыливание и сравнительно короткий факел, поэтому применяются в топках с небольшой глубиной. Преимуществом этих форсунок являются надежность в работе и простота эксплуатации. Отрицательной стороной парового распыливания являются снижение к. п. д. нетто на 3—4% и потеря конденсата. Добавочная вода проходит довольно сложную и дорогую водоподготовку, и ее следует экономить.

Более экономичны форсунки с механическим распыливанием.

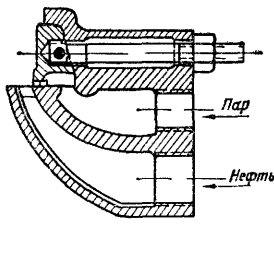


Рис. 109

**Механические форсунки.** Тонкость распыливания мазута при механических форсунках связана с размерами отверстий, их расположением в головках форсунок (пульверизаторах) и вязкостью мазута. Чем меньше эти отверстия и чем выше скорости выходящих из головок струек мазута, попадающих в среду подводимого для горения воздуха, тем тоньше получается распыливание. Оба отмеченных условия требуют значительного повышения давления мазута, подводимого к форсункам.

Чтобы форсунки хорошо работали и не часто засорялись, мазут дважды тщательно фильтруют—вначале через грубые сетки, а затем через тонкие. Последние имеют весьма малые отверстия—169 отверстий на  $1 \text{ см}^2$ .

Для уменьшения вязкости мазута его подогревают до температур, указанных в табл. 14.

Подача мазута производится насосами, обеспечивающими напор 15—20 ат. Для постоянной работы лучше применять насосы центробежного типа, так как они дают более равномерную подачу, чем поршневые.

В целом при механическом распыливании оборудование получается более дорогим и сложным и требует внимательного обслуживания. При этом, однако, служебные расходы, считая на 1 кг сжигаемого топлива, будут ниже, чем при паровых форсунках.

При механическом распыливании служебные расходы составляют около 1%.

На рис. 110 дан чертеж одной из хорошо работающих механических форсунок ЦККБ.

Мазут идет по трубе, далее через мелкие отверстия шайбы *а* попадает в пластинку *б* с прорезами, заставляющими завихриваться струю мазута, и, вращаясь, выбрасывается из отверстия шайбы *в*, по пути самораспыливаясь.

**Форсунки с воздушным распыливанием.** В металлургических печах пользуются для распыливания нефтяных остатков возду-

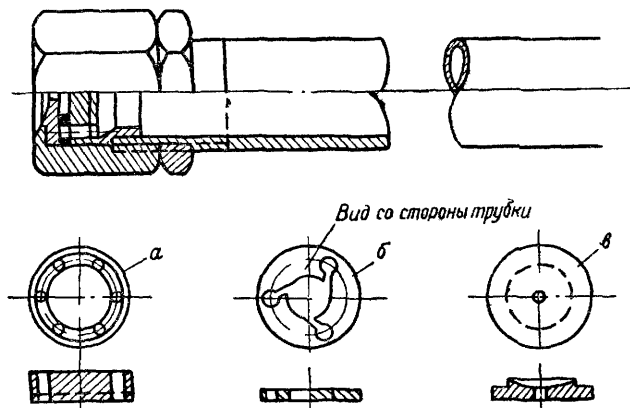


Рис. 110

хом. Пониженные по сравнению с паром скорости воздуха влияют на тонкость распыливания, оно получается довольно грубое, вследствие чего увеличивается путь горения капель, удлиняется факел — явление, в котельных установках нежелательное. В последнее время в связи с улучшением эффекта распыливания в таких форсунках они стали проникать и в отопительные котельные установки. Форсунки с воздушным распыливанием иногда применяются в водогрейных котельных, где нет пара для распыливания мазута.

На рис. 111 и 112 показана подобная форсунка системы Оргэнерго производительностью до 35 кг мазута в 1 час при давлении воздуха, подаваемого от вентилятора высокого давления, 350 мм вод. ст.

В табл. 25 даны значения  $\alpha_t$  и  $\frac{Q}{V}$  для механических и паровых форсунок.

При экранировании топок в крупных котельных значения  $\alpha_t$  могут быть еще снижены,  $\frac{Q}{V}$ , наоборот, повышены.

При сжигании мазута в жаротрубных котлах, учитывая хорошее заполнение объема трубы факелом и полное экранирование, тепловые напряжения могут приниматься приблизительно в 2 раза более высокими по сравнению с данными табл. 25.

**Регулировка работы форсунок.** Большинство форсунок, как правило, работает лучше при повышенных форсировках. Происходит это от того, что, при регулировании дросселированием при пониженных нагрузках расход пара в паровых форсунках, воз-

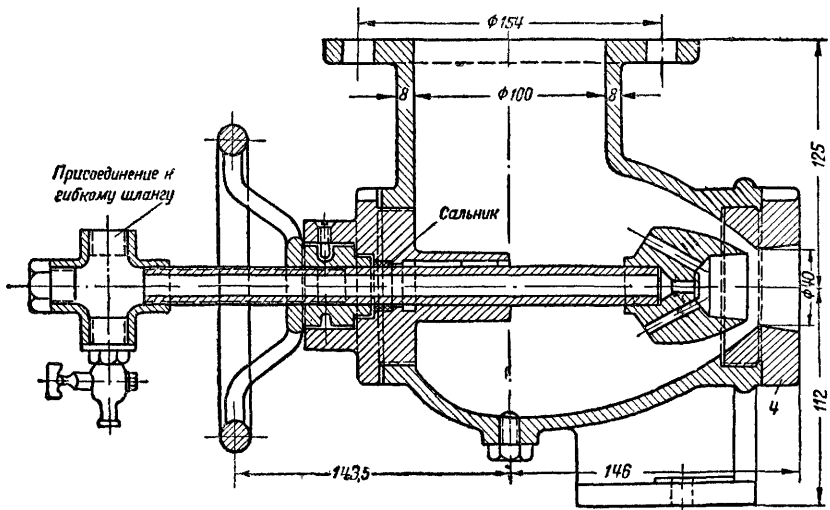


Рис. 111

духа и мазута — в воздушных и механических, ухудшаются условия распыливания, так как понижаются скорости капель и среды распыливания. Поэтому при уменьшении нагрузки котла лучше выключать часть форсунок, оставляя остальные работать с нормальной производительностью. Обыкновенно минимальный расход мазута, приходящийся на одну форсунку, бывает не меньше 35 кг/час. В мелких котельных при ограниченности количества форсунок подобное сокращение числа работающих форсунок или неосуществимо, или поведет к перекосу в работе топки.

Поэтому в конструкцию форсунок желательно внести приспособления, позволяющие изменять размеры соответствующих отверстий, пропускающих мазут, воздух или пар, без дополнительного дросселирования.

Принципиальная схема форсунки, изменяющей свою производительность без дросселирования, приводится на рис. 113.

Мазут нагнетается в форсунки насосом, причем часть мазута сливается назад в бак. Указанным на рисунке вентилем устанавливается требуемый расход на распыливание без уменьшения давления перед форсункой.

Изменяя расход нефтяных остатков, одновременно следует увеличить или уменьшить количество воздуха, подаваемого для горения, а также соответственно изменить и тягу. Мазутному

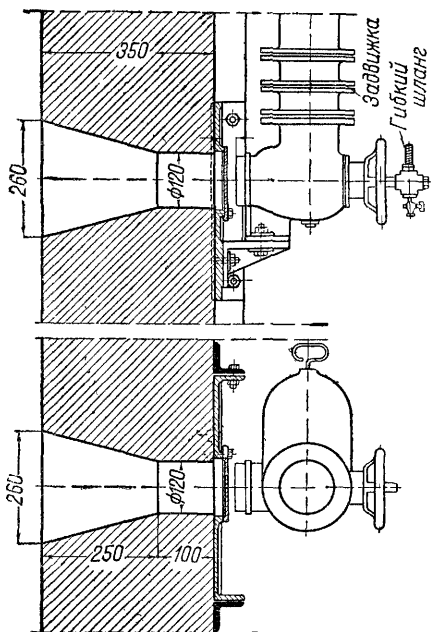


Рис. 112

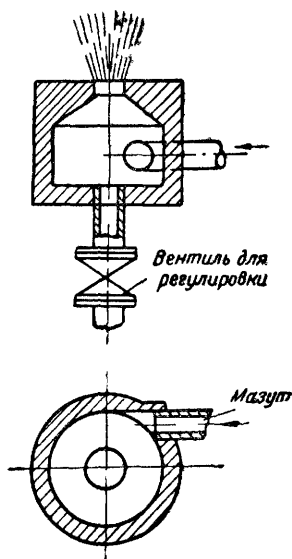


Рис. 113

факелу дается винтообразное движение. Это увеличивает угол распыливания, способствует созданию в центре конусообразной струи, так называемого пустого конуса, в итоге облегчается распад струи на тончайшую пыль.

**Процесс горения мазута.** Попадая в топочную камеру, мазут под влиянием высоких температур начинает частично испаряться, окисляться, молекулы отдельных составляющих вступают в горение или разлагаются на простейшие. Если подать весь воздух, требующийся для сгорания, к началу факела, то, естественно, на этом участке топочного объема установится большой местный избыток воздуха и лучше будет происходить перемешивание воздуха с мазутом, что, в свою очередь, будет способствовать улучшению процесса горения. Поэтому топки проектируют так, чтобы

весь воздух для горения мазута подводился к началу факела.

**Детали устройства топок и мазутоподготовки.** При сжигании нефтяных остатков в топках жаротрубных котлов высказанное в предыдущем абзаце требование осуществляется естественно, так как воздух и нельзя подвести иначе, как к началу факела.

Мазут — топливо высокосортное, и максимальное развитие при его сжигании прямой отдачи весьма желательно. Однако при

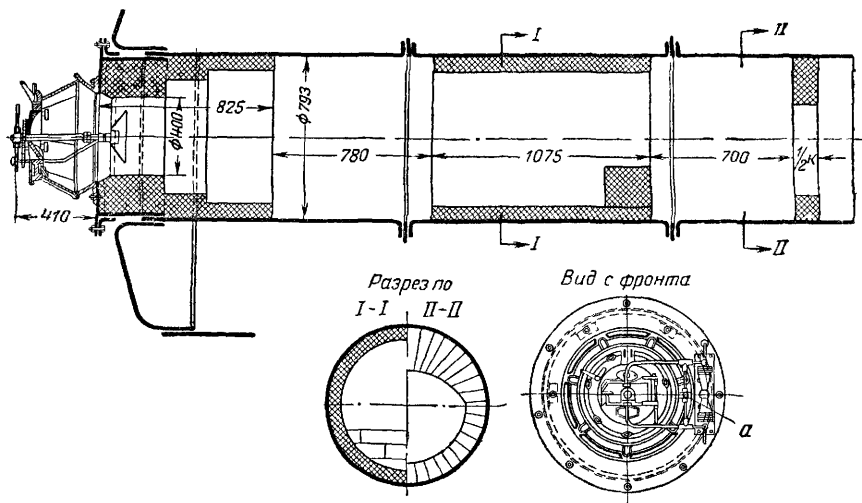


Рис. 114

сравнительно малом поперечном сечении факела, располагающегося в жаровой трубе, он у своего корня может переохладиться, и поэтому жаровую трубу частично футеруют. Кроме того, создают пороги с целью перегибания факела и лучшего перемешивания топлива и воздуха. Подведение воздуха к началу факела необходимо и всегда полезно, но прохождение воздуха в больших массах и с повышенными скоростями непосредственно у выхода факела из форсунки иногда вызывает пульсацию и отрыв факела — запаздывание его загорания. Тогда форсунку защищают особым чехлом (рис. 114). На том же рисунке дан вид с фронта и в продольном разрезе — на подобную топку. Форсунка вводится в особый регистр, которым регулируют подачу воздуха в нужном количестве.

Эта регулировка производится поворачивающимися лопастями, одновременно придающими входящему воздуху винтообразное движение. К паровой форсунке присоединяются две трубки, подводящие пар и мазут. Трубки соединяются между собой. От-

крывая кран *a*, можно производить продувку паром нефтяной части форсунки.

Обе трубки, с одной стороны примыкающие к форсунке, другими своими концами присоединяются к трубам, могущим поворачиваться около вертикальной оси и укрепляемым в сальниках. Этим достигается возможность отведения форсунок в бок в случаях прекращения работы, когда при отсутствии охлаждающего влияния струй пара и мазута форсунка будет перегреваться под действием высоких температур излучающей обмуровки, в особенности у котлов с внешними топками.

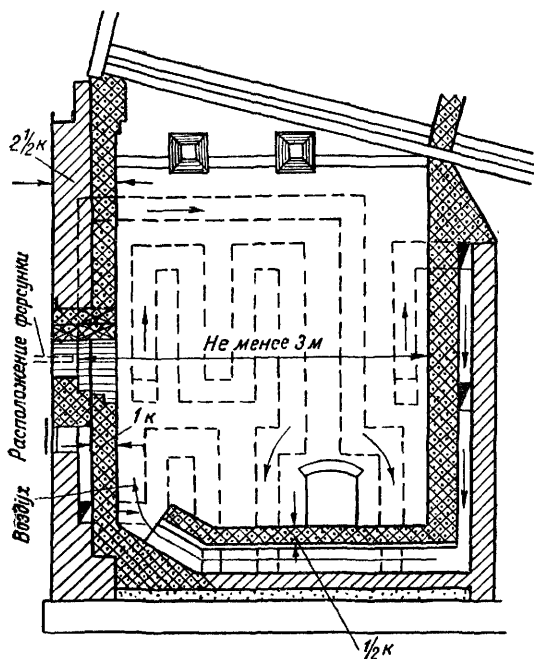


Рис. 115

В крупных установках при паровом или механическом распылении воздух вдувается в топку особым вентилятором, ввод воздуха в топочную камеру производится в местах установки форсунок через регистры, аналогичные описанным выше.

Давление воздуха в коробе, куда в таком случае помещаются регистры, следует держать 30—60 мм вод. ст. При наличии регистров улучшается завихривание струй и можно обеспечить полное горение при малых избытках воздуха.

В мелких установках подача воздуха в топку осуществляется только за счет разрежения в топке. Пропускать весь воздух через регистры в таких случаях бывает затруднительно, так как повышается их газовое сопротивление. В таких случаях значительное количество воздуха пропускают по каналам в обмуровке топочной камеры и затем выпускают его к началу факела, как это указано на рис. 115.

Если каналы не выполняются, то при сжигании мазута толщину футеровки огнеупорным кирпичом приходится делать в  $1\frac{1}{2}$  кирпича, иначе начинает разрушаться наружная часть обмуровки, выкладываемая из красного кирпича.

Как отмечалось ранее, перед поступлением в форсунки мазут подогревается. В зависимости от вязкости температура мазута должна быть не менее  $60-90^{\circ}$ ; в подобных условиях мазут получается жидким, обеспечивающим хорошие условия его сжигания. При сжигании мазутов с повышенной вязкостью их предварительный подогрев приходится доводить до  $90-110^{\circ}$  (подробнее — в табл. 14). Этот подогрев производится в поверхностных подогревателях. Чтобы избежать застывания мазута в трубах, мазутопроводы укладывают в непосредственной близости с паропроводами. На мазутопроводах должны быть предусмотрены патрубки для возможности производства продувок паром. В верхних пунктах мазутопроводов следует поставить воздушные краны, которые открывают при спуске мазута в дренажный бак.

При паровом распыливании мазут к форсункам можно подводить самотеком из расходного бака, который оборудуется паровым змеевиком.

Баки дренажный и расходный, безразлично, для каких марок мазутов они предназначаются, должны быть закрытыми, их необходимо снабжать трубами диаметром не менее 50 мм, сообщаемыми с наружным воздухом.

Расходные баки должны располагаться в помещении, изолированном от котельной огнестойкими стенами. Для мелких котельных допускается установка расходного бака непосредственно в помещении котельной, причем емкость его не должна превышать  $0,5 \text{ м}^3$ . Для определения уровня нефти в баке водомерные стекла не допускаются, надо устанавливать показатель уровня поплавкового типа. Бак должен быть снабжен переливной трубой с выводом в дренажный нижний бак.

## § 50. ТОПКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГАЗА

При изучении процесса горения топлива отмечалось, что наилучших условий для сжигания топлива можно достигнуть при совершенном перемешивании частичек топлива и воздуха. В таких случаях полное сгорание топлива обеспечивается при минимальных избытках воздуха.

Сжигая твердое топливо в виде пыли в камерных топках, в значительной степени удается приблизиться к указанным характеристикам хорошей работы топочного устройства. Наиболее высоких показателей можно достигнуть при сжигании в камерных топках мазута и особенно газа, так как при минимальных значениях избытка воздуха и потери от химической неполноты сгорания при сжигании газа отсутствует потеря от механического недожога.

Практически при сжигании газового топлива в отопительно-производственных котельных установках приходится встречаться



главным образом со следующими разновидностями горючих газов:

- 1) природный газ;
- 2) искусственный газ (коксовый, генераторный, нефтяной) и смесь природного и искусственного газа;
- 3) доменный газ.

В условиях Москвы сжигается природный газ и газ смешанный.

Природный газ в процентах по объему имеет в среднем следующий состав:  $\text{CH}_4 = 94,0\%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 1,2\%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,7\%$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,4\%$ ;  $\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,2\%$ ;  $\text{CO}_2 = 0,2\%$ ;  $\text{N}_2 = 3,3\%$ . Удельный вес газа  $\gamma_0 = 0,765 \text{ кг/нм}^3$ , и теплотворная способность сухого газа  $Q_n^c = 8533 \text{ ккал/нм}^3$ .

Смешанный газ может иметь различный состав в зависимости от вида и соотношения тех газов, которые в него входят. Например, в условиях Москвы в состав смешанного газа входят: природный газ, коксовый газ, нефтяной газ — отходы, воздушный и водяной генераторные газы.

Теплотворная способность этого смешанного газа в зависимости от количественных соотношений составляющих его газов колеблется от 5 000 до 7 000 ккал/нм<sup>3</sup>.

**Методы проектирования горелок.** Качественные показатели при сжигании газа зависят главным образом от конструкции газовой горелки.

Чтобы достигнуть полного сгорания при минимальном значении коэффициента избыточного воздуха, необходимо хорошо предварительно, перед сжиганием, перемешать воздух с газом, причем перемешивание с воздухом скорее достигается у мелких струй газа, чем у крупных.

При проектировании горелок требуется, чтобы при выходе газозвушной смеси из смесительной камеры горелки скорость газозвушной смеси была бы выше скорости распространения пламени в ней, в противном случае получается проскок пламени в смесительную камеру горелки. Для устойчивого воспламенения и горения газозвушной смеси важно иметь равномерное распределение скоростей газозвушной смеси в устье горелки. С явлением проскока пламени можно бороться путем уменьшения диаметра выходных отверстий из смесительной части горелки. Чрезмерно большие выходные скорости недопустимы, так как пламя может оторваться от устья горелки.

Хороших результатов в отношении перемешивания газозвушной смеси и выравнивания поля скоростей по сечению можно достигнуть в смесительных газовых горелках, в которых газ засасывает воздух и далее нагнетает газозвушную смесь.

Давление газа в городских сетях бывает различным. В кольцевом газопроводе среднего давления давление газа принимается от 3 000 до 10 000 мм вод. ст. В сетях низкого давления давление

газа колеблется в пределах 100—200 мм вод. ст. Ввиду потери давления в трубопроводах и арматуре непосредственно перед горелками давление газа получается равным 50—80 мм вод. ст.

Необходимо отметить, что чем выше теплотворная способность газа, тем больше приходится подавать воздуха для сжигания 1 м<sup>3</sup> газа, что иллюстрируется следующим сопоставлением.

Требуется воздуха для сжигания 1 м<sup>3</sup>

природного газа ( $Q_H^c = 8533$ ккал/м <sup>3</sup> ) . . . . .	9,52 м <sup>3</sup>
смешанного . ( $Q_H^c = 5840$ . . . . .)	6,28 .
доменного . ( $Q_H^c = 940$ . . . . .)	0,76 .

Как видно из этих данных, наибольшее количество воздуха требуется для сжигания 1 м<sup>3</sup> природного газа.

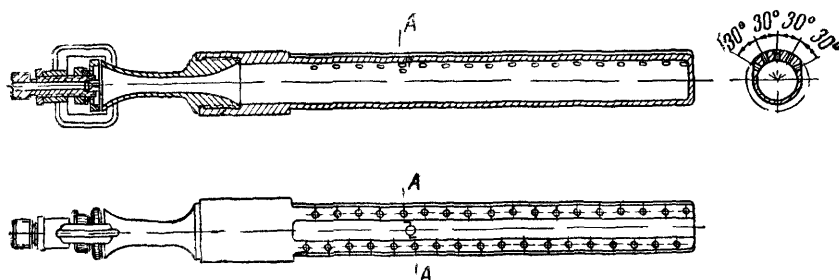


Рис. 116

**Конструкции горелок.** Подсосать все количество требующегося для сжигания воздуха в струйном смесителе при низком давлении газа затруднительно. Поэтому большое распространение получили так называемые атмосферные горелки, где подсасывается струей газа только часть требующегося воздуха, а остальной воздух подходит уже непосредственно к горящему факелу. На рис. 116 приведена атмосферная горелка Мосгаз-проекта.

При низком давлении газа в сети иногда отказываются от струйного смесителя и переходят на смесительные горелки путем вдувания воздуха вентилятором. На рис. 117 приводится конструкция такой горелки ВТИ. Горелка состоит из трех труб, вставленных одна в другую. В кольцевое пространство между внутренними трубами подается газ, воздух же, подводимый от вентилятора среднего давления, поступает в кольцевое пространство между средней и наружной трубой. Конструкцией предусматривается завихривание газовых и воздушных потоков.

Зажигание газа производится через внутреннюю трубу, через нее же наблюдают и за работой горелки. На рис. 118 показана установка двух таких горелок под водотрубным котлом. Топка предусматривает возможность перехода на сжигание твердого искомого топлива.

Для полноценного использования трубопровода дальнего газоснабжения подача газа в единицу времени должна оставаться постоянной в течение круглого года. Потребность же в газе для

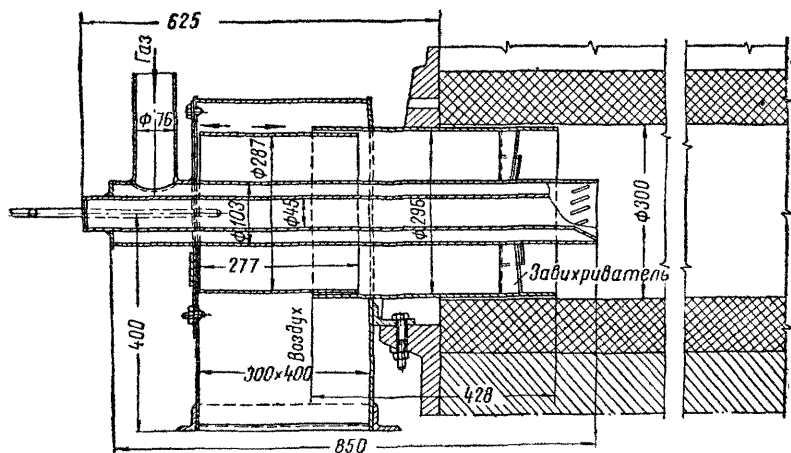


Рис. 117

отопительных целей, естественно, сильно возрастает в зимнее время. В связи с этим желательно предусматривать возможность перевода котельной с газа на твердое топливо.

Газовая топка котла, представленная на рис. 118, была подвергнута испытанию, показавшему высокие теплотехнические характеристики топки. При испытаниях сжигался саратовский природный газ. Минимальные потери тепла  $q_2 + q_3$  достигались при избытке воздуха за котлом  $\alpha_k = 1,2$ , что примерно соответствует избытку воздуха в топке, равном  $\alpha_r = 1,1$ , причем потеря  $q_3$  приближалась к нулю.

Большую роль в смысле ускорения процесса горения в рассматриваемой топке играла накалившая обмуровка амбразуры горелки, выполненная из шамотного кирпича класса А. Тепловое напряжение объема топочного пространства в опытах достигало величины 370 тыс. ккал/м<sup>3</sup> час. Ввиду расположения по фронту котла топочных дверок для сжигания твердого топлива две газовые горелки в этом котле были смонтированы так, что объем топочного пространства для факела использовался лишь частично.

$\frac{Q}{V}$  в рассматриваемой топке фактически достигало значений 550 тыс. ккал/м<sup>3</sup>час.

Почти весь воздух, требующийся для горения, подводился в съемную трубу горелки, а факел в большинстве случаев не выходил из пределов амбразуры, т. е. сжигание газа в этой топке приближалось к так называемому беспламенному горению.

Последний вид сжигания газа отличается тем, что в горелку подается полностью перемешанная горючая смесь газа со всем необходимым для сгорания количеством воздуха и сгорание горючей смеси происходит в присутствии твердой накаливаемой поверхности. При этом полное сгорание газа достигается при минимальных избытках воздуха  $\alpha_T = 1,05$ .

Объем топочной камеры, приспособленной к беспламенному сжиганию газа, может быть резко сокращен, так как при этом достигаются весьма высокие удельные тепловые нагрузки — порядка десятков миллионов ккал/м<sup>3</sup>час. Если в ряде случаев к подобному сокраще-

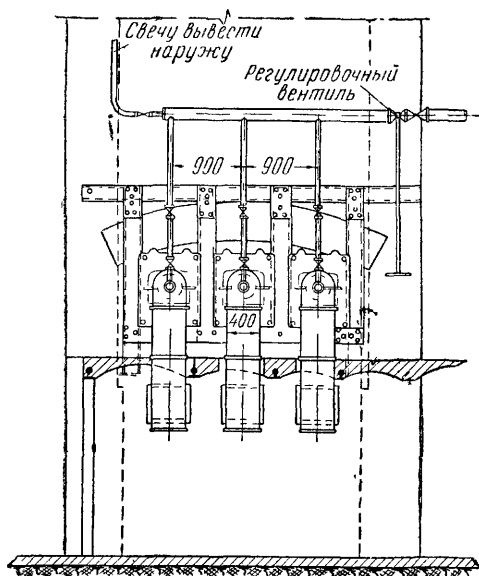
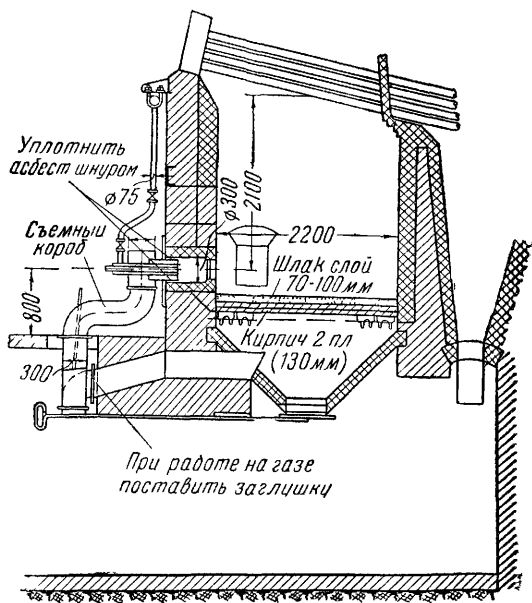


Рис. 118

нию объема не прибегают, то только из желания развить поверхность нагрева топочных экранов, воспринимающих тепло излучения и работающих поэтому с большой эффективностью.

Как уже указывалось выше, наилучшее смешение газа и всего воздуха, требующегося для горения, получается в струйных смесительных горелках. Низкое давление газа — порядка 20—50 мм вод. ст. — ставило препятствия в распространении подобного типа газовых горелок для беспламенного сжигания газа. В последнее время разработана (К. Н. Правоверовым и С. Н. Шориным) и внедряется (в первую очередь в бытовые приборы) смеситель-

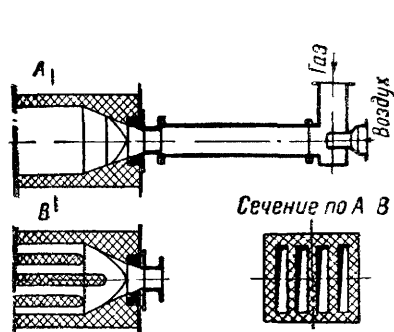


Рис. 119

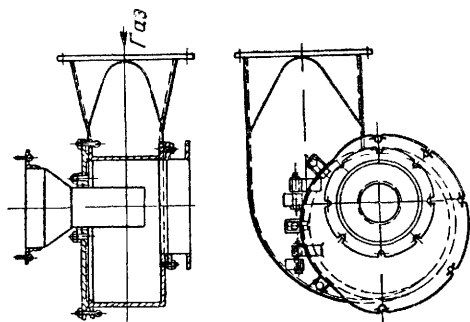


Рис. 120

ная газовая горелка беспламенного типа для сжигания газа низкого давления.

В промышленности беспламенные газовые горелки нашли широкое распространение, особенно в металлургических печах.

Изучением условий сжигания доменного газа под котлами промышленных котельных занимался ВНИИТ, причем большая работа по экспериментированию в области беспламенного сжигания доменного газа и выработке совершенных конструкций газовых горелок была проведена канд. техн. наук А. В. Арсеевым.

На рис. 119 приводится схема беспламенной горелки для сжигания доменного газа. Смесительная камера в этой горелке струйного типа, причем подсосывание производится не газом воздуха, а наоборот, воздухом газа. Это связано с тем, что в большинстве случаев давление доменного газа в сети не превышает 100 мм вод. ст., а если учесть сопротивление по газовому тракту до горелок, перед ними давление газа составит всего 60 мм вод. ст. и ниже. Воздух в смеситель горелки нагнетается центробежным вентилятором среднего давления и завихривается в улитке смесителя (рис. 120). После смесителя газозвоздушная смесь направляется в трубу небольшого диаметра с целью повышения скорости

выхода смеси, для того чтобы избежать возможность проскоков пламени в чугунную фурму горелки, имеющую водяное охлаждение (рис. 121). После фурмы газовоздушная смесь попадает в область высоких температур, создаваемых накаливаемыми шамотными стенками; здесь смесь быстро загорается, и, проходя предварительную камеру (рис. 119), горящий поток распределяется на ряд параллельных потоков, идущих по туннелям. Предварительная камера и туннели выполняются из шамотного кирпича

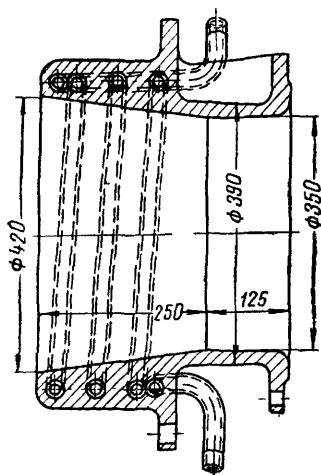


Рис. 121

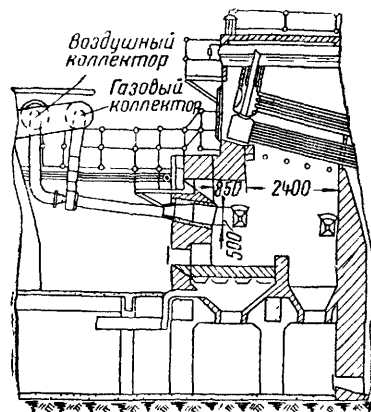


Рис. 122

класса А. Температура горящего газа достигает теоретической температуры горения, которая для доменного газа в зависимости от избытка воздуха составляет  $1300\text{--}1500^\circ$ . В пространстве, окруженном раскаленными стенками туннелей, газ сгорает при тепловых напряжениях топочного объема порядка  $\frac{Q}{V} = 12\text{--}15$  млн. ккал/м<sup>3</sup> час. Скорость газовой смеси в туннелях составляет  $40\div 55$  м/сек при сопротивлении газовому потоку в туннельной части горелки  $75\text{--}50$  мм вод. ст.

Избыток воздуха, с которым происходит сжигание доменного газа, в этих условиях изменяется в пределах  $1,05\text{--}1,1$ . Длина туннельной части горелки с целью обеспечения полного горения обычно выходит за пределы кладки топочных стен в  $2\frac{1}{2}$  кирпича, доходя до 1 м. Если топка, например, для возможности перехода на твердое топливо имеет развитый топочный объем (рис. 122), то туннельная часть могла бы быть сокращена в длину, так как догорание может происходить в указанном объеме топки.

Горелки для сжигания доменного газа следует монтировать наклонно (рис. 122) с целью обеспечить стекание шлака, обра-

зующегося от расплавления пыли, заносимой в туннели горелки вместе с газом. Мощность горелки, приведенной на рис. 122, равняется  $2\ 000\ \text{нм}^3/\text{час}$ .

Если имеется возможность обеспечить давление газа перед горелкой в пределах  $120\text{--}150\ \text{мм}$  вод. ст., то конструкция смесительной беспламенной газовой горелки значительно упрощается.

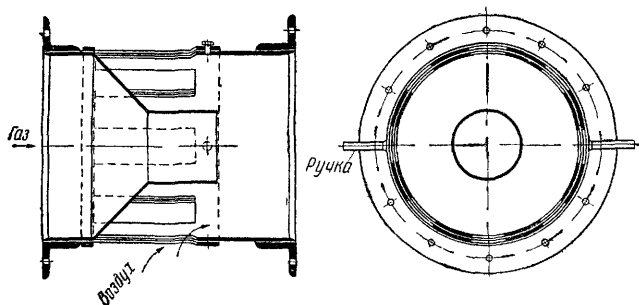


Рис. 123

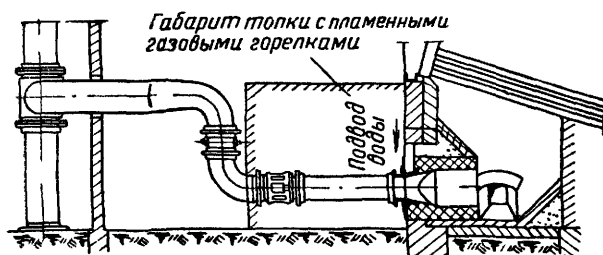


Рис. 124

В таком случае струей газа подсасывается из окружающей среды воздух и газовоздушная смесь нагнетается в горелку (рис. 123). Установка такой смесительной газовой горелки отличается простотой (рис. 124).

Большим достоинством этой газовой горелки является автоматическое регулирование подсасываемого струей газа воздуха в зависимости от расхода газа.

## § 51. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ И АВТОМАТИКА ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗА

Перевод котельных на сжигание газа уменьшает количество обслуживающего персонала, но зато к кочегарам предъявляются повышенные требования в отношении точности и ответственности

выполнения всех предписаний, касающихся обслуживания топочных устройств и газоподводящей сети. На рис. 125 приведена схема газовой сети. Основными приборами при поступлении газа в магистраль являются регулятор давления, не допускающий значительных колебаний давления газа при изменении расхода газа горелками, и дроссельная шайба, измеряющая расход газа. Дополнительно в местах отвода газа в котельной устанавливаются расходомеры, суммирующие расход газа. Вся перечисленная аппаратура, включая манометры и термометр, устанавливается в особом помещении с усиленной вентиляцией, причем в это помещение во избежание взрыва доступ разрешается лишь при соблюдении

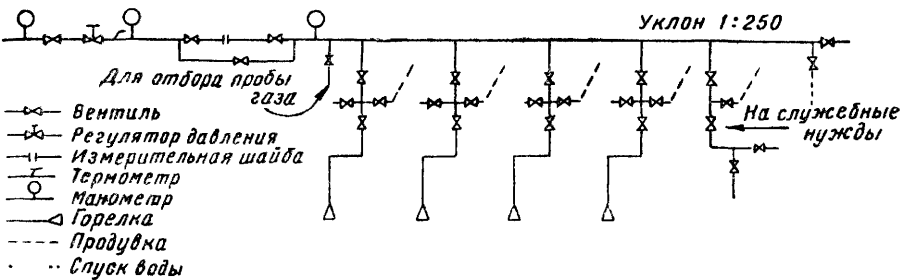


Рис. 125

известных правил. Идущая по котельному помещению газовая магистраль должна располагаться на видном месте, лучше всего в верхнем пространстве помещения. Трубы желательно применять цельнотянутые, избегая фланцев и максимально используя сварку при соединениях отдельных участков трубопровода. Трубопровод должен иметь уклон в направлении движения газа с целью отведения воды к конечному пункту, откуда и производится спуск воды.

На ответвлениях к каждому котлу надо последовательно располагать два запорных приспособления, причем между ними оставляют короткий участок трубы, к которому присоединяется продувочная труба, выведенная через кровлю здания котельной наружу. При отсутствии автоматики от этого же участка трубы ответвляется трубка, к которой на гибком шланге присоединяется трубка-запальник для зажигания газовой горелки. При входе газа в указанные ответвления устанавливаются запорные вентили.

Растопка котла производится следующим образом. В первую очередь путем пуска дутьевого вентилятора или при отсутствии искусственного дутья при помощи разрежения, создаваемого тяговым устройством, продуваются воздухом газоходы котельной установки. В это время из четырех запорных приспособлений,



имеющихся на ответвлении газопровода к котлу, три закрыты, а продувка соединена с атмосферой. Отъединяя теперь продувочную линию, открывают запорное приспособление (вентиль или шибер), соединяющее ответвление с магистралью, после чего открывают вентиль на запальнике, и поджигая струю газа, вводят в горелку запальную трубку. Последней операцией является открытие запорного приспособления при подходе газа к горелке. При сжигании газа следует применять автоматически действующие приборы, регулирующие расход газа и воздуха в зависимости от требующейся теплопроизводительности котла, а также обеспечивающие безопасность эксплуатации в случаях перерывов в подаче газа.

При сжигании любого топлива в камерных топках (пыль, мазут, газ) в обмуровке топки и котла требуется располагать взрывные предохранительные клапаны, открывающиеся при взрыве и тем предотвращающие его разрушительное действие. Взрывные клапаны изготовляют в виде самозакрывающихся чугунных дверок наподобие топочных без запорных щеколд. Применяются также взрывные клапаны из листов асбеста с проволочной сеткой, заключенных в металлическую рамку. При взрыве асбестовый лист разрывается.

**Автоматическое регулирование работы отопительных котлов.** В директивах XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 гг. указывается о необходимости осуществить широкое применение автоматизации производственных процессов на электростанциях.

Если автоматическое регулирование работы отопительных котлов, работающих на твердом топливе, может внедряться только параллельно с механизацией топочных процессов, то при сжигании под котлами газа для применения автоматики препятствий не встречается.

Автоматическим регулированием работы котлов, под которыми сжигается газ, поддерживаются заданные параметры теплоносителя и обеспечивается безопасность в эксплуатации.

На рис. 126 приведена принципиальная схема автоматического регулирования работы чугунных водогрейных котлов при сжигании под ними газа. Автоматика разработана институтом Мосгазпроект.

В схеме предусматривается постоянное горение газа в запальной горелке вне зависимости от того, поступает газ в горелки котла или нет. В таком случае нет опасений, что проходящий в горелки котла газ не будет подожен. Перерывы в работе основных горелок котла наступают при нагревании воды в котле до требующихся температур. При случайном затухании газа в запальной горелке его доступ одновременно прекращается к горелкам котла и запального устройства.

К основным приборам, включенным в общую схему, относятся: регулятор давления 1, мембранный клапан-отсекатель 2, терморегулятор 3 и электромагнитный клапан 4.

В конструкцию регулятора давления 1 включается резервуар, состоящий из двух частей, между которыми закреплена диафрагма, снабженная грузом. Верхняя часть резервуара соединена с воздухом, нижняя — с газом, идущим к горелкам. Диафрагма

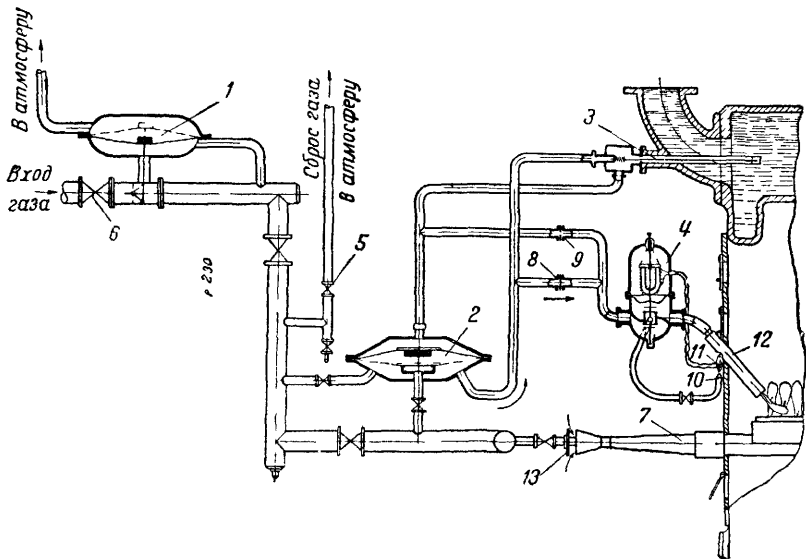


Рис. 126

при помощи рычажного приспособления оказывает воздействие на дроссельную заслонку, изменяющую давление поступающего к горелкам газа. По мере повышения давления газа в сети сверх установленного для горелок диафрагма выгибается вверх, дроссельная заслонка начинает прикрываться, вследствие чего давление газа за ней уменьшается, и наоборот.

Мембранный клапан-отсекатель 2 также состоит из двух половин с диафрагмой по середине. Если давление над диафрагмой и под ней будет одинаково, то имеющийся на диафрагме груз выгнет ее вниз. Груз ляжет на стакан газопровода к горелкам котла, и проход газа останется свободным только для сообщения с терморегулятором и электромагнитным клапаном. Выход газа к горелкам котла будет закрыт до тех пор, пока не упадет давление газа над диафрагмой и она выгнется вверх.

Принципиальная схема терморегулятора 3 основана на различном удлинении внешней латунной трубки и находящегося в ней инварового стержня, прикрепленного к трубке своим

правым концом и снабженного тарелкой клапана в левом конце. Латунная трубка укреплена на колене, выводящем воду из котла, и расположена в потоке горячей воды. При нагревании воды выше установленной нормы стержень, следуя вправо за удлиняющейся латунной трубкой, откроет сообщение между верхней и нижней частями клапана-отсекателя. При понижении температуры воды указанное сообщение нарушается.

Основной частью электромагнитного клапана 4 является двухтарельчатый клапан. В корпусе прибора располагается стакан, перекрываемый сверху и снизу тарелками клапана. В середине стакана имеется отверстие, через которое проходит газ, направляясь к горелке терморпары. Пружина побуждает нижнюю тарелку клапана садиться на свое седло. Верхняя тарелка примыкает к гибкой мембране, к которой в свою очередь сверху присоединяется стержень со свободно перемещающимся по нему якорем электромагнита, пружиной подтягиваемого к верхней части корпуса прибора. Движение якоря вниз по стержню ограничено особым выступом, имеющимся на стержне. Пока котел не работает, нижняя тарелка клапана садится на седло стакана и доступ газа закрыт к горелкам терморпары и запальной.

При включении котла в работу нажимают на кнопку, имеющуюся на верхнем конце стержня, нижняя тарелка отходит вниз, а верхняя садится на седло стакана, после чего газ имеет возможность пройти к горелке терморпары 10. Газ поджигают, терморпара 11 нагревается, электрический ток возбуждает магнитное поле в электромагните, вследствие чего к последнему притягивается якорь, сам же электромагнит крепится к корпусу прибора и перемещаться не может.

Якорь, нажимая на выступ стержня, устанавливает тарелки клапана в среднем положении, тогда газ имеет возможность проходить не только к горелке терморпары, но и к запальной горелке, где и зажигается от пламени горелки терморпары.

**Работа системы автоматики.** При неработающем котле и отключенной от него газовой сети открывается задвижка 5 (рис. 126), сообщающая сеть газопроводов с атмосферой. Этим предупреждается проникновение газа в котел и его газоходы в случаях недостаточной герметизации задвижки, отключающей котел от газовой сети.

При пуске котла в работу в первую очередь закрывается задвижка 5 и открывается задвижка 6. Все остальные задвижки открыты за исключением закрывающей обходную линию.

Вода в котле еще недостаточно нагрета, поэтому клапан терморрегулятора разобщает соединение между верхней и нижней частями мембранного клапана, давления сверху и снизу на мембрану выравниваются, и мембрана от своего груза прогибается

вниз, закрывая доступ газа к горелкам 7, при одновременно открытом доступе газа к терморегулятору и магнитному клапану.

Далее, нажимая кнопку электромагнитного клапана, обеспечивают возможность зажигания запальной горелки 12.

Газ проходит через нижнюю полость мембранного клапана-отсекателя к электромагнитному клапану и далее к горелкам термопары 10 и запальной 12. Через систему газопроводов газ сообщается с верхней полостью мембранного клапана-отсекателя. Поток газа, проходя через дроссель 8, понижает свое давление, чем обеспечивается и пониженное давление сверху мембраны по сравнению с давлением, устанавливающимся под мембраной, вследствие чего мембрана поднимается вверх, открывая доступ газа к горелкам котла.

Если вода в котле нагреется выше установленной нормы, то клапан терморегулятора откроет сообщение между верхней и нижней полостями мембраны, давления в этих полостях выравняются и закроется поступление газа к горелкам, запальная же горелка будет работать.

В случае затухания горелки термопары или неисправности самой термопары действие электромагнита нарушается, вследствие чего тарелки клапана поднимаются в свое верхнее положение, прекращая доступ газа к горелкам термопары и запальной.

Если в это время клапан терморегулятора будет разобщать соединение между двумя полостями мембраны, то, как уже указывалось, давления в верхней полости и нижней выравняются и доступ газа к горелкам котла будет прекращен.

В случае, когда клапан терморегулятора будет открывать сообщение между полостями мембраны, давление между полостями опять будет выравнено, так как главная масса газа пойдет по пути, не имеющему последовательно расположенных двух дросселей (8 и 9). Регулировка первичного воздуха производится вручную (13).

---

## РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

# КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

---

### Глава VIII

## КОТЛЫ

### § 52. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ. КОТЛЫ ПАРОВЫЕ И ВОДОГРЕЙНЫЕ, ИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ

Котлом называется аппарат, служащий для получения пара или горячей воды, используемых в энергетических установках или нагревательных устройствах.

В зависимости от вида получаемого теплоносителя котлы подразделяются на паровые и водогрейные. Простейший котел состоит из цилиндрического стального барабана с расположенной под ним колосниковой решеткой и обмуровки (рис. 143).

При работе котла в качестве водогрейного весь барабан заполняется водой, в качестве парового — только до середины. В последнем случае пар, выделяющийся из воды, проходит через зеркало испарения и поступает в паровое пространство, откуда через патрубок, находящийся в верхней части барабана, или из сухопарника отводится к потребителю. Пополнение испарившейся воды производится по специальной трубе.

Как известно, вода кипит при температуре, определяемой давлением. Так как в паровых котлах давление всегда выше атмосферного, температура воды в них больше  $100^{\circ}$ , т. е. температуры кипения при атмосферном давлении.

Наличие воды в котле с температурой выше  $100^{\circ}$  делает их взрывоопасными. Например, если в котле случится разрыв шва, то происшедшее мгновенное понижение давления может повести к взрыву котла.

Так как температура кипящей воды находится в строгой зависимости от давления, то, следовательно, в данном случае она снизится до величины, соответствующей получившемуся давлению пара, и весь избыток теплоты, запасенный в воде, мгновенно израсходуется на парообразование. Выделяемое при этом огромное количество пара вызовет резкое повышение давления и произойдет взрыв котла. Чем больше воды будет в котле, тем, очевидно, разрушительнее взрыв.

Взрывоопасность котлов побуждает строго следить за качеством стали, идущей на изготовление котла, самим процессом изготовления и правильной эксплуатацией котла. Для указанных целей организована Инспекция по котлонадзору.

Отопительные установки часто снабжаются котлами с большим водяным объемом (цилиндрические, жаротрубные и пр.), поэтому на прочность таких котлов, часто бывших уже длительное время в эксплуатации, несмотря на относительно малые давления пара, приходится обращать особое внимание.

Водогрейные котлы безопасны в смысле возможности взрыва до тех пор, пока температура нагреваемой в них воды не превышает  $100^{\circ}$ .

В современных районных водогрейных отопительных системах давление в сети повышается до 4 *ати* и выше, что позволяет доводить температуру нагреваемой воды до  $120-130^{\circ}$ . Водогрейные котлы, в которых вода догревается до указанных температур, уже взрывоопасны, так как при случайном раскрытии шва и резком понижении вследствие этого давления мгновенно произойдут парообразование и взрыв.

Указанные соображения побудили разделить котлы на две категории: взрывобезопасные и взрывоопасные.

К взрывобезопасным котлам относятся водогрейные при нагревании в них воды не выше  $115^{\circ}$  и паровые с давлением пара до 0,7 *ати* (по манометру); ко второй категории относят котлы, параметры теплоносителя которых превышают указанные.

Необходимо заметить, что термин «взрывобезопасный» в некоторой степени условен. Например, были случаи взрыва водогрейных котлов, рассчитанных на нагревание воды до  $100^{\circ}$  и лишенных предохранительных приспособлений. Это происходит, если по небрежности такие котлы растапливать при закрытых задвижках на входе и выходе воды из котла. В таких случаях давление и температура воды повышаются сверх допустимых, происходит разрыв стенки и взрыв котла.

Котлы первой категории могут изготавливаться из стали любого качества, а также и из чугуна; по закону они не подлежат ведению Котлонадзора, могут не иметь котельных книг. Этим иногда злоупотребляют, и зачастую котлы находятся в плохих условиях эксплуатации; котельные помещения тесны и неудобны, обслуживающий персонал не имеет необходимых навыков. В целях улучшения работы таких установок отдельные министерства вводят для котельных своих производственных предприятий и зданий собственные правила, относящиеся к паровым котлам при давлении пара до 0,7 *ати* и водогрейным при нагревании воды до  $115^{\circ}$ .

Чтобы обеспечить безопасность эксплуатации паровых котлов низкого давления, к ним устанавливают так называемые

выкидные приспособления, не допускающие повышения давления более 0,7 ати. По принципу работы выкидное приспособление является гидравлическим затвором, из которого при определенном давлении вода выбрасывается, и паровое пространство котла через выкидную трубу сообщается с атмосферой. Конст-

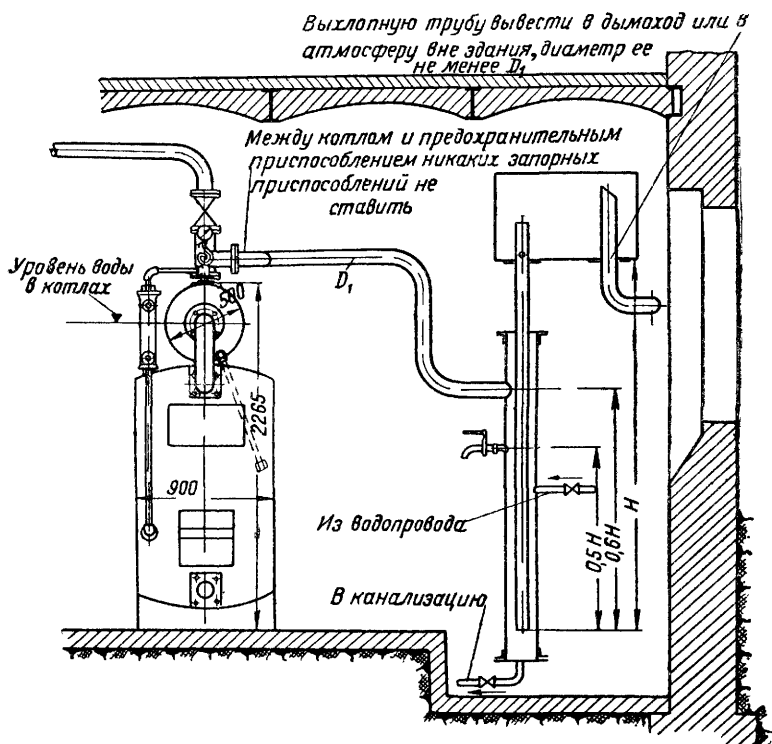


Рис. 127

руктивно подобные приспособления выполняются по рис. 127. Если по требованию потребителя пара давление в котле должно быть, например, 0,3 ати, то действие выкидного приспособления должно наступить, если давление повысится до  $0,3 + 0,1 = 0,4$  ати, т. е. высота  $H$  в конструкции выкидного приспособления должна равняться 4 м. Предельным давлением должно считаться 0,6 ати, тогда при 0,7 ати должно начать работать выкидное приспособление и его предельная высота потребуется равной 7 м.

Иногда высота котельного помещения не позволяет установить высокое выкидное приспособление даже при условии углубления его нижнего участка ниже пола котельной. В таком

случае может быть использовано многопетельное предохранительное устройство (рис. 128), расчет которого приведен в статье канд. техн. наук В. В. Бибикова (журнал «Отопление и вентиляция» № 7—8 за 1941 г.). Диаметры труб выкидного приспособления согласно ОСТ 90036-39 даны в табл. 29.

Таблица 29

		Теплопроизводительность котла в тыс. ккал/час							
До		15	15—40	40—80	80—120	120—240	240—450	450—800	800—1300
Условный диаметр трубы $d$ в мм	25	38	50	65	76	100	125	150	

На водогрейных котлах требуется устанавливать предохранительные клапаны. Диаметр прохода для предохранительного клапана водогрейного котла определяется по формулам, приводимым в ОСТ 90036-39:

а) при естественной циркуляции воды

$$ndh = 0,000006Q; \quad (163)$$

б) при принудительной циркуляции воды

$$ndh = 0,000003Q, \quad (164)$$

где  $n$  — число клапанов;

$d$  — диаметр предохранительного клапана в см;

$h$  — (не более  $\frac{1}{20}d$ ) высота подъема клапана в см;

$Q$  — количество тепла, вырабатываемого котлом, в ккал/час.

Диаметр предохранительных клапанов выбирается в пределах от 38 до 100 мм, что надо учитывать при определении их количества.

Если кроме запорной задвижки, устанавливаемой за водогрейным котлом на трубопроводе горячей воды, вплоть до расширителя, не имеется других запорных приспособлений, то вместо предохранительных клапанов допускается устройство обводной линии (диаметром не менее 32 мм) около упомянутой задвижки с установкой на этой линии обратного клапана, работающего в направлении от котла.

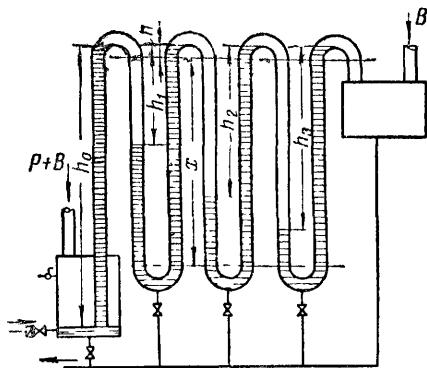


Рис. 128



Изготовление, содержание и освидетельствование паровых котлов, пароперегревателей и водяных экономайзеров, работающих с давлением выше 0,7 *ати*, регламентировано соответствующими правилами Котлонадзора Министерства электростанций электропромышленности СССР, причем требования и указания последних правил обязательны для всех министерств и ведомств. Этими же правилами следует руководствоваться и в отношении водогрейных котлов, нагревающих воду выше 115°. Безопасность при эксплуатации котлов первой категории обеспечивается указанными предохранительными устройствами.

### § 53. ВНЕШНЯЯ КОРРОЗИЯ СТЕНОК ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ И ЭКОНОМАЙЗЕРОВ

Как это выясняется при изучении теплопередачи, температура стенки, с одной стороны обогреваемой газами, а с другой — охлаждаемой водой, очень мало отличается от температуры воды. Поэтому при паровых котлах, на каком бы давлении они ни работали, температура их стенок будет выше 100°.

В водогрейных котлах или экономайзерах вода нагревается постепенно, и при входе воды температура стенки будет ничтожно отличаться от температуры этой входящей воды. Избежать в подобных условиях конденсации водяных паров на внешних поверхностях нагрева можно при условии, что температура стенки будет выше температуры точки росы газов, соприкасающихся со стенкой. Поэтому при питании водогрейных котлов или экономайзеров холодной водой стенка может покрываться росой, выпадающей из отходящих газов, в особенности при сжигании влажного и богатого водородом топлива.

Разрежения, с какими приходится считаться в газоходах котельной установки, настолько незначительны, что можно приравнять давление газов в газоходах к атмосферному.

В соответствии с законом Дальтона водяные пары в отходящих газах имеют свое парциальное давление, пропорциональное их объему, приходящемуся на 1 кг сжигаемого топлива. Можно написать:

$$P_{с.г} + P_{в.п} = 1 \text{ кг/см}^2; \quad (165)$$

$$\frac{P_{в.п}}{1} = \frac{V_{в.п}}{V_{с.г} + V_{в.п}}. \quad (166)$$

Состав газов и избыток воздуха при подстановке в формулы, определяющие объемы сухих газов и водяных паров, берутся в тех пунктах, где предполагается появление росы. Зная давление  $p_{в.п}$ , по таблицам водяного пара находят соответствующую

щую этому давлению температуру насыщения, которая будет температурой точки росы. Появление росы на поверхности нагрева вызывает ржавление, а при наличии в отходящих газах  $\text{SO}_2$  образуется сернистая кислота  $\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 = \text{H}_2\text{SO}_3$ , быстро разъедающая металлические стенки.

Вместе с  $\text{SO}_2$  в некоторых случаях в отходящих газах появляется еще  $\text{SO}_3$ ; эта примесь способна сильно повысить температуру точки росы и, образуя  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , резко увеличивает коррозирование стенок.

Температура питательной воды должна быть выше температуры точки росы, вычисленной по формуле (166), на  $5-10^\circ$ . Доля  $\text{SO}_3$ , получающаяся в отходящих газах, еще точно не выявлена и, по указанию ЦКТИ,  $\text{SO}_3$  вовсе не образуется, если количество горючей серы в топливе не превышает определенных значений на каждые 1 000 ккал его теплотворной способности по нижнему пределу (при сжигании в слое —  $0,5\%$ ; при пылевидном сжигании —  $1\%$ ).

В отопительно-производственных котельных установках, оборудованных паровыми котлами, в большинстве случаев температура питательной воды в баках-сборниках обратного конденсата превышает  $80^\circ$ . Тогда в экономайзер будет поступать вода, нагретая в должной степени, даже при сжигании таких топлив, как торф или природный газ, температура точки росы у которых приближается к  $60^\circ$ . Наименьшая температура точки росы получается при сжигании антрацита, когда она равняется  $25^\circ$ .

Если температура питательной воды будет ниже точки росы, то воду приходится подогревать до входа ее в экономайзер.

Особенно приходится считаться с температурой точки росы при эксплуатации водогрейных котлов. В отопительных установках, снабженных водогрейными котлами, регулирование теплового режима сети, как правило, производится путем изменения температуры нагреваемой воды при постоянном расходе в системе отопления. Поэтому осенью и весной температура обратной воды снижается до  $40^\circ$  и ниже, что может вызвать потение и затем ржавление водогрейного котла в случаях сжигания под ним сильно влажных и в особенности сернистых топлив, у которых точка росы в отходящих газах получается достаточно высокой.

Ориентировочные значения температуры точки росы в отходящих газах при сжигании различных топлив приведены ниже:

Природный газ . . . . .	$60^\circ$
Торф $W_P = 40\%$ . . . . .	$55^\circ$
Подмосковный уголь . . . . .	$50^\circ$
Мазут (механические форсунки) . . . . .	$45^\circ$
Антрацит при вентиляторном дутье . . . . .	$25^\circ$

Устанавливая в котельной водогрейные котлы, необходимо позаботиться, чтобы температура питательной воды, а следовательно, и мало от нее отличающаяся температура стенки превышали бы на  $5-10^{\circ}$  температуру точки росы в отходящих газах. С этой целью прибегают к подмешиванию выходящей из котлов горячей воды к поступающей в них охлажденной (обратной) воды. Имеются две схемы подобного подмешивания (рис. 129): I — с дополнительным подмешивающим насосом, II — без дополнительного насоса (схема Е. Я. Юдина). При регулировании по последней схеме неполностью можно обеспечить требуемые температуры в течение всего отопительного сезона.

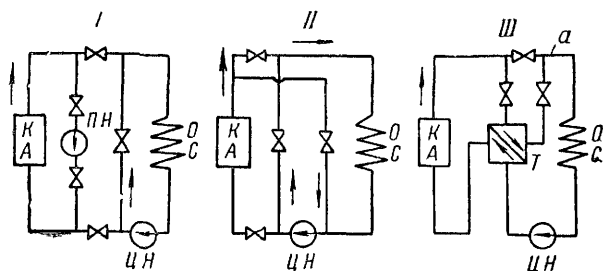


Рис. 129

Представляет интерес схема III, предложенная инж. И. Н. Мешковым (рис. 129). К группе водогрейных котлов, установленных в котельной, добавляется теплообменник, через который в качестве нагревающей среды проходит вся горячая вода, идущая из котлов в сеть, нагреваться же будет также вся обратная вода, направляющаяся в водогрейные котлы или их экономайзеры.

Теплообменник рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить выход из него во все периоды отопительного сезона воды, нагреваемой выше температуры точки росы. Кочегарам обычно дается таблица, где указывается, какую температуру должна иметь горячая вода, идущая в отопительную сеть, при соответствующей температуре наружного воздуха. Термометр, указывающий температуру воды, выходящей из котельной в сеть, должен располагаться в пункте *a* (рис. 129). Кочегары соответствующей форсировкой работы топок должны поддерживать указанную температуру. Расход воды через систему и теплообменник не меняется.

Ценность этой схемы заключается в отсутствии необходимости производства какой-либо регулировки по расходам воды.

Оборудование котельных дополнительными устройствами для осуществления подмешивания горячей воды к обратной не мо-

жет встретить затруднений в районных котельных. Исключением явятся мелкие котельные, где подобные устройства могут оказаться сложными. Последние котельные, как правило, оборудуются чугунными котлами. Чугунное литье по сравнению со стальными трубами лучше противостоит разъеданию. Стенки чугунных котлов не подвергаются сколько-нибудь значительной внешней или внутренней коррозии от растворенного в воде кислорода воздуха, поэтому подогрев смешением не требуется.

### § 54. ЧУГУННЫЕ ОТОПИТЕЛЬНЫЕ КОТЛЫ УСТАРЕВШИХ КОНСТРУКЦИИ

Чугунные водогрейные котлы (рис. 130) наподобие отопительных радиаторов собираются из отдельных секций, причем внутренняя полость каждой секции, в которой циркулирует вода (и образуется пар, если котлы паровые), соединяется с полостями соседних секций в местах взаимного крепления секций снизу и сверху. Соединение отдельных секций по большей части производится на конических nipples. Чтобы расположить внутреннюю топку, а также разобщить от наружного воздуха и от топки газоходы, секциям придается своеобразная форма и по краям оставляются бортики.

Топочная часть с боков замыкается лобовыми секциями котла, в которых имеются отверстия для трех дверок: загрузочной, дверки для чистки золы и поддувальной. На рис. 130 приведен водогрейный чугунный секционный котел верхнего горения. В этом котле топочный процесс идет, как обычно, на простой колосниковой решетке. Отходящие из топки газы разветвляются на два потока и, проходя по двум параллельным газоходам, направляются в сборный боров (рис. 131).

Топка в чугунных котлах обычных конструкций — внутренняя, с весьма ограниченными размерами объема топочного пространства, которое окружено охлаждающими поверхностями. В подобных условиях более или менее удовлетворительно может сжигаться только высокосортный уголь с малым выходом летучих, лучше всего кусковой антрацит.

При несоблюдении требований, предъявляемых к простой решетке с ручным обслуживанием (частая загрузка топлива мелкими порциями), топка будет работать с пониженным к. п. д.

Непосредственно после загрузки при толстом слое будет неполное сгорание, затем при прогаре появятся большие избытки воздуха.

С учетом своеобразия работы мелких чугунных котлов (когда несколько котельных зачастую обслуживаются одним лицом) был сконструирован котел нижнего горения, позволяющий удлинять периоды между загрузками без понижения к. п. д.

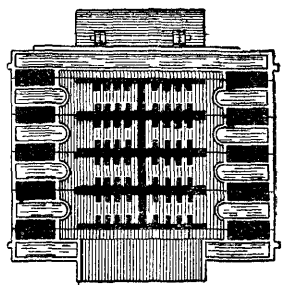
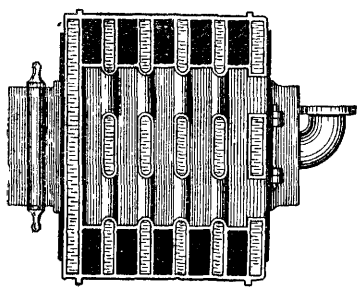
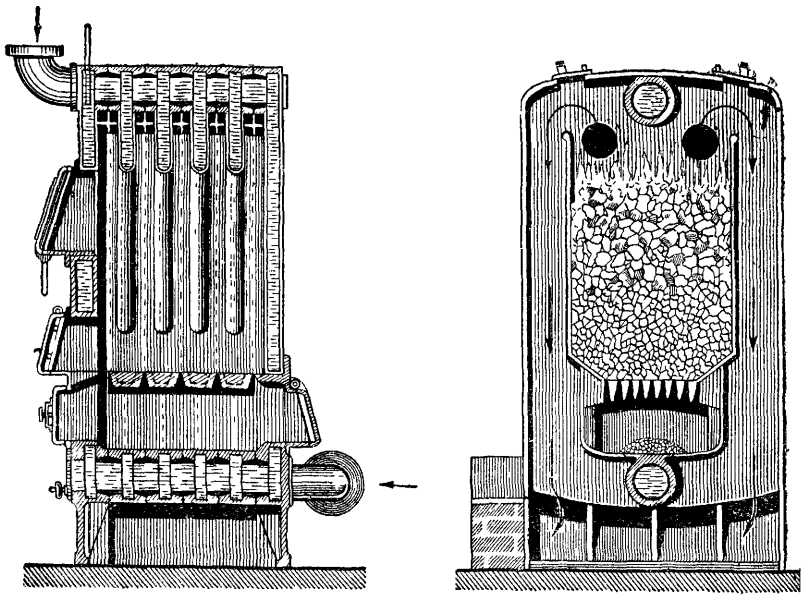
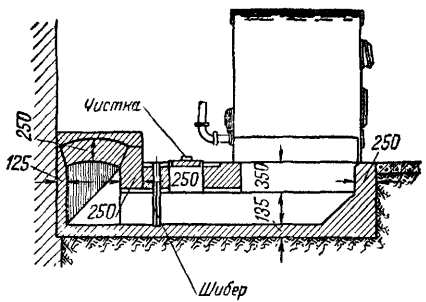
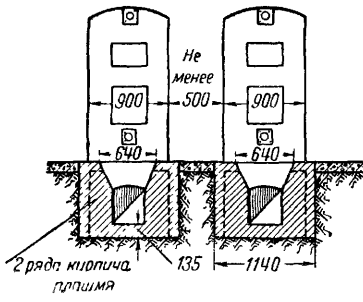


Рис. 130



Котел нижнего горения (рис. 132) отличается от котла верхнего горения только в топочной части. Бортики на секциях имеют такое расположение, что образуют как бы шахтную топку с двумя наклонными зеркалами горения, обращенными в противоположные стороны и имеющими общую горловину (бункер).

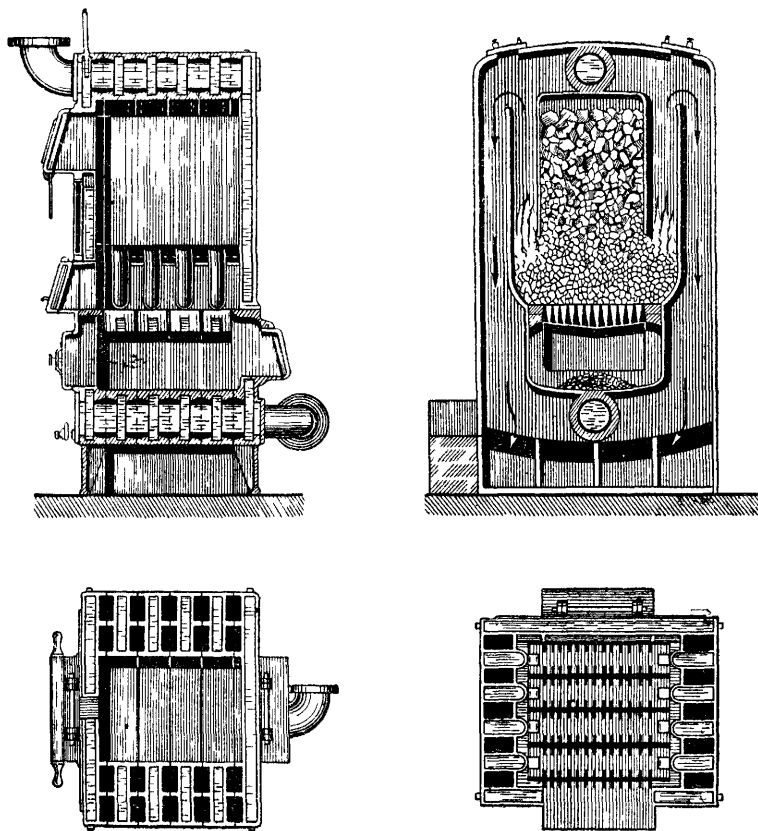


Рис 132

Котлы нижнего горения не нашли большого применения, потому что условия сгорания летучих при стесненности топочного объема еще более ухудшились, а из-за ограниченности зеркала горения снизилась мощность котла (считая на  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева). Усиленный местный нагрев секций в пределах зеркала горения чаще вызывал их перегрев и трещины.

Чугунные котлы работают только при естественной тяге, без дутья под решетку и с малыми форсировками, предельно дости-

гающими  $7\,000\text{ ккал/м}^2\text{ час}$ , и лишь при условии сжигания высокосортного кускового угля.

При сжигании рядовых сортов высокосортных углей, например, АРШ, газовое сопротивление слоя значительно повышается, что сказывается на снижении форсировки топки, и тепловое напряжение поверхности нагрева доходит до  $5\,000\text{—}6\,000\text{ ккал/м}^2\text{ час}$ . Окруженная со всех сторон относительно

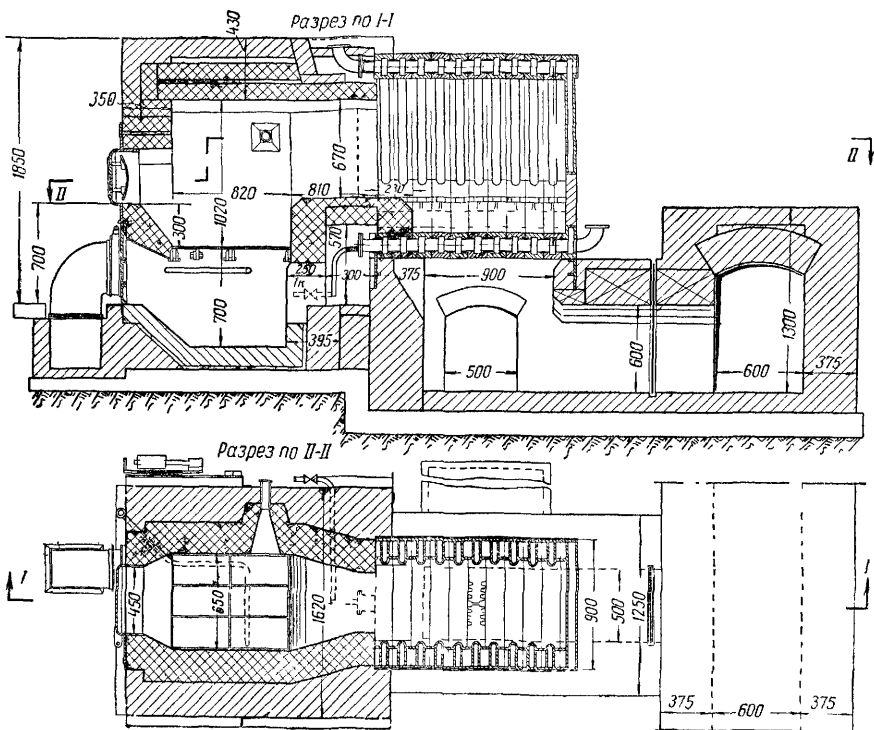


Рис. 133

холодными поверхностями нагрева внутренняя топка чугунных котлов отдает очень много тепла излучением. Понижение при естественной тяге форсировки еще более способствует повышению коэффициента прямой отдачи, в результате при сжигании высокосортного топлива не происходит сколько-нибудь значительного шлакования, обычно вызывающего резкое повышение газового сопротивления топки, но зато при сжигании в таких котлах низкосортного и влажного местного топлива (бурые

угли, торф, сырые дрова) горение идет совершенно неудовлетворительно — с большими топочными потерями, причем топка часто вообще перестает работать (глохнет).

Попытки поднять форсировку таких котлов путем подведения дутья под решетку следует отнести к числу рискованных, так как при сжигании рядовых высокосортных углей увеличивается заливание шлаком колосников и при их чистке можно повредить секции. Кроме того, усилится неравномерный нагрев секций в местах контакта между слоем с секциями, что может вызывать появление трещин в этих местах. Использование дутья при сжигании низкосортного топлива позволяет получать теплосъем до  $2\,000—3\,000$  ккал/м<sup>2</sup> час; все же в подобных условиях не удастся сколько-нибудь значительно улучшить организацию процесса горения, идущего с большими потерями от химической и механической неполноты сгорания.

Нельзя применять вентиляторное дутье под котлы нижнего горения, так как тогда часть продуктов горения выбивается через дверку загрузочного отверстия непосредственно в котельное помещение.

Чтобы при сжигании низкосортных топлив повысить съем тепла с чугунных котлов, к ним устанавливались выносные топки, аналогичные изображенной на рис. 133, в которых можно развить зеркало горения, а также и применять вентиляторное дутье. Последнее вполне возможно, так как отсутствует непосредственный контакт между слоем топлива и секциями. Оба эти мероприятия способствуют доведению теплосъема с котла до нормальных значений, хотя и с понижением к. п. д. При отсутствии в выносной топке радиационных поверхностей нагрева, в особенности если предварительно не произведен отъем лобовой секции (на рис. 133 лобовая секция отнята), в топке понижается прямая отдача, развиваются очень высокие температуры. В итоге увеличивается потеря тепла в окружающую среду и с отходящими газами. На разогревание кирпичной кладки расходуется много тепла, поэтому выносная топка будет работать более или менее экономично только при наличии круглосуточной эксплуатации котла.

От потери тепла в окружающую среду, а также от присосов наружного воздуха боковые стенки и верх чугунных котлов защищают листами асбестового картона или промазывают асбеститом, после чего котел перекрывают листовой сталью. В данном случае из кирпича выкладывают лишь боровы, отводящие газы. Нормальным расположением таких боровов следует признать указанное на рис. 131, когда отходящие газы направляют под котел и затем отводят к дымовой трубе. При высоком расположении уровня грунтовых вод можно осуществлять боковой отвод газов (рис. 134), причем отводить газы следует с двух сторон. Односто-



ронный отвод газов ведет к повышению температуры за котлом, так как газы проходят тогда преимущественно по той половине секций, которая ближе расположена к сборному борovu.

Толщина стен боровов, указанная на рис. 131, не может считаться типовой, она должна выполняться в  $1\frac{1}{2}$ —2 кирпича, что увеличит прочность боровов и уменьшит присос через них воздуха.

Очистка от золы и сажи газоходов между секциями чугунных котлов производится металлическими щетками через специально

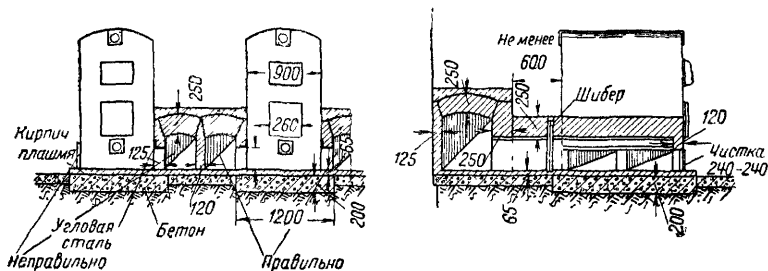


Рис. 134

предусмотренные отверстия, перекрывающиеся крышками, обмазываемыми глиной.

Чугунный водогрейный котел может быть переоборудован на паровой низкого давления путем присоединения к нему барабана паросборника (рис. 127).

## § 55. ЧУГУННЫЕ ОТОПИТЕЛЬНЫЕ КОТЛЫ НОВЕЙШИХ СИСТЕМ

В Советском Союзе топливо распределяется по потребителям топливопланирующими организациями, и как главнейшая государственная задача выдвигается требование расходовать на цели отопления и производственные надобности местное топливо, сокращая до минимума расстояния от мест выработки топлива до потребителя. Поэтому под чугунными котлами приходится сжигать разнообразное топливо и по большей части местные низкосортные угли и торф. Описанные выше чугунные котлы совершенно не приспособлены к сжиганию столь разнообразного топлива, поэтому в настоящее время наша промышленность выпускает чугунные котлы отечественных конструкций, в которых рационально сжигается топливо вне зависимости от его рода и сорта.

Большая работа по изысканию конструкции котла, удовлетворяющего вышеприводи-

мым требованиям, была проведена канд. техн. наук Н. Н. Реваковым; в итоге им был разработан котел НР(ч) (рис. 135 и табл. 30).

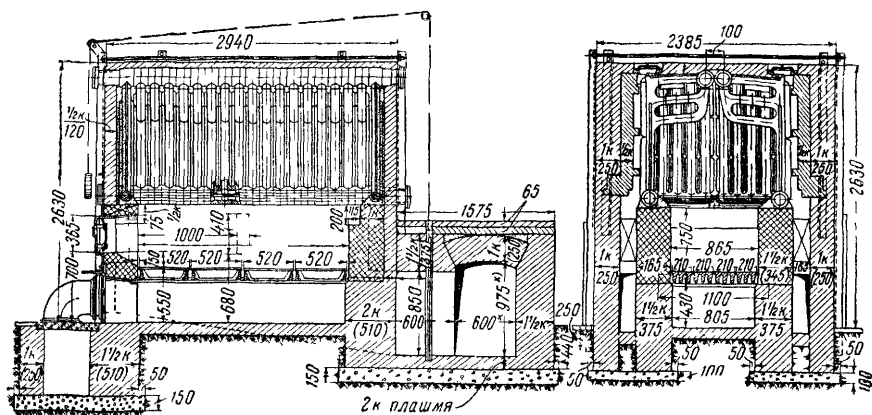


Рис. 135

Таблица 30

### Основные характеристики чугунных водогрейных котлов Н. Н. Ревакова НР(ч)

Показатели	Единица измерения	Поверхность нагрева в м <sup>2</sup>		
		25	34	43
Площадь колосниковой решетки . .	м <sup>2</sup>	0,92	1,37	1,82
Топочный объем . . . . .	м <sup>3</sup>	1,74	2,53	3,31
Габариты котла:				
длина . . . . .	м	1,85	2,41	2,94
ширина . . . . .	"		2,385	
высота . . . . .	"		2,63	

Этот котел обладает рядом преимуществ, из них главнейшее — возможность работы на любом топливе. Топка котла НР(ч) не размещена в пределах котла, как обычно в чугунных котлах устаревших конструкций, а отнесена вниз, что позволяет изменить величину объема топочного пространства, разместить под котлом необходимую колосниковую решетку и применить вентиляторное дутье (рис. 135).

Применение искусственного дутья под решетку дает возможность значительно поднять съем тепла с 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрева вместо 7 000 до 12 000 ккал/м<sup>2</sup> час.

При сжигании низкосортного топлива можно в случае надобности путем перекрытия решетки сводами уменьшать прямую отдачу, обеспечивая тем повышение температуры в слое и устойчивость процесса горения.

Зольник не обнесен металлическими поверхностями котла, металл расходуется более экономно: он полностью используется как поверхность нагрева.

Котел НР(ч) — шатрового типа, с одинаковыми правыми и левыми секциями. Поверхность нагрева каждой средней секции равна  $1,125 \text{ м}^2$ , а крайней лобовой —  $1,21 \text{ м}^2$ . Котлы по величине поверхности собираются трех размеров:  $25 \text{ м}^2$  (18 средних секций и 4 крайние),  $34 \text{ м}^2$  (26 и 4),  $43 \text{ м}^2$  (34 и 4). На рис. 136 приведена схема присоединения котла к сети. Содержание воды в чугунных котлах невелико, например, котел НР(ч) в  $43 \text{ м}^2$  имеет емкость  $640 \text{ л}$ , поэтому имеется опасность закипания воды при случайных перебоях в снабжении электроэнергией. При остановке циркуляционного насоса прекратится циркуляция воды в котле, и, несмотря на одновременную остановку и дутьевого вентилятора, накалившаяся кладка топки и слой топлива могут служить причиной вскипания воды в котле, обычно сопровождающееся гидравлическими ударами. Чтобы предотвратить возможность вскипания воды, которое может вызвать аварию, на выходе воды из котла дается ответвление со сбросом воды наружу; открывая вентиль на указанной аварийной линии, можно произвести обмен воды в котле на более охлажденную, поступающую из обратной магистрали (рис. 136).

Чугунные котлы разрешаются к эксплуатации при нагревании воды не выше  $115^\circ$  или как паровые до  $0,7 \text{ ат}$ , в остальных

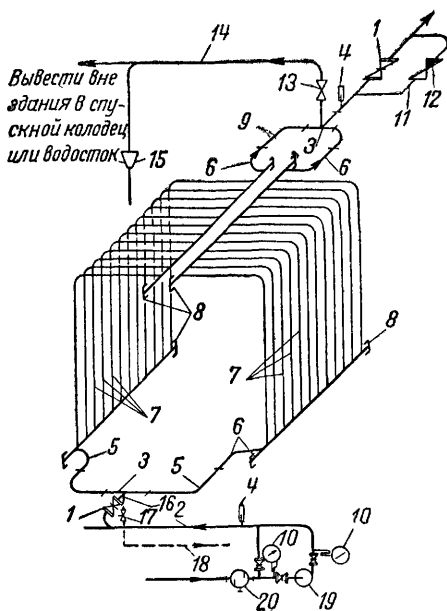


Рис. 136. Водогрейный котел системы Ревокатава

1—задвижка; 2—обратная линия; 3—тройник; 4—термометр; 5—колено; 6—патрубок; 7—секция котла; 8—заглушка; 9—колено; 10—манометр; 11—обводная линия; 12—обратный клапан; 13—вентиль; 14—аварийная труба; 15—воронка; 16—продувочная труба; 17—продувочный кран; 18—дренажная линия; 19—центробежный насос; 20—грязевик

случаях приходится переходить на стальные котлы, конструкции которых описаны дальше.

При использовании чугунных котлов в качестве водогрейных и обслуживании ими многоэтажных зданий следует считаться с тем, что с увеличением высоты зданий растет и гидравлическое давление в котлах.

Повышение в котлах давления выше 5 *ати*, а в котлах устаревших конструкций выше 4 *ати* — уже снижает их надежность в эксплуатации и может способствовать появлению в секциях трещин.

Чугунные секционные котлы не допускают возможности механической очистки котла от накипи, что является одним из существенных их недостатков. У котлов прежних конструкций при примитивных топках, работающих с большими избытками воздуха и пониженных температурах в топочном пространстве, съем тепла с 1 *м*<sup>2</sup> поверхности нагрева был невысок. Вследствие этого загрязнение котла накипью обыкновенно сказывалось только на снижении коэффициентов теплопередачи, повышении от этого температуры отходящих газов и ухудшении к. п. д. У котла НР(ч), работающего с большими форсировками, при загрязнении накипью поверхностей, воспринимающих радиацию топки, дополнительно может получиться еще и перегрев стенки. Поэтому периодически, не реже одного раза в год, чугунные котлы следует очищать от накипи химическим путем, применяя для этих целей ингибированную соляную кислоту, изобретенную лауреатами Сталинской премии д-ром хим. наук И. Н. Путиловой и канд. хим. наук В. П. Баранник.

Достоинство ингибированной соляной кислоты заключается в том, что она, разрушая накипь, не воздействует на металл котла. После проведения операции по удалению накипи котел промывают водой, в которой растворена сода.

Так же как и чугунные котлы прочих типов, водогрейный котел НР(ч) может работать и в качестве парового котла низкого давления; в таком случае к котлу присоединяется барабан-паросборник (рис. 137). Питательная вода вводится в паросборник, этим предотвращается возможность неравномерного нагревания чугунных секций. К паросборнику, кроме двух верхних труб, в зависимости от размеров котла, добавляются две или четыре циркуляционные трубы б. По этим трубам вода, выброшенная вместе с паром из труб б, возвращается обратно в котел. Наличие организованной циркуляции позволяет развить форсировку паровых котлов НР(ч) до 10 000 *ккал/м*<sup>2</sup>*час*.

Топка могла бы обеспечить и более высокие форсировки, но при отсутствии в барабане-паросборнике надежных сепарирую-

щих приспособлений с увеличением форсировок получается слишком влажным пар.

В настоящее время ВНИИСТО ведет работы по созданию новых конструкций чугунных котлов с целью замены устаревших систем, которые затрудняют внедрение сжигания местных топлив.

Добиваясь предельного снижения габаритов котла главным образом по высоте, что является существенно важным при установке котлов в подвальных этажах зданий, а также стремясь до минимума сократить расход кирпича на обмуровку и сконструировать котел, приспособленный для сжигания под ним любого топлива, ВНИИСТО выпустил котел «Универсал» (авторы конструкции М. М. Щеголев и Л. И. Кузнецов). Котел (рис. 138) прошел серию теплотехнических испытаний, два года работал в условиях обычной эксплуатации и в настоящее время пущен в серийное производство.

Наиболее характерным отличием котла «Универсал» от предыдущих яв-

ляется незначительный расход кирпича в топочной части, назначение которого оградить секции от непосредственного контакта со слоем горящего топлива. В случаях сжигания низкосортного и влажного топлива в особые пазы в секциях вставляются огнеупорные кирпичи, которые способствуют повышению температуры слоя топлива и завихривают его факел, тем самым уменьшая потери от химической и механической неполноты сгорания. Для увеличения площади колосниковой решетки правая и левая секции котла раздвинуты и между ними положен кирпич.

Очистка боковых газоходов от золы и сажи производится с фронта котла. Открывая соответствующие крышки на лобовой

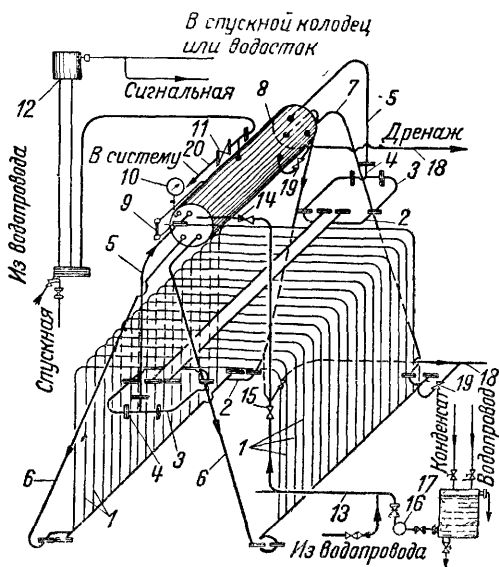


Рис. 137. Паровой котел системы Ревокатова

1—секции; 2—патрубок; 3—колено; 4—тройник; 5—трубы, 6 и 7—циркуляционные трубы; 8—паросборник; 9—водомерный прибор; 10—манометр; 11—вентиль; 12—выкидное приспособление; 13—питательный трубопровод; 14—обратный клапан; 15—вентиль; 16—питательный насос; 17—конденсационный бак; 18—спускная труба; 19—спускной кран; 20—паровая линия

секции, можно щеткой произвести очистку всех остальных секций.

Практика эксплуатации показала, что для облегчения чистки первого (надтопочного) газохода следует над ним также предусмотреть отверстия в конструкции секций, что и выполнено в последней модели котла. Отверстия перекрываются кирпичами.

Котел снабжен колосниковой решеткой с покачивающимися колосниками, что при бурых углях позволяет постепенно удалять шлак в поддувало топки. При сжигании антрацита колосники покачиваться не могут, так как шлак плотной массой заливает полотно решетки. В таком случае надо строго фиксировать и обеспечить горизонтальное положение плоскости колосников, что достигается соответствующей конструкцией рычажного привода, или переходить на неподвижные плитчатые колосники.

В табл. 31 и 32 приводятся основные характеристики котла «Универсал» и главнейшие сведения по испытаниям его на антраците и подмосковном угле.

Таблица 31

Основные характеристики чугунных водогрейных котлов «Универсал»

Размеры	Поверхность нагрева в м <sup>2</sup>					
	12,4	16,8	21,2	25,6	30,0	34,4
Площадь колосниковой решетки в м <sup>2</sup> . . . . .	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77	0,91.
Габариты котла в мм:						
длина пакета секций . . . . .	720	970	1 220	1 470	1 720	1 970
ширина . . . . .				1 500		
высота . . . . .				1 860		

Таблица 32

Теплотехнические показатели котлов «Универсал» (по данным испытаний опытного образца  $H_k = 24,6 \text{ м}^2$ )

Наименование топлива	Напряжение поверхности нагрева $\frac{Q_{\text{п}}}{H_k}$ в ккал/м <sup>2</sup> час	Напряжение зеркала горения $\frac{Q}{R}$ в ккал/м <sup>2</sup> час	К. п. д. в %	Температура отходящих газов $T_u$ в град.	Коэффициент избытка воздуха за котлом $\alpha_k$
Антрацит АРШ . . . . .	9 800	530 000	72,5	254	1,5
Подмосковный уголь БР . . . . .	9 000	528 000	67,1	262	1,65

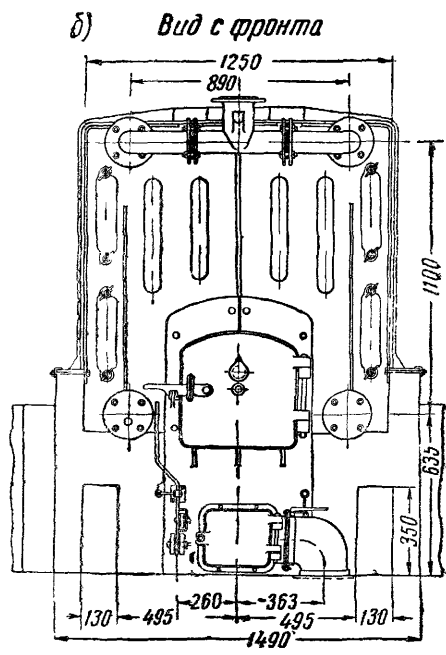
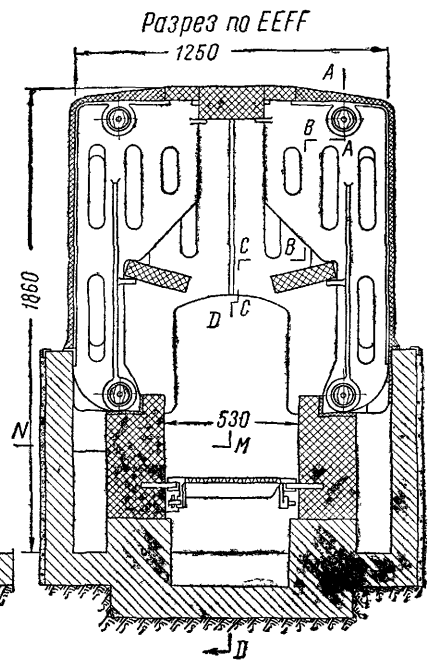
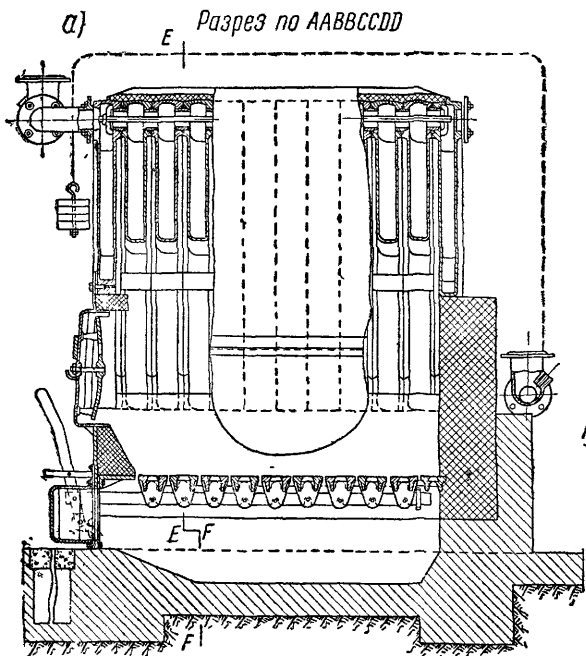
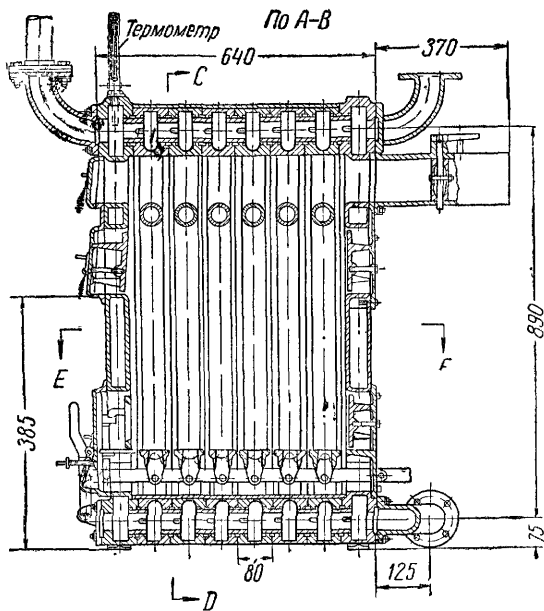


Рис. 138



Вид сверху со снятым кожухом

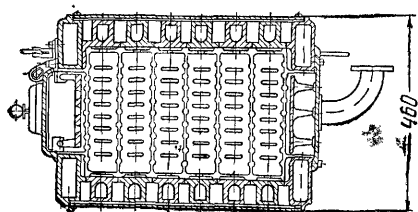
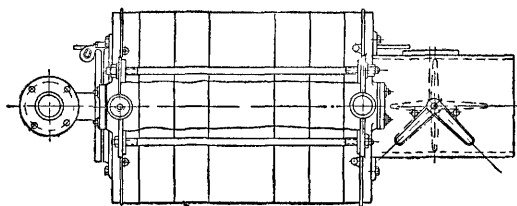
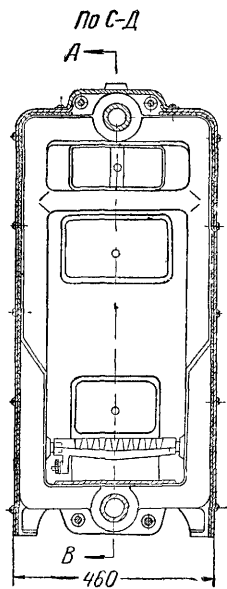


Рис. 139



Расчетную теплопроизводительность поверхности нагрева  $\frac{Q_p}{H_k}$  рекомендуется принимать: для рядовых сортов антрацита— 9 000 ккал/м<sup>2</sup> час; для подмосковного угля — 8 000 ккал/м<sup>2</sup> час. Серийно изготавливается разработанный ВНИИСТО котел М(ч), предназначенный для поквартирного водяного отопления (рис. 139 и табл. 33).

Таблица 33

## Основные характеристики чугунных водогрейных котлов М (ч)

Наименование	Поверхность нагрева в м <sup>2</sup>	
	1,36	2,86
Расчетная теплопроизводительность котла в ккал/час . . . . .	13 000	32 100
Площадь колосниковой решетки в м <sup>2</sup> . . . . .	0,0865	0,214
Габариты котла в мм:		
ширина . . . . .	460	460
длина . . . . .	400	800
высота . . . . .	1 025	1 025

В указанных условиях котлы эксплуатируются по большей части в одноэтажных домах при незначительной высоте дымовой трубы, поэтому и котел должен обладать малым газовым сопротивлением. Топка работает на естественной тяге при разрежении над слоем около 1 мм вод. ст. Котел — секционный, имеет только один вертикальный газоход, включая сюда и топочное пространство.

Учитывая характер эксплуатации таких котлов, при необходимости перерыва между загрузками в ночное время на 8—10 час. следует рекомендовать к сжиганию высокосортные угли, например, антрацит. Коэффициент полезного действия котла при внимательной эксплуатации достигает 70—75%, поскольку потеря тепла в окружающую среду используется для целей отопления помещения.

Н. Н. Ревокатов намечал реконструкцию своего котла путем развития его конвективной части с целью снижения потери тепла с отходящими газами.

После смерти Н. Н. Ревокатова ВНИИСТО выполнило такой вариант, разработав котел «Пламя» (рис. 140 и табл. 34).

Наиболее существенным отличием в новой конструкции явились увеличенная конвективная поверхность газоходов и их форма.

Сравнительные теплотехнические испытания котлов НР (ч) и «Пламя» позволяют считать, что к. п. д. котлов «Пламя» при

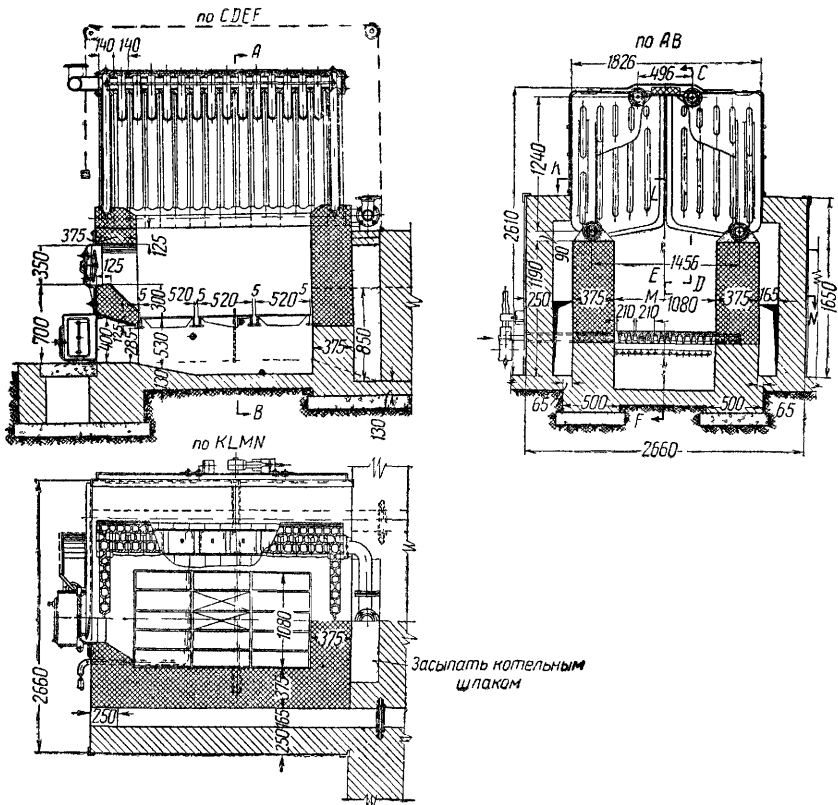


Рис. 140

Таблица 34

### Основные характеристики чугунных водогрейных котлов „Пламя“

Наименование	Поверхность нагрева в м <sup>2</sup>		
	41,2	54,8	68,4
Площадь колосниковой решетки в м <sup>2</sup> . . . . .	1,13	1,70	2,27
Габариты котла в м:			
длина . . . . .	1,8	2,33	2,86
ширина . . . . .		2,66	
высота . . . . .		2,61	



одинаковых прочих условиях, выше чем у котлов НР(ч), на 6—8%, главным образом за счет понижения температуры отходящих газов и соответственного уменьшения потерь с отходящими газами. Рекомендуемый теплосъем — 10 000 — 11 000 ккал/м<sup>2</sup> час.

В директивах XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану красной нитью проходит требование внедрения механизации в трудоемкие процессы производства.

При эксплуатации чугунных отопительных котлов эти требования в значительной мере удовлетворяются путем внедрения в отопительные котельные механических топков.

Кафедрой теплотехники Московского строительного института совместно с ВНИИСТО запроектирован котел «Пламя» с механической топкой (рис. 141). Поверхность нагрева котла доведена до 100 м<sup>2</sup>.

В настоящее время проходят испытания водогрейный и паровой котлы системы «Луч» конструкции ВНИИСТО — Мосгазпроекта для газового отопления (рис. 142).

В котлах, предназначенных для сжигания газа, не следует делать вертикальных опускных газоходов для предотвращения застоя в них газа, случайно прошедшего в котлы при перерывах в работе. Поэтому котлы, имеющие подобные повороты, обыкновенно длительно вентилируют перед пуском в работу, иначе имеется опасность взрыва газа.

Котел «Луч» — одноходовой; с целью повышения теплоотдачи конвекцией секции с газовой стороны отлиты с шипами, создавая род игольчатой поверхности, завихривающей проходящие газы. Котел снабжен прерывателем тяги, обеспечивающим требующееся незначительное разрежение перед горелками и одновременно устраняющим возможность тушения пламени при случайном опрокидывании тяги.

Котел снабжается автоматикой по регулированию режима отопления и обеспечению безопасности в эксплуатации.

Котлы «Луч» намечаются к выпуску с поверхностями нагрева от 7 до 30 м<sup>2</sup>.

## § 56. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СТАЛЬНЫХ КОТЛОВ

Исходной конструкцией котла явился цилиндрический котел с расположенной под ним топкой (рис. 143).

Если рассматривать цилиндрический сосуд, находящийся под давлением (рис. 144), то продольному разрыву в направлении стрелок будут сопротивляться два сечения, и связь между давлением и возникшим напряжением в продольном шве можно будет подсчитать по формуле

$$p = D l p = 2s l \sigma; \quad (167)$$

где  $D$  — внутренний диаметр барабана в см;  
 $l$  — длина барабана в см;  
 $p$  — давление в котле в кг см<sup>2</sup> (ати);  
 $s$  — толщина листа в см;  
 $\sigma$  — допускаемое сопротивление разрыву в кг/см<sup>2</sup>.

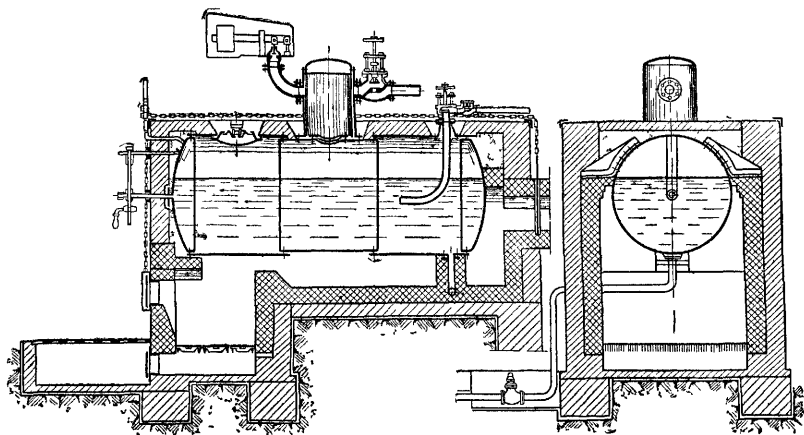


Рис. 143

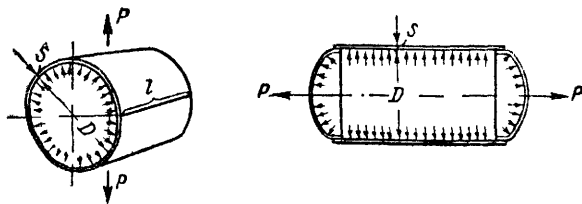


Рис. 144

Из формулы (167) определяется толщина стенки барабана, равная

$$s = \frac{Dp}{2\sigma} \text{ см.} \quad (168)$$

Усилие на разрыв барабана в поперечном направлении равняется

$$\frac{\pi D^2}{4} p = \pi D s \sigma,$$

откуда

$$s = \frac{Dp}{4\sigma} \text{ см,} \quad (169)$$

Таким образом, напряжение, развивающееся в продольном шве, в 2 раза выше, чем в поперечном.

Уточненные формулы для определения требующейся толщины стенки барабана котла, будут даны в разделе расчета котлов на прочность, однако и указанные общие формулы позволяют отметить прямую зависимость толщины стенки от давления пара и диаметра барабана.

Это обстоятельство и предопределило дальнейший ход конструктивного развития паровых котлов.

Вместо одного барабана появляются котлы с одной или двумя жаровыми трубами, находящимися внутри этого барабана, причем топки размещаются внутри труб (рис. 145 и 146). В дальнейших конструкциях количество жаровых труб увеличивается при резком сокращении их диаметров, т. е. появляются котлы с дымогарными трубами (рис. 149). Развивается производство водотрубных котлов, состоящих из труб, внутри которых проходит вода, а снаружи они омываются газами. Эти (кипятильные) трубы, имеющие сравнительно малый диаметр (51—102 мм), составляют основную поверхность нагрева котла. С целью создания единого замкнутого сосуда концы труб объединяют в верхнем и нижнем барабанах котлов (см. рис. 9). Так как на изготовление барабанов водотрубных котлов расходуется много металла, то применяются конструкции паровых котлов, имеющие только один верхний барабан-паросборник (рис. 158 и 161), с заменой нижнего барабана коллектором небольшого диаметра. Наконец, конструируется прямоточный котел проф. Рамзина, который уже совсем не имеет барабанов и состоит только из труб небольшого диаметра ( $40 \times 32 - 52 \times 40$  мм, рис. 190).

## § 57. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОТЛЫ

Стальной котел простейшей конструкции показан на рис. 143. Как видно из рисунка, боковая поверхность цилиндра не полностью используется в качестве полезной поверхности нагрева, так как по правилам Котлонадзора не разрешается омывать газами поверхность парового пространства, чтобы избежать ее сильного нагревания. Значительный диаметр котла вызывает необходимость выполнения его с большой толщиной стенки. Все это вместе взятое вызывает повышенный расход металла на единицу поверхности нагрева. Сам котел получается громоздким и занимает много места. Но не только по этим причинам приходится избегать цилиндрических котлов. Попадающая в котел грязь оседает на стенке, подвергающейся наибольшему нагреву. При загрязненной воде и невнимательной эксплуатации цилиндрический котел может легко получить выпучину, а при более сильном перегреве стенки не исключается и возможность взрыва.

Допускать к постройке цилиндрические котлы можно только с очень малыми поверхностями нагрева (до  $10 \text{ м}^2$ ), когда не удастся использовать более совершенные конструкции.

### § 58. ЖАРОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

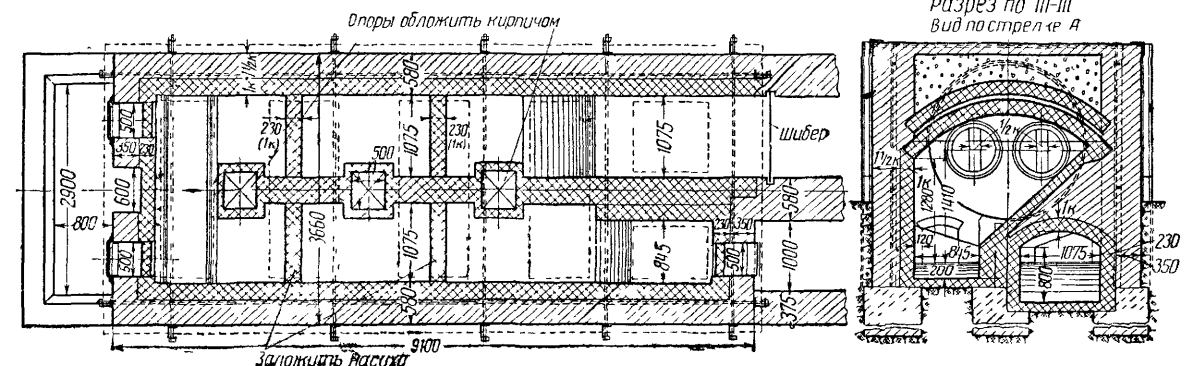
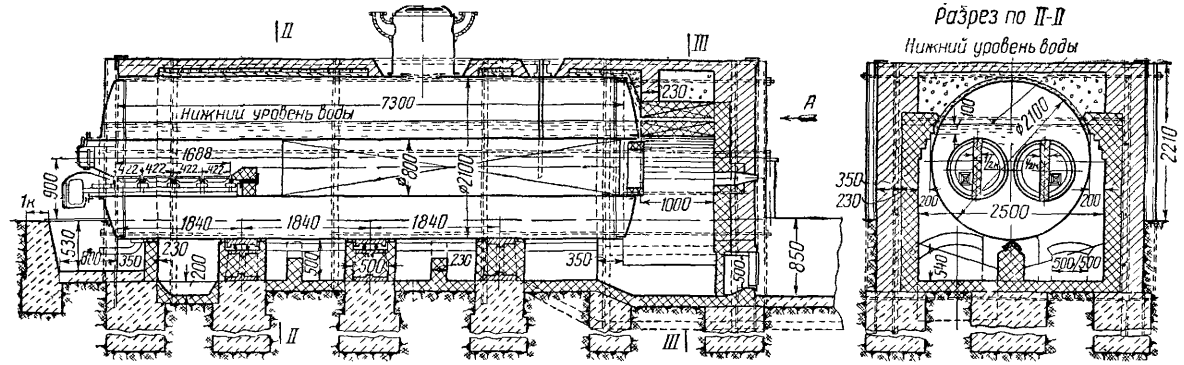
Большим распространением, особенно в мелких установках, пользуются жаротрубные котлы, состоящие из цилиндрического барабана, с одной или двумя жаровыми трубами в которых обычно располагаются топки. Газы, покинув трубы, в дальнейшем обогревают боковые поверхности барабана котла и затем направляются или в экономайзер, или прямо в дымовую трубу. Одножаротрубные котлы выполняются с поверхностями нагрева от 30 до  $50 \text{ м}^2$ , двухжаротрубные от 80—до  $100 \text{ м}^2$ .

**Паровые жаротрубные котлы.** На рис. 145 дается пример установки жаротрубных котлов. Обмуровка одножаротрубных и двухжаротрубных котлов выполняется однообразно, видоизменяясь только в своей верхней части, в зависимости от того, работает ли котел как паровой или водогрейный.

На рис. 145 приведена обмуровка парового жаротрубного котла, выполненная в три газохода. Этот тип обмуровки признается наилучшим; газоходы доступны для чистки и достаточно вместительны, в них может отлагаться летучая зола, не загромождающая собой путь для газов.

Топочные газы, пройдя жаровые трубы, попадают в поворотную камеру, размеры которой по ширине не следует обуживать, так как в этой камере собирается большая часть летучей золы. На чертеже ширина камеры показана равной около  $1\,000 \text{ мм}$ . Этот размер хорош, и если иногда по местным условиям его и приходится убавлять, то во всяком случае он должен быть не менее  $800 \text{ мм}$ . Минуя поворотную камеру, газы проходят по второму газоходу, не доходя до фронта котла, поворачиваются и идут по третьему—последнему газоходу, направляясь к общему сборному борову. В пределах поворотной камеры газы проходят особым каналом, разобщающим третий газоход от пространства поворотной камеры.

Стены обмуровки выкладывают в  $2\frac{1}{2}$  кирпича и реже в 2 кирпича. Верхняя часть газохода не доходит  $100 \text{ мм}$  до наинизшего уровня воды в котле; это — требование Котлонадзора. Снизу в газоходах поставлены кирпичные перегородки (дефлекторы), выкладываемые насухо для возможности их разборки при чистке золы, когда они могут помешать проникнуть в газоход. Назначение дефлекторов—повысить скорость газов в газоходе и тем увеличить коэффициент теплопередачи, так как последний растет с повышением скорости. Следует отметить, что коэффициенты теплопередачи в боковых газоходах цилиндрических котлов



Условные обозначения:

- 
 Огнеупорный кирпич класса «Б»
- 
 Огнеупорный кирпич класса «В»
- 
 Красный кирпич на глине
- 
 Красный кирпич на цементном растворе

Рис. 145



вообще высоки, но это происходит главным образом вследствие косвенного излучения нагретых стен обмуровки на поверхность нагрева, а также излучения значительного по толщине газового слоя; поэтому и отсутствие дефлекторов не очень существенно скажется на снижении коэффициента теплопередачи.

Котел опирается на чугунные опоры, которые и передают его вес на кладку фундамента, выкладываемую на цементном растворе, в то время как вся обмуровка выполняется на простой глине или шамотной — в тех местах, где имеется огнеупорная футеровка.

Огнеупорным кирпичом футеруют газоходы, по которым проходят газы с высокими температурами. Чтобы ориентироваться, какого класса огнеупорный кирпич следует применить, пользуются указаниями ГОСТ 4385-48, по которому шамотные изделия подразделяются на три класса:

класс А	—	огнеупорность не ниже	1730°
"	Б	"	"
"	В	"	"
			1670°
			1580°

Топки для мазута и газа футеруются огнеупорным кирпичом класса А; топки для слоевого сжигания топлива футеруются кирпичом класса Б и котельные газоходы — кирпичом класса В.

Последние газоходы котлов иногда футеруются тугоплавким кирпичом (гжельским), огнестойкость которого по ГОСТ 881-41 равняется для I сорта 1400°, II сорта — 1300°. Сборные боровы, экономайзеры, а также частично и последние газоходы котлов выкладывают красным кирпичом без футеровки.

Размеры кирпичей и кладки приведены в табл. 35.

Футеровка огнеупорным или тугоплавким кирпичом с остальной кладкой из красного кирпича выкладывается вперевязь; это распространяется не только на котельные газоходы, но и на топки. Топки больших котлов футеруют огнеупорным кирпичом, не перевязывая его с остальной кладкой, чтобы лучше обеспечить свободное расширение футеровки при нагревании. Для устойчивости футеровка в таких случаях делается наклонной, а стена несколько утолщается книзу или же прихватывается металлическими скобами (кляммерами) к основной кладке.

Чтобы котел при его разогревании и температурных деформациях не перемещался по опорам, что может вызвать их перекашивание и износ котельной стенки, опоры следует делать подвижными, оставляя только одну неподвижной (рис. 145). Неподвижную опору желательно относить ближе к поворотной камере, тогда перемещение днища котла в местах непосредственного соприкосновения со сводами, перекрывающими поворотную камеру, достигнет минимальных значений. В противном случае это место приходится закладывать асбестом, чтобы создать

Таблица 35

Толщина стены в мм	Количество кирпичей		Толщина стены в мм	Количество кирпичей		Общее количе- ство
	огнеупорный и тугоплавкий 230 × 113 × × 65 мм	красный 250 × 120 × × 65 мм		огнеупорный и тугоплавкий 230 × 113 × × 65 мм	красный 250 × 120 × × 65 мм	
	толщина шва 5 мм			толщина шва 5 мм		
115	1/2	—	370	1/2	1	1 1/2
230	1	—	495	1/2	1 1/2	2
350	1 1/2	—	625	1/2	2	2 1/2
470	2	—	750	1/2	2 1/2	3
585	2 1/2	—	885	1/2	3	3 1/2
705	3	—	490	1	1	2
825	3 1/2	—	610	1	1 1/2	2 1/2
120	—	1/2	745	1	2	3
250	—	1	870	1	2 1/2	3 1/2
375	—	1 1/2	995	1	3	4
510	—	2	610	1 1/2	1	2 1/2
630	—	2 1/2	730	1 1/2	1 1/2	3
765	—	3	865	1 1/2	2	3 1/2
890	—	3 1/2	985	1 1/2	2 1/2	4
1 015	—	4	1 115	1 1/2	3	4 1/2

Примечания. 1. За нормальную толщину шва при огнеупорной кладке считать 3—5 мм, причем высота кладки на 10 плашек будет 680 мм при условии равномерного кирпича.

2. В 1 м<sup>3</sup> кладки содержится с прибавкой 50% на бой: огнеупорного и тугоплавкого — 565 шт.; красного — 470 шт.

3. Вес 1 м<sup>3</sup> кладки — 1,6 — 1,8 т.

4. Огнеупорный и тугоплавкий кирпичи имеют также размеры 250 × × 123 × 65 мм; в таком случае в таблицу надо вносить соответствующие поправки.

известную эластичность. Асбест вообще прокладывают в местах непосредственного соприкосновения металлических стенок котла с кладкой. Это позволяет котлу свободно расширяться, причем он предохраняется от механических повреждений.

Обмуровка котла скрепляется металлическим каркасом. Стойки каркаса располагаются таким образом, чтобы при вылучивании нагретой обмуровки они были нагружены в направлении их наибольшего момента сопротивления.

Следует также воспринять распор от сводов, перекрывающих поворотную камеру, при помощи горизонтально расположенных швеллеров. Подобно тому, как это делалось в топках, перекрывающий поворотную камеру свод часто защищают сверху сводом разгрузочным; это мероприятие увеличивает срок службы первого свода и облегчает ремонт.

На рис. 145 не дано размещение швов барабана, показано только крепление днищ с барабаном котла и жаровыми трубами. Головки заклепок, соединяющих днище и жаровую трубу, будут обогреваться газами с высокими температурами (до 900° перед поворотной камерой). Так как в шве имеется значительное утолщение металла и несколько затруднен отвод тепла, в особенности если еще в этих местах скопится накипь, то головки заклепок могут и обгореть. Чтобы это предотвратить, швы в пределах топки защищают обмуровкой, подобную защиту желательно выполнить и в конце первого газохода, при соединении жаровой трубы с днищем. Для соединения между собой отдельных звеньев жаровых труб, продольный шов которых обычно осуществляется при помощи сварки, используют стыки специальной конструкции (рис. 254). Эти стыки, кроме защиты от обгорания заклепок и разгрузки их от работы на срез, в особенности силами, возникающими при разогревании котла, также дают жаровой трубе известную эластичность, что необходимо, так как в трубе находится топка и стенки трубы разогреваются сильнее, чем обечайки котла. Еще лучше воспринимается это расширение волнистыми жаровыми трубами (рис. 254), однако вследствие сложности изготовления встречающимися сравнительно редко.

В жаровых трубах за топкой иногда располагают вертикальные кирпичные перегородки, предложенные проф. К. В. Киршем с целью повышения коэффициента теплопередачи в жаровых трубах за счет восприятия излучения от накаливаемых кирпичей. Практически такие перегородки оказались малоудобными, так как затрудняют чистку жаровой трубы при сжигании зольных топлив. Летучая зола осаждается в местах, образуемых этими перегородками при стыке с жаровой трубой. В итоге значительная часть поверхности нагрева выключается из работы.

В обмуровке котла оставлены два лаза с фронта, дающие возможность проникнуть в газоходы при их чистке. Во избежание излишних присосов воздуха лазы не только имеют хорошо прикрывающуюся крышку (желательно с асбестовой прокладкой), но в них дополнительно еще выкладывается стенка из кирпича, разбираемая в периоды чисток. С целью борьбы с присосами воздуха через тонкую часть кладки во фронтальной стенке, рядом со спускным краном, следует снаружи поставить стальной лист. Также много присасывается в газоходы воздуха через щели у шиберов за котлом (рис. 143). При установке над шибером стального кожуха вместо широкой щели в верхней части кожуха остается только круглое отверстие для пропуска троса, поднимающего шибер. Поворотные шиберы (рис. 150) следует предпочесть «задвигам» как не требующие значительных усилий при открывании, а также не дающие сколько-нибудь значительного присоса воздуха. Сзади котла, напротив жаровых труб,

иногда располагают гляделки, отверстия которых перекрываются крышкой или стеклом. Сверху парового жаротрубного котла иногда устанавливают сухопарник (рис. 145), основное назначение которого — уменьшить влажность пара, так как при малых скоростях и достаточной высоте подъема из него выпадают капли воды, уносимые с паром. Сухопарник создает некоторое неудобство в эксплуатации, позволяя концентрированно располагать на нем патрубки для крепления к ним вентилей паропроводов, а также предохранительных клапанов.

Питание котла осуществляется через специальные патрубки, располагаемые на цилиндрической части котла (рис. 143) или на днище барабана. По правилам Котлонадзора для вновь изготавливаемых котлов при производительности их более 4 т/час обязательно устройство двух питательных линий и не менее двух вводов питания в котел.

Снизу котла, ближе к фронту, помещается патрубок для продувочного вентиля, через который периодически спускается скопившаяся внизу грязь, а также за счет частичного обмена котловой воды уменьшается степень насыщения водяного объема котла растворенными в нем солями накипеобразователей.

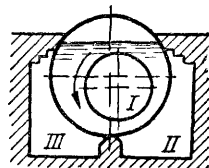


Рис. 146

С целью улучшения условий циркуляции одножаротрубные котлы часто изготавливались с жаровой трубой, сдвинутой вбок (рис. 146). При таком расположении в узком пространстве между трубой и корпусом барабана, обогреваемого с двух сторон, больше образуется паровых пузырей, чем с противоположной стороны, что вызовет усиленную циркуляцию, указанную на чертеже стрелкой.

**Водогрейные жаротрубные котлы.** На рис. 147 приведена типовая обмуровка водогрейного жаротрубного котла. В отличие от парового котла, где запрещается обогревать газом паровое пространство, чтобы не вызвать чрезмерного нагрева стенки, обмуровка водогрейного котла предусматривает полное обогревание цилиндрического корпуса котла. Газы проводятся аналогично предыдущей обмуровке по трем газоходам, причем разобщение второго газохода от третьего, как и в паровом котле, произведено снизу вертикальной стенкой в  $1\frac{1}{2}$  кирпича, а сверху — утолщением в замке перекрывающего котел свода. Над упомянутым сводом для его разгрузки желательно иметь второй свод. В остальном детали обмуровки те же. Отвод горячей воды производится сверху котла, вблизи его фронта. Подача питательной воды выполняется сверху котла, ближе к поворотной камере, в отличие от довольно часто встречающегося на прак-

тике питания водогрейных котлов снизу, что не рекомендуется.

Не следует забывать, что водогрейный котел является в сущности экономайзером, только снабженным самостоятельной топкой, и, как во всяком экономайзере, температура воды в нем всюду разная, постепенно повышающаяся от температуры питательной воды до горячей. В паровом же котле температура воды вследствие хорошей циркуляции всюду одинаковая, соответствующая тому давлению пара, с которым работает котел. Поэтому вода в котле даже при небольшом давлении имеет во всех пунктах температуру во всяком случае не ниже  $100^{\circ}$ , и паровой

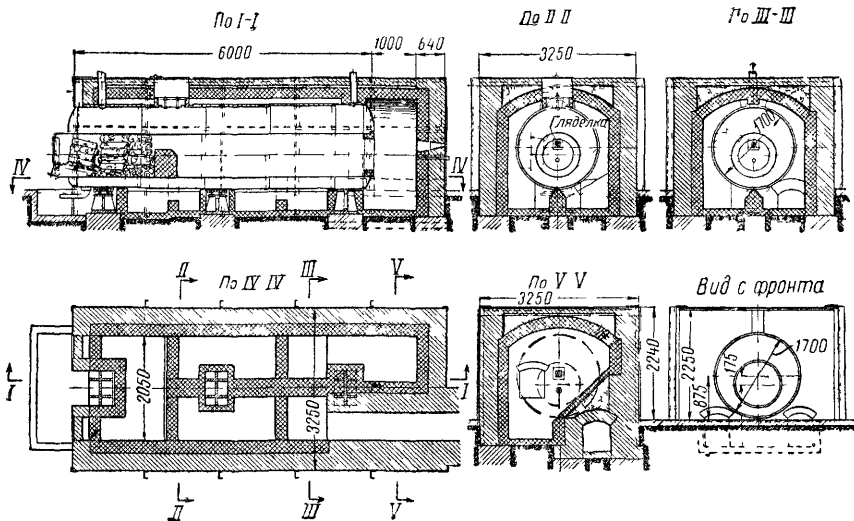


Рис. 147

котел не боится росы, которая может выпасть в отходящих газах при местном их переохлаждении.

При подводе воды в водогрейный котел снизу вода будет постепенно подогреваться, причем наиболее холодная вода останется внизу барабана, где и будет наблюдаться внешняя коррозия из-за появления росы. При питании сверху холодная вода как более тяжелая тонет в общей массе подогретой воды, лучше происходит перемешивание, и в котле исчезают участки, омываемые наиболее холодной водой.

Указанное относится к отопительным котлам, когда температура обратной воды, идущей из системы отопления, обычно не снижается ниже  $30^{\circ}$ . Еще более тяжелые условия получаются, когда жаротрубные котлы используются для нагревания воды горячего водоснабжения. В этом случае температура входящей в котел водопроводной воды в зимнее время не превышает  $5-7^{\circ}$ ,

стенки котла начинают покрываться росой, ржавеют и котлы быстро выходят из строя. Поэтому в настоящее время для целей горячего водоснабжения применяются паровые котлы. Пар из котлов направляется в поверхностные теплообменники, в которых и готовится горячая вода.

Чтобы использовать и сохранить имеющийся в наличии значительный парк жаротрубных котлов и не устанавливать отдельных теплообменников, работники Ленинградского коммунального хозяйства тт. Черенин и Попов предложили переоборудовать водогрейные котлы, находящиеся в банях, на паровые низкого давления со встроенным в них теплообменником. В таких котлах вместо манометра следует ставить мановакуумметр,

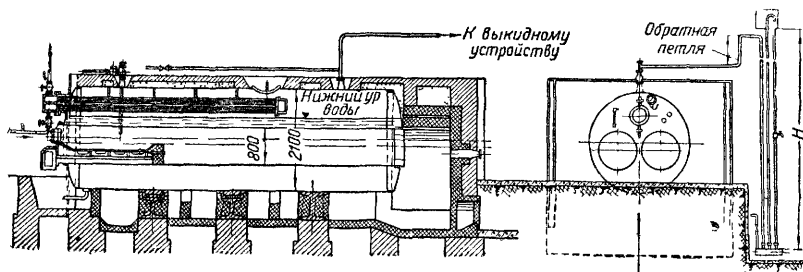


Рис 148

а в выкидное приспособление добавлять обратную петлю (рис. 148), так как при изменяющемся режиме не исключается возможность образования в котле вакуума.

Чтобы проникнуть внутрь котла с целью его осмотра, очистки накипи и т. п., устраивают лазы овальной формы размерами  $325 \times 420$  мм, но не менее  $300 \times 400$  мм. У одножаротрубного котла можно ограничиваться одним лазом (рис. 147), а в двухжаротрубном их приходится делать два, располагая один лаз в верхней части котла и другой — во фронтальном днище, под жаровыми трубами.

Характерной особенностью жаротрубных котлов является внутренняя топка. В этом отношении жаротрубный котел является прототипом котлов с экранированными топками. Сжигая в жаровой трубе антрацит на колосниковой решетке или нефтяные остатки, достигают максимального развития прямой отдачи и, следовательно, наилучшего использования поверхностей нагрева. Однако жаровая труба при сжигании в ней кускового топлива часто ограничивает развитие зеркала горения; кроме того, при засоренных сортах топлива осложняется чистка шлака и сокращаются периоды между чистками. Такое топливо, как торф или подмосковный уголь, вообще не удастся сколько-нибудь эффек-

тивно сжигать непосредственно в жаровой трубе, так как наряду с повышенной зольностью большая влажность вынуждает снижать прямую отдачу, а низкая теплотворная способность приводит к необходимости увеличивать зеркало горения.

В таких случаях переходят к выносным топкам, однако они плохо комбинируются с жаротрубными котлами, загромождают доступ к арматуре котла, занимают много места перед фронтом и в большинстве случаев чрезмерно уменьшают прямую отдачу (рис. 37, 44), увеличивая температуру газов за котлом.

Таким образом, жаротрубные котлы удобны и экономичны при сжигании в них только высококалорийного топлива, например, нефтяных остатков, газа или антрацита.

Жаротрубные котлы вмещают большой объем воды; это позволяет поддерживать постоянное давление в котле даже при резко переменном расходе пара. Большой объем воды, нагретой до состояния кипения, является мощным аккумулятором тепла. Даже при незначительном понижении давления из водяного объема котла дополнительно выделяется много пара, и, наоборот, при повышении давления значительная часть тепла, выделяемого топкой, расходуется на нагревание воды до температурного уровня, соответствующего новому давлению.

Большой объем воды увеличивает взрывоопасность котла, поэтому, используя старые паровые жаротрубные котлы, даже при пониженном давлении пара надо тщательно следить за имеющимися в них дефектами, не допуская увеличения разъединений и пр. Состояние стенок котла внутри и снаружи периодически контролируется; число осмотров и их порядок регламентированы соответствующими правилами Котлонадзора. Для котлов, имеющих те или иные пороки, такие осмотры производятся чаще.

Водогрейные котлы с большим объемом ранее рекомендовалось устанавливать для приготовления воды горячего водоснабжения (бани, прачечные), так как они отчасти заменяли разборные баки или позволяли уменьшить размер последних. В настоящее время в связи с общей тенденцией использования местных топлив, по преимуществу сильно влажных, вообще отпадает возможность устройства водогрейных котлов для целей горячего водоснабжения, так как они будут ржаветь и быстро выходить из строя.

Большой объем воды в паровом котле (рис. 145) еще может иметь значение, например, для механических прачечных, где приходится считаться с сильно колеблющейся нагрузкой по пароснабжению стиральных машин, бучильников и прочего оборудования. В более крупных предприятиях бумажной, текстильной промышленности, в паровых кузницах и т. п., где применяются котлы большой мощности, для уменьшения колебаний давления пара устанавливают дополнительно паровые аккумуляторы.

В жаротрубных котлах корпус котла получается значительных размеров и веса. Диаметр барабана 1 600—2 000 мм для одножаротрубных котлов и 2 200—2 400 мм — для двухжаротрубных.

Толщина стенки таких барабанов при сколько-нибудь значительном давлении требуется большая, в связи с чем увеличивается и вес котла, считая на 1 м<sup>2</sup>. Паровые двухжаротрубные котлы поверхностью нагрева 92 м<sup>2</sup> и на давление 8 и 10 атм изготовлялись в последнее время Таганрогским заводом. Вес котла клепаного — 210 кг/м<sup>2</sup>, сварного — 185 кг/м<sup>2</sup>.

Значительный вес 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрева, примерно превышающий в 2 раза вес водотрубного котла, является основным недостатком жаротрубных котлов, побуждающим переходить к иным конструкциям, расходующим меньше металла.

### § 59. КОТЛЫ С ДЫМОГАРНЫМИ ТРУБАМИ

Кирпичная обмуровка увеличивает установочный вес котлов и занимает много места. Поэтому большое применение на желез-

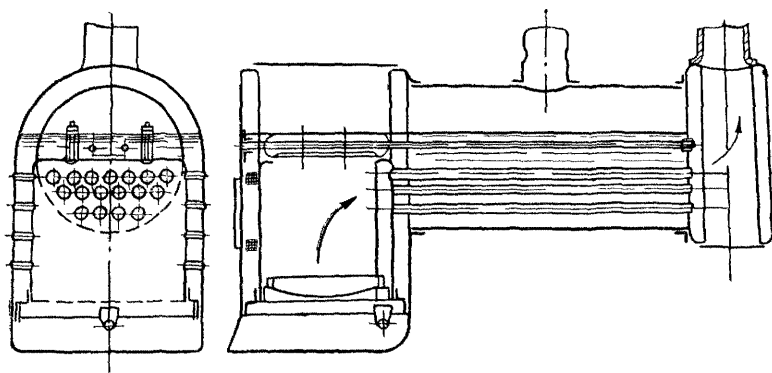


Рис. 149

нодорожном и водном транспорте нашли котлы с дымогарными трубами. Характерной особенностью этих конструкций являются компактность и отсутствие обмуровки. В стационарных установках из котлов подобного типа применяются локомотивные котлы (рис. 149). Локомотивные котлы имеют внутреннюю топку, достоинства и недостатки которой были разобраны при рассмотрении жаротрубных котлов. Большим недостатком котлов с дымогарными трубами являются крайняя затруднительность, а часто и полная невозможность механической очистки с труб накипи. Этот недостаток отсутствует в локомотивном котле, изображенном на рис. 150, а и б, так как в этом котле всю систему







Второй тип локомобильных котлов имеет топку паровозного типа (рис. 149), при которой уже не представляется возможной выемка наружу системы дымогарных труб. Внешний барабан котла с дымогарными трубами обыкновенно изолируется обычными изоляционными материалами, употребляемыми для паропроводов. В стационарных установках можно, конечно, подверг-

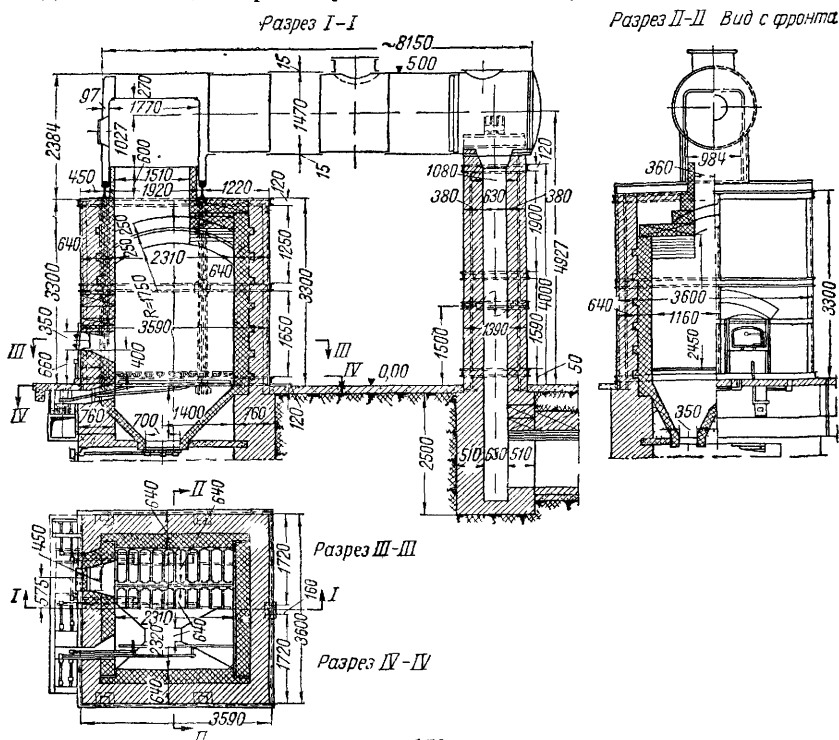


Рис. 152

нуть обогреву газами и внешний барабан, оформляя в таком случае обмуровку по типу, применяемому в жаротрубных котлах.

Чтобы обеспечить возможность чистки дымогарных труб от золы и сажи, устраивают особые дверки в дымовой коробке, открывая которые, получают доступ к дымогарным трубам. Чистка производится штангой с насаженной на ее конец металлической щеткой, последней и производится очистка трубы от золы. Для удобства работы со штангой необходимо предусматривать свободное место. Можно также применять обдувку труб паром или воздухом.

На рис. 151 показано использование для целей отопления паровозного котла. Под котлом сжигается антрацит. Для очистки от

шлака часть плитчатых колосников делается опрокидывающимися. Через образующиеся при повороте плит отверстия производят выгрузку шлака в поддувало. Если бы, например, потребовалось сжигать под паровозным котлом подмосковный уголь, то котел пришлось бы поднять кверху, а колосниковую решетку расположить в кирпичной шахте, являющейся в таком случае как бы продолжением топочной коробки. В выносной топке можно расширить площадь зеркала горения, вследствие чего одновременно уменьшится прямая отдача, что для такого низкосортного и влажного угля, как подмосковный, является существенно необходимым (рис. 152).

## § 60. ВОДОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

В дальнейшем рассматриваются только паровые котлы. Общие соображения о возможности использования существующих систем водотрубных паровых котлов в качестве водогрейных, будут приведены в особой главе.

Из всех котлов, работающих в стационарных условиях, наибольшим распространением пользуются водотрубные котлы, само название которых указывает, что вода находится внутри труб. По сравнению с описанными ранее, эти котлы имеют много достоинств.

Водотрубные котлы можно быстро растапливать, так как у них хорошо осуществляется циркуляция, выравнивающая температуру воды в различных пунктах котла и не допускающая возникновения местных повышенных напряжений в металле, течи швов и пр. Хорошая циркуляция обеспечивает отвод пузырьков пара из мест, подверженных нагреванию, и тем предотвращает возможность перегрева металла труб даже при высоких форсировках. Форсировки современных водотрубных котлов доводятся до  $75 \text{ кг/м}^2\text{час}$  пара и выше, но для подобных напряжений, как ни хорошо обеспечивается циркуляция в водотрубных котлах, все же необходимо рассчитывать котел на циркуляцию с целью выявления достаточности имеющихся гидравлических напоров для вывода в паросборник всего образующегося в трубах пара.

Высокие форсировки — порядка  $50 \text{ кг/м}^2\text{час}$  и более — обычно достигаются только при условии снабжения котлов механическими или пылеугольными топками. Котлы небольшой мощности, обслуживающие отопление, вентиляцию и производственные процессы обычно снабжаются более примитивными топочными устройствами: ручными колосниковыми решетками, шахтными топками, ступенчатыми решетками. В таких случаях топка ставит предел форсировке работы котельных поверхностей; последняя по большей части не превышает  $35 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$  нормаль-

ного пара, и наличие в котле должной циркуляции в большинстве случаев не вызывает сомнений.

У водотрубных котлов топка внешняя; это также считается одним из существенных достоинств, так как удобнее размещаются под котлом топки для любого состава топлива, не исключая и многозольных низкосортных.

По затрате металла водотрубные котлы являются наиболее совершенными. У них отсутствуют детали, имеющие большой диаметр, как, например, корпуса жаротрубных котлов. Водотрубные котлы компактны, занимают мало места, а также эластичны даже и при неравномерном нагреве стенок. У них редко появляется течь в швах или в вальцовке.

В зависимости от наклона труб к горизонту водотрубные котлы делятся на горизонтально-водотрубные и вертикально-водотрубные. У первых трубы почти горизонтальны — с углом наклона  $12^{\circ}$ — $15^{\circ}$ , у вертикально-водотрубных котлов наклон труб по большей части превышает  $45^{\circ}$ .

Высокие форсировки, в особенности первых, считая от топки, поверхностей нагрева, требуют почти полного отсутствия отложений накипи, иначе стенка перегревается, в трубе в большинстве случаев образуется отдулина и затем свищ. Для выполнения этого требования организуют водоподготовку, переводя эксплуатацию котла на безнакипный режим, или образовавшийся в трубах налет накипи периодически очищают особыми шарошками, приводимыми во вращение от гибкого вала.

Водотрубные котлы наиболее распространенных конструкций вполне обеспечивают возможность подобного механического удаления накипи.

## § 61. ЦИРКУЛЯЦИЯ ПАРОВОДОЯНОГО ПОТОКА В КОТЛАХ

При описании схемы котельной установки пояснялись физические причины, вызывающие циркуляцию пароводяного потока в паровом котле. Там же отмечалось значение циркуляции в смысле облегчения вывода пара к зеркалу испарения.

В котлах цилиндрических, жаротрубных и с дымогарными трубами циркуляция пароводяного потока происходит хаотично. Организовать циркуляцию удастся только в водотрубных котлах, где могут быть выделены и рассчитаны отдельные циркуляционные контуры. Ниже приводится описание принципов подобного расчета.

На рис. 153 приведена простейшая схема так называемого циркуляционного контура. В сосуд наливается вода, причем левое колено U-образной трубки подогревают, образуется пар; удельный вес смеси пара и воды будет меньше по сравнению с удельным весом в правом колене. Жидкость в подобных усло-

виях не будет находиться в состоянии равновесия. Например, в сечении  $A-A$  давление слева будет меньше, чем справа, — начнется движение, которое и носит название циркуляции. Пар выделится с зеркала испарения, удаляясь далее из сосуда, а на его место в таком же количестве по весу поступит питательная вода.

Для расчетов циркуляции решают два уравнения. Первое — выражает материальный баланс, второе — баланс сил.

Первое уравнение формулируется так:

$$G^{\text{под}} = G^{\text{оп}} \text{ кг/сек}, \quad (170)$$

где  $G^{\text{под}}$  — количество воды и пара, движущихся в подъемной части контура, в кг/сек;

$G^{\text{оп}}$  — количество воды, движущейся в опускной части, в кг/сек.

Уравнение баланса сил может быть выражено следующей зависимостью:

$$N = \Delta p \text{ кг/м}^2, \quad (171)$$

где  $N$  — полный движущий напор, равный  $h(\gamma_v - \gamma_{\text{см}})$ , в кг/м<sup>2</sup> (рис. 153);

$\Delta p$  — сумма гидравлических сопротивлений в кг/м<sup>2</sup>, включая и силу инерции, возникающих при движении пароводяной эмульсии и воды по контуру и вызывающих в итоге равномерное движение с определенной скоростью.

Уравнение (171) может быть переписано так:

$$h(\gamma_v - \gamma_{\text{см}}) = \Delta p_{\text{уск}} + \Delta p_{\text{тр}}^{\text{под}} + \Delta p_{\text{м.с}}^{\text{под}} + \Delta p_{\text{тр}}^{\text{оп}} + \Delta p_{\text{м.с}}^{\text{оп}} \text{ кг/м}^2. \quad (172)$$

Пар, образующийся в подъемном участке контура, движется быстрее воды. Это относительное движение и вызывает затрату энергии  $\Delta p_{\text{уск}}$ . Пока еще не найдено методов подсчетов указанного сопротивления, и с целью включения в задачу расчетов по циркуляции экспериментальных сведений вводится понятие о полезном движущем напоре:

$$N^{\text{пол}} = h(\gamma_v - \gamma_{\text{см}}) - \Delta p_{\text{уск}} - \Delta p_{\text{тр}}^{\text{под}}. \quad (173)$$

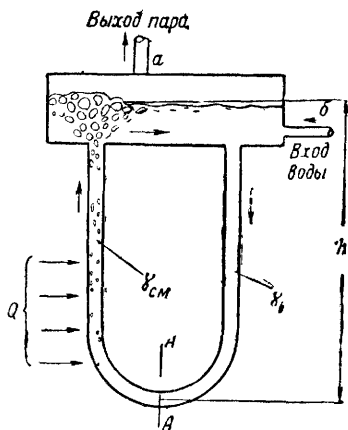


Рис. 153

Тогда, решая уравнения (172) и (173), получают

$$N^{\text{пол}} = \Delta p_{\text{м.с}}^{\text{пол}} + \Delta p_{\text{тр}}^{\text{оп}} + \Delta p_{\text{м.с}}^{\text{оп}} = \sum \Delta p \text{ кг/м}^2; \quad (174)$$

$\Delta p_{\text{тр}}^{\text{оп}}$  — сопротивление опускного участка на трение;

$\Delta p_{\text{м.с}}^{\text{пол}}$  и  $\Delta p_{\text{м.с}}^{\text{оп}}$  — местные сопротивления подъемных и опускных участков контура.

По формулам гидравлики эти сопротивления выражаются так:

$$\Delta p_{\text{м.с}} = \zeta \frac{w^2 \gamma}{2g};$$

$$\Delta p_{\text{тр}}^{\text{оп}} = \frac{\lambda w^2 \gamma l}{2gd};$$

$w$  — скорость движущегося потока в м/сек;

$l$  — длина данного участка контура в м;

$d$  — диаметр трубы в м;

$\zeta$  — коэффициент местного сопротивления;

$\lambda$  — коэффициент трения;

$g$  — ускорение силы тяжести в м/сек<sup>2</sup>.

Определение  $N^{\text{пол}}$  зависит от ряда факторов, в том числе от интенсивности теплопередачи, конфигурации профиля, давления пара и пр. Изложение теоретических и экспериментальных сведений, входящих в основу определения  $N^{\text{пол}}$ , а также гидравлических сопротивлений опускных и подъемных участков контура приводится в соответствующих книгах. В данном случае освещается только принципиальная сторона подобных расчетов.

В циркуляционном контуре котла имеется большое количество параллельно работающих труб, причем условия их работы не могут быть в силу ряда причин совершенно идентичны. Чтобы обеспечить бесперебойную циркуляцию во всех трубах параллельно работающих контуров и не вызвать в каком-нибудь из них опрокидывания циркуляции, необходимо увеличить скорость движения воды по контуру, что обеспечивается определенной кратностью циркуляции  $K$ .

Обычно кратность циркуляции выбирается в пределах 10—50 и при малой тепловой нагрузке труб значительно больше 200—300.

Расход воды в контуре с учетом кратности циркуляции равняется

$$G = \frac{D}{3600} K \text{ кг/сек}, \quad (175)$$

где  $D$  — расход пара (питательной воды) рассчитываемого контура в кг/час.

Скорость воды при входе в подъемную часть контура можно определить из равенства

$$\omega_0 = \frac{G}{f\gamma_ч} \text{ м/сек}, \quad (176)$$

где  $f$  — площадь сечения труб контура в  $\text{м}^2$ .

В дальнейшем должна быть построена диаграмма циркуляции (рис. 154), где по оси абсцисс откладывается  $\omega_0$  или  $G$ , а по оси ординат — полезный напор  $N^{\text{пол}}$  или  $\Sigma\Delta p$  в  $\text{кг/м}^2$ . Зная диаметр трубы и ее длину, а также характер местных сопротивлений на изгибах, при входе и выходе и пр., можно, задаваясь  $\omega_0$  определить  $\Delta p_{\text{м.с}}$  и  $\Delta p_{\text{тр}}$  и из равенства (174) подсчитать  $\Sigma\Delta p$  по заданной  $\omega_0$ . Одновременно, зная количество тепла, получаемого контуром, задаваясь скоростью  $\omega_0$ , а следовательно, и весовым расходом воды, можно выяснить долю

пара в подъемном участке контура и  $\gamma_{\text{см}}$ . Пользуясь опытными данными, определяют в формуле (173)  $\Delta p_{\text{уск}}$  и  $\Delta p_{\text{тр}}^{\text{пол}}$  и таким образом по заданной  $\omega_0$  находят  $N^{\text{пол}}$ .

На графике (рис. 154) нанесены две кривые изменений  $\Sigma\Delta p$  и  $N^{\text{пол}}$  в зависимости от скорости  $\omega_0$ . Точка пересечения кривых дает решение, показывающее, какая скорость и кратность циркуляции будут получаться в заданных условиях при выбранных диаметре труб, их длине и других конструктивных особенностях контура, а также в зависимости от давления пара, сообщаемого тепла и пр.

Анализируя данные по расчету циркуляции, выясняется значение высоты контура. С ее уменьшением будет падать кратность циркуляции, повысить которую можно будет только за счет увеличения диаметра труб и уменьшения их длины, что будет влиять на повышение расхода металла.

При изложении теории циркуляции было упомянуто о возможности опрокидывания циркуляционного потока. В подобном случае могут получиться такие соотношения между скоростями движения воды и пара, что в подъемных трубах образуется паровой мешок, застой пара, что может вызвать перегревание стенки трубы и ее разрыв из-за плохого отвода тепла. Такие явления могут возникнуть в случаях обогревания отходящими газами опускных участков контура при пониженных скоростях движения в них водяного потока. Чтобы лучше обеспечить бесперебойность работы циркуляционных контуров, в современных крупных котлоагрегатах опускные трубы выносят из пределов

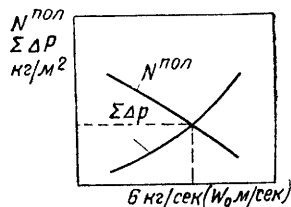


Рис. 154



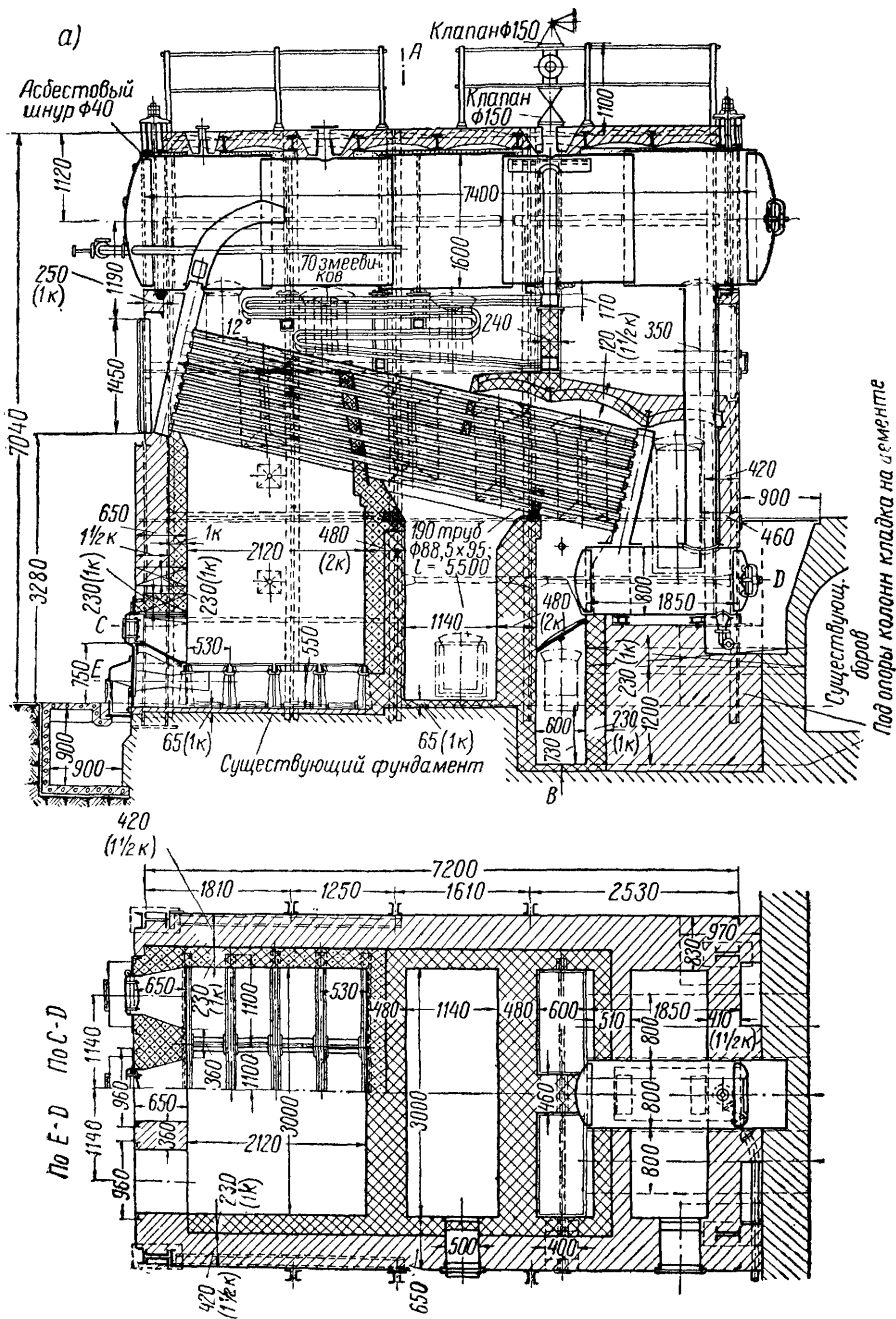


Рис. 15 а

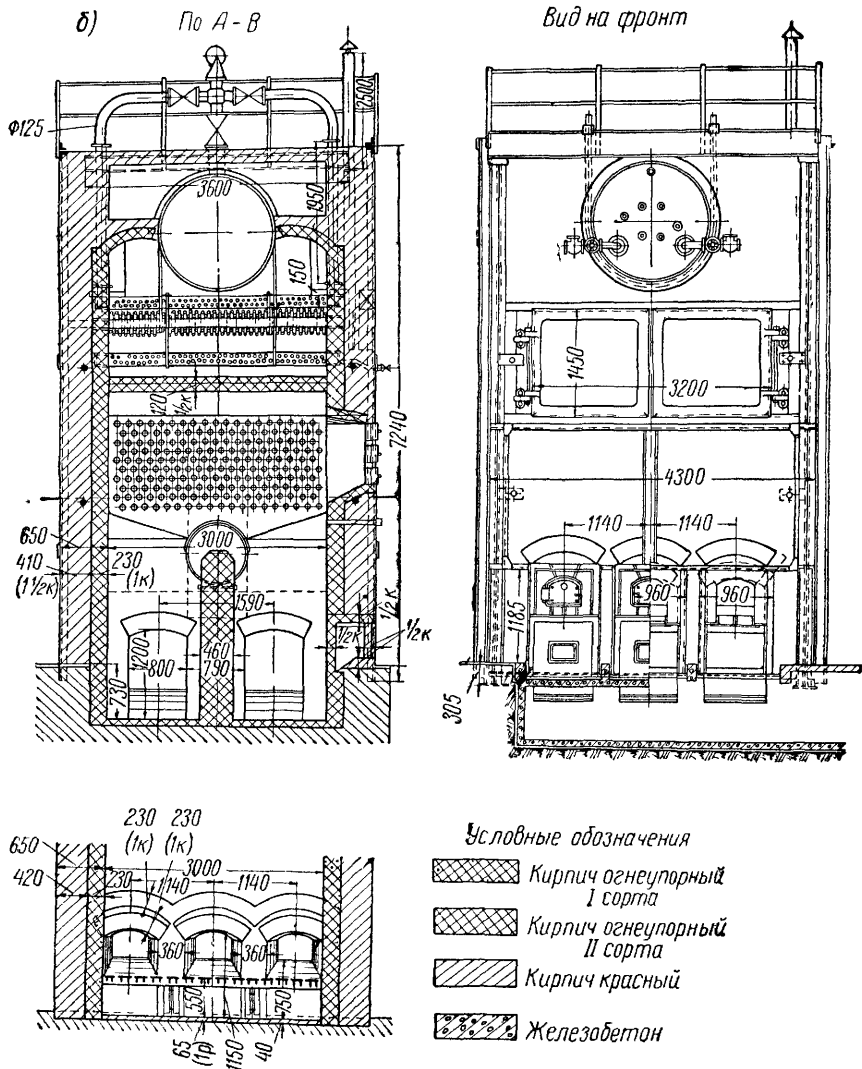


Рис. 1556

газохода Это увеличивает расход металла, не используемого в качестве поверхностей нагрева, но зато обеспечивает надежность эксплуатации.

## § 62. ГОРИЗОНТАЛЬНО-ВОДОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

Горизонтально-водотрубные котлы могут быть подразделены на две группы: на камерные котлы и секционные.

В настоящее время камерные котлы больше почти не строятся. Одно время они имели распространение для сравнительно невысоких давлений. Одним из таких котлов, выполнявшихся у нас, является камерный котел системы Лукина (рис. 155).

Основная поверхность нагрева в этом котле состоит из немного наклонно поставленных к горизонту труб диаметром  $88,5 \times 95$  мм и длиной 5 500 мм. Трубы развальцовываются в стенках двух камер, имеющих коробчатую форму. Взаимно-противоположные стенки каждой из камер скрепляются с целью предохранения от выпучивания целой сетью анкерных связей, размещаемых в промежутках между трубами (рис. 156).

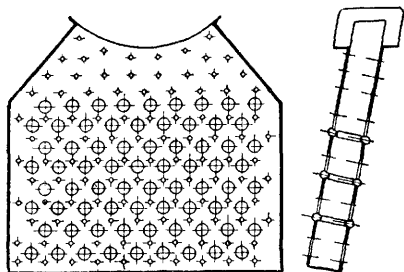


Рис. 156

Для возможности установки труб, развальцовки их концов и очистки от накипи в камерах против каждой трубы предусматриваются лючки.

Передняя камера присоединяется непосредственно к барабану-паросборнику, а задняя—к барабану-грязевику, который уже при помощи циркуляционной трубы диаметром от 250 до 400 мм (в зависимости от размера котла) сообщается с верхним барабаном.

Первоначально предполагали, что объединяющая все трубы камера, хотя сложна в изготовлении и требует повышенного расхода металла, будет способствовать беспрепятственному выводу потока воды и пара в верхний барабан. Это дало бы возможность сильно повысить работу котла без опасений получить застой пара в отдельных трубах и как следствие — их перегрев. Практически оказалось, что секционный котел (описанный ниже и показанный на рис. 158), в котором проход пароводяной смеси, казалось бы, более стеснен, хорошо справляется с очень высокими форсировками.

Таким образом, это основное преимущество камерных котлов оказалось ложным. В остальном же котел не представляет

интереса: он громоздок, много расходует металла для повышенных давлений, в процессе изготовления требует сложных котельных работ, отдельные детали не поддаются унификации при производстве котлов различных поверхностей нагрева. В силу указанных недостатков эти котлы в настоящее время не изготавливаются.

На рис. 155 изображен монтаж камерного котла с пароперегревателем и ручной решеткой для сжигания антрацита. Забор насыщенного пара в перегреватель произведен непосредственно в барабане котла без промежуточного вентиля. Значительно большим распространением пользуется схема, по которой ветвь трубопровода, отводящая пар в перегреватель, присоединяется к котлу извне.

Котел, как и большинство остальных конструкции, монтируется на каркасе, в основном состоящем из четырех колонн, попарно сверху соединенных балками, на которых при помощи хомутов из круглой стали и подвешивается котел. Для придания каркасу необходимой жесткости все колонны соединяются между собой горизонтальными связями. Под нижний барабан-грязевик также устанавливаются две опоры, в свою очередь опирающиеся на кладку; назначение этих опор дополнительное и при расчете каркаса и самого котла они не учитываются, так как нет гарантии, что груз от котла разложится на три направления; может оказаться, что после монтажа нагрузка совсем не передается на нижние опоры или, наоборот, ими будет подперт котел и разгружен задний поддерживающий хомут.

Витки пароперегревателя поддерживаются балками, причем, как это обычно и делается, в газоходах, имеющих высокую температуру, балки выполнены чугунными. Чугун лучше противостоит температурным воздействиям, а полая форма балок позволяет охлаждать их при помощи воздуха. Холодный воздух вводится с одного конца балки, а с противоположного — посредством особой надставной трубы — нагретый воздух отводится в верх котельного здания. Указанная на чертеже дополнительная подвеска балок к барабану посредством тяг из круглой стали в местах высоких температур малонадежна, так как тяги часто перегорают.

Обмуровка котла, как уже указывалось, выполняется на глине с толщиной стенок в  $2\frac{1}{2}$  кирпича. Котел имеет четыре газохода, что обеспечивает достаточно высокие скорости газов по газоходам и соответственно повышенные коэффициенты теплопередачи. Чтобы обеспечить возможность обдувки газоходов от осевших на трубы золы и сажи, в боковых стенах обмуровки оставляются щелевидные обдувочные отверстия, закрываемые дверками. Через каждое отверстие проводится труба, вдвигаемая между рядами труб и имеющая на своем конце ряд отверстий.

Обдувочные трубы при подведении к ним пара или воздуха могут быть объединены; в малых установках часто обходятся одной трубой, которая последовательно проводится через все обдувочные отверстия. По трубе пропускается пар или воздух от компрессора. Воздухом пользуются в тех случаях, когда берегут конденсат, а также в установках с водогрейными котлами.

Для наблюдения за характером горения оставлены гляделки. Осмотр газопроходов производят через лазы

Боковые стенки передней и задней камер изготавливаются из стальных листов, привариваемых к лобовым листам камер сваркой. Как это видно на рис. 155, нижняя часть передней камеры закрыта кирпичной стенкой. Весьма важно, чтобы эта часть камеры не оголилась, например, из-за разрушения топочной футеровки. В таком случае низ передней камеры, где может скопиться грязь, будет обогреваться по сварному шву топочными газами, что может вызвать аварию. Было зарегистрировано несколько взрывов камерных котлов по указанным выше причинам. Камерные котлы изготавливались с поверхностями нагрева от 80 до 350 м<sup>2</sup>, давление — не выше 15 атм.

Следующим типом горизонтально-водотрубных котлов являются котлы секционные. На рис. 10 приводится сборка такого секционного котла с

продольно расположенным барабаном. Каждый вертикальный ряд труб объединяется коллектором, которому придана змейкообразная форма (рис. 157) для расположения труб в шахматном порядке, считая по ходу газов, что увеличивает коэффициент теплопередачи.

Коллекторы плотно примыкают друг к другу, щели уплотняются асбестовым шнуром, и таким образом создаются стенки газохода.

В торцы коллекторов и в особые карманы паросборника ввальцовывают трубы (рис. 10), создавая тем замкнутую систему, по которой циркулирует вода и выносятся в паросборник пар.

Соответственно изгибая трубы, их можно и прямо вальцевать в круглый барабан, без устройства карманов.

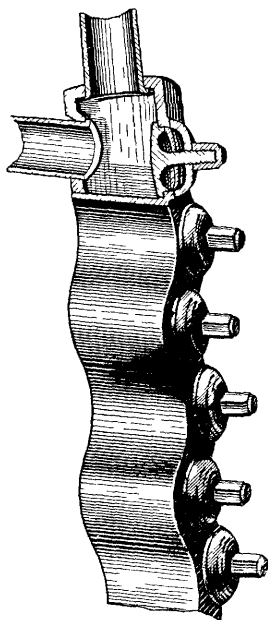


Рис. 157

Один паросборник может обслужить лишь определенное число секций; в котлах больших поверхностей нагрева добавляется еще барабан.

Все секции как в паровой части, так и в водяной объединяются между собой: сверху — сухопарником, устанавливаемым при двух барабанах, перпендикулярно к ним, а снизу — так же расположенным грязевиком, соединяемым с каждой из секций отрезком трубы, укрепляемым развальцовкой.

Трубы обычно берутся диаметром  $94,5 \times 102$  мм и длиной в зависимости от размера котла от 3 500 до 5 500 мм. Размеры в поперечном сечении коллекторов получаются незначительными (внутри  $140 \times 120$  мм), поэтому повышение давления даже до весьма высоких значений не сказывается сколько-нибудь значительно на увеличении толщины стенки.

Таким образом, основные элементы конструкции могут быть стандартизованы и требуют минимального количества металла, в особенности при высоком давлении. Разбираемый на мелкие составные части котел легко транспортируется. Основным недостатком, из-за которого удорожается, утяжеляется и усложняется конструкция, является наличие барабана-паросборника и большого количества лючков, требующихся для вальцовки труб и очистки их от накипи — по одному лючку на каждую сторону трубы (рис. 157).

Для возможности размещения большого количества труб по периферии барабана котла его диаметр делается не меньше 1 м.

С повышением давления расход металла на барабаны будет расти, поэтому стремятся сократить их количество и объем, переходя на систему с одним поперечно расположенным барабаном.

На рис. 158 приводится установка такого котла типа СМ Таганрогского котельного завода.

Обыкновенно подобные котлы уже снабжаются водяными экранами.

Обмуровка котла со стенами в  $2\frac{1}{2}$  кирпича выполняется в этой системе в большинстве случаев только в пределах топки и то не всегда. Дальше ее делают тоньше, переходя на тип железшамотной защиты. Внешние стальные листы служат тогда для укрепления к ним шамотных пластин, а также предохраняют установку от присосов наружного воздуха. Барабаны котлов высокого давления (выше 22 ат), имеющих толстую стенку, нельзя обогревать горячими газами, их полностью защищают изоляцией из шамотной массы, как это видно на рис. 158.

Для целей получения производственного пара, а также для обслуживания систем отопления получили распространение легкие, простые в изготовлении и поэтому дешевые, составляемые из стандартных деталей секционные горизонтально-водотрубные котлы

## Продольный разрез

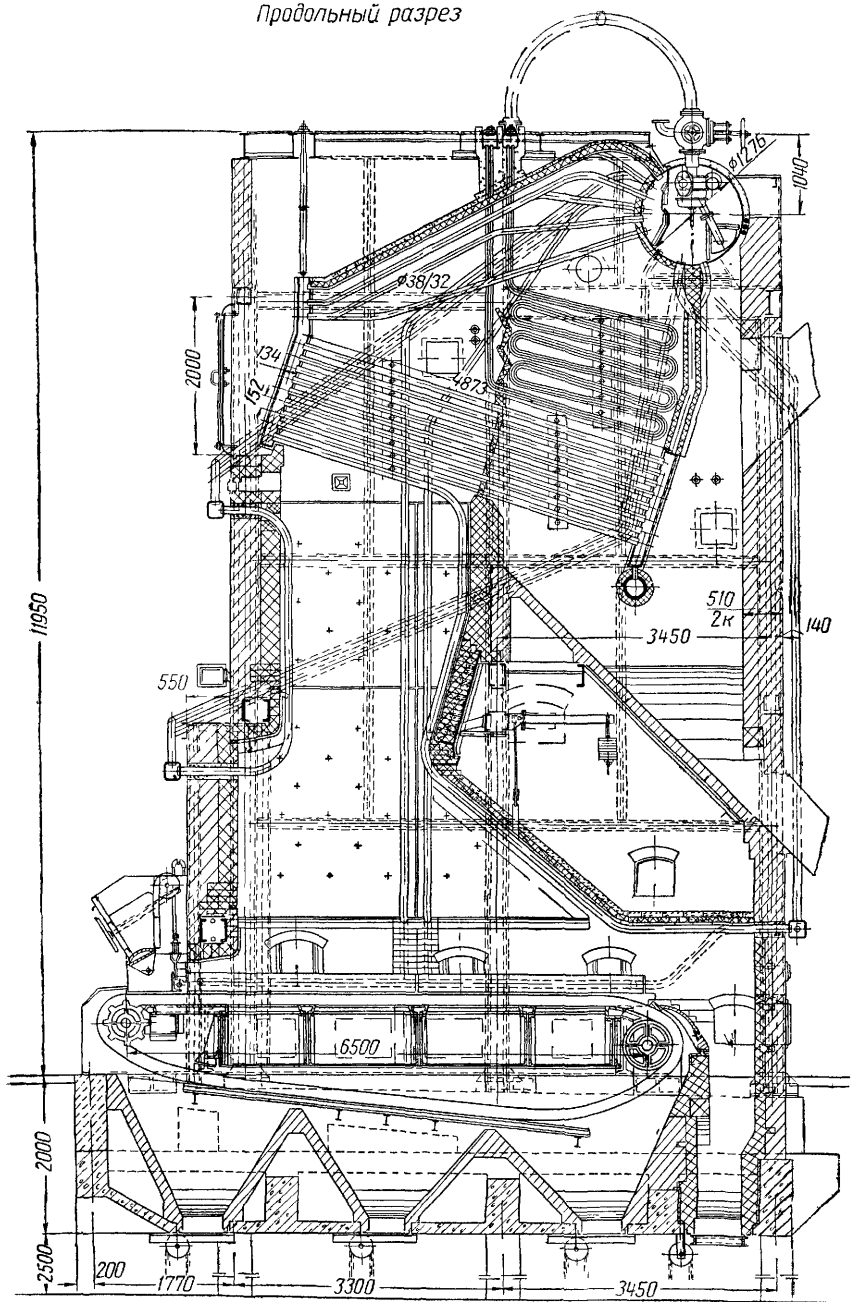
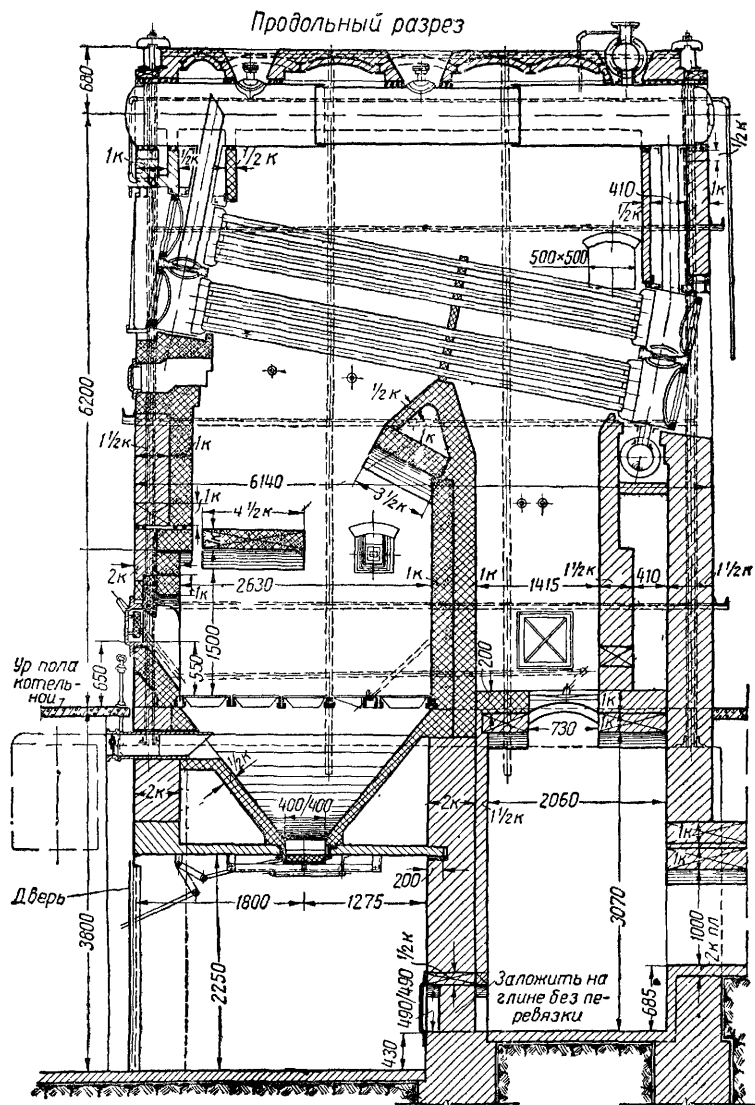


Рис. 158



системы Шухова. Затрата металла на  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева горизонтально-водотрубных котлов Шухова, в особенности при переходе завода от клепки на сварку, приближается к  $70 \text{ кг/м}^2$ .

Эта конструкция также состоит из труб, разбиваемых на отдельные секции — пучки. Трубы каждого такого пучка своими



Разрез по А-В

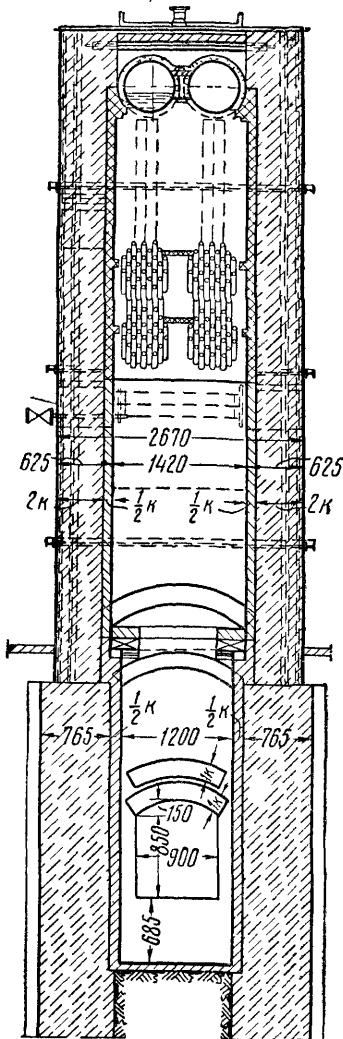


Рис. 1596

концами завальцовываются в коллекторах-головках, имеющих бочкообразную форму (рис. 159 а, б и 160).

Цилиндрическая форма сборного коллектора при относительно малом диаметре (670 мм) позволяет предельно утоньшать стенки, в особенности при невысоких давлениях. В пучок входит 28 труб диаметром  $76 \times 70$  мм. Длина труб в котлах последних выпусков делалась равной 4500 мм. При этой длине поверхность нагрева каждого пучка равняется около  $30 \text{ м}^2$ .

Нормальным профилем котла надо считать соединение двух пучков, расположенных один под другим (рис. 159 и 160) и затем при помощи особых патрубков присоединенных к барабану-паросборнику внутренним диаметром в 640 мм. Для лучшего обеспечения вывода пара из нижних, наиболее интенсивно работающих труб, внутрь общего паровыводящего патрубка вставляется отрезок трубы, обслуживающий циркуляцию нижнего пучка (рис. 160).

Несколько таких комплектов, состоящих из двух секций и барабана-паросборника, объединяется трубой сверху, служащей сухопарником, и трубой снизу, служащей грязевиком. Поверхность нагрева одного комплекта (два пучка и барабан-паросборник) равняется  $62,5 \text{ м}^2$ ; поверхность нагрева котла, собранного из двух комплектов, —  $125 \text{ м}^2$ ; из трех —  $185 \text{ м}^2$ ; из четырех —  $250 \text{ м}^2$ ; из пяти —  $310 \text{ м}^2$ .

Горизонтально-водотрубные котлы Шухова собирают из стандартных деталей; котлы удобны в монтаже и при перевозках, имеют минимальное количество герметически закрывающихся люков. Открывая люк каждой головки, сразу получают доступ к 28 трубам.

На рис. 159 приводится монтажный чертеж котла Шухова в

комбинации с ручной колосниковой решеткой для сжигания подмосковного угля. Паросборники котла подвешиваются хомутами из круглой стали к балкам, которые в свою очередь передают нагрузку на вертикальные стойки. Толщина обмуровки —  $2\frac{1}{2}$  кирпича. В отличие от рассмотренных систем горизонтально-водотрубных котлов котел Шухова имеет только два газохода. Это вызвано тем, что котел Шухова очень трудно очищать от золы и сажи.

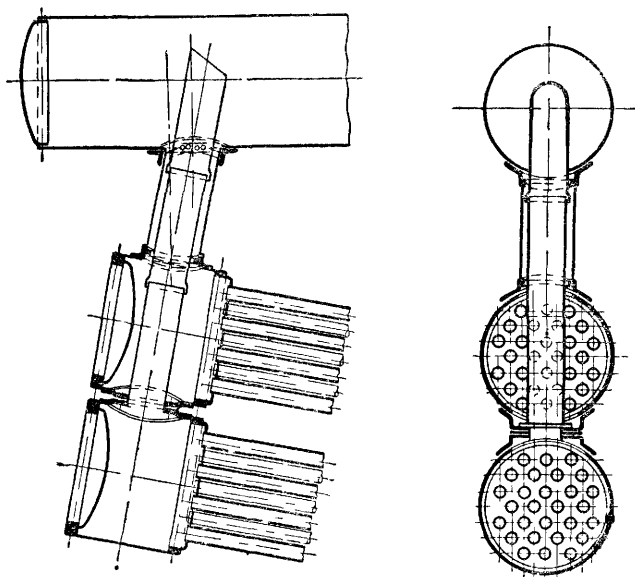


Рис. 160

Трубы в пучках расположены настолько компактно, что между ними не удается провести обдувочную трубу, обычно вносимую через отверстия в боковых стенах обмуровки.

Обдувку производят с фронта котла и сзади него, пропуская обдувочную трубу в отверстия, находящиеся между головками и перекрываемые чугунными крышками. Перемещая обдувочную трубу параллельно трубам котла, сдувают струями пара или воздуха осевшие на трубах золу и сажу. Конечно, при такой обдувке будут очищаться главным образом трубы, находящиеся на периферии пучка.

Таким образом, пучкообразное расположение труб, удачно решающее задачу изготовления легкого коллектора — головки с одним люком на 28 отверстий, одновременно является и недостатком: ухудшаются условия обдувки, приходится ограничиваться двумя газоходами с понижением скоростей движения отходящих



выполнения этих перекрытий приходится обращать особое внимание, иначе чрезмерно возрастет температура газов за котлом, которая в котлах Шухова вообще бывает повышенной. Чтобы

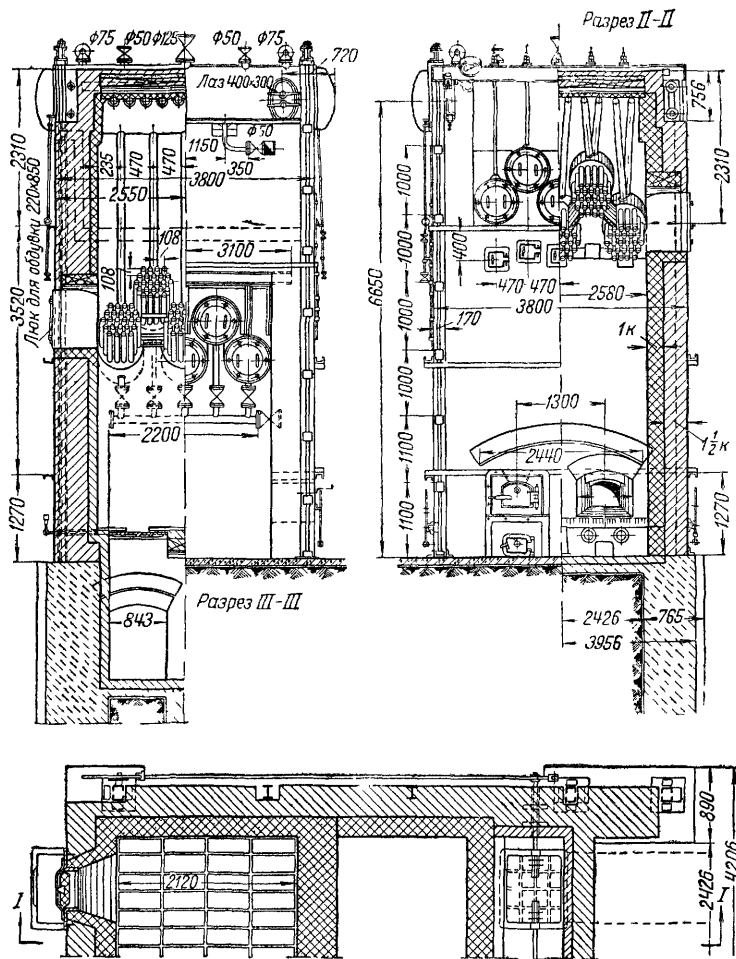


Рис. 1616

иметь возможность отбить сталактитовые наросты шлака на трубах, обращенных к топке, в обмуровке с фронта (рис. 159) оставляются отверстия, перекрывающиеся чугунными крышками, через которые кочегар может пропустить штангу для чистки.

В течение ряда лет вместо котлов Шухова выпускались котлы Шухова — Берлина (рис. 161 а и б), в настоящее время также снятые с производства.

Отличие этой системы от котлов Шухова заключается в том, что в пучке имеется не 28 труб, а 24, что уже дает возможность осуществлять боковую обдувку с вводом обдувочной трубы между рядами труб. Таким образом, получилась возможность обмуровки котла в четыре газохода. Чтобы не слишком повышать скорости газов в последних газоходах, что должно вызвать увеличение газового сопротивления котла, длина труб в котле Шухова—Берлина принята равной 5,5 м. Ранее уже указывалось, что предел форсировок отопительных котлов при использовании колосниковых решеток с ручным обслуживанием или шахтных топков обуславливается по большей части не конструктивными особенностями той или иной системы, а зеркалом горения. Ширина зеркала горения равняется ширине котельных газоходов, а длину зеркала при ручных решетках нельзя увеличивать более 2—2,6 м, иначе создаются чрезмерно тяжелые условия работы обслуживающего персонала. При шахтных топках длину зеркала горения удается иногда развить при дровах до 3 м. Тепловое напряжение зеркала горения также имеет пределы, в случае превышения которых начинает сильно расти потеря от уноса. В котле Шухова—Берлина пучки труб расположены в шахматном порядке (рис. 161), это позволило увеличить ширину колосниковой решетки, приходящуюся на два пучка труб (верхний и нижний). В котле Шухова указанный размер равнялся около 700 мм, в измененной конструкции — около 1 000 мм.

При повышенной таким образом мощности колосниковой решетки соответственно увеличивается и съем пара. Если при сжигании сортированных марок антрацита в обычном котле Шухова удавалось снимать до 25 кг/м<sup>2</sup> час нормального пара, то в реконструированном эта цифра доходит до 35 кг/м<sup>2</sup> час.

В отопительных котлах стремятся получить возможно более низкую температуру газов за котлом, так как в дальнейшем тепло отходящих газов трудно использовать. При горячей воде в сборном конденсационном баке и невысоких давлениях пара не всегда возможно значительно развить поверхность водяного экономайзера, а установить воздухоподогреватель по ряду причин не удается. Поэтому, повышая паросъем с котлов Шухова—Берлина до 35 кг/м<sup>2</sup> час, естественно, ставится вопрос, не повысится ли одновременно температура отходящих газов. Испытания котла Шухова — Берлина показали, что при увеличении паросъема до 35 кг/м<sup>2</sup> час по сравнению с 25 кг/м<sup>2</sup> час котла Шухова температура отходящих газов возросла. Очевидно, и здесь отрицательно сказалось расположение труб пучками, так что условия теплопередачи и в этом котле оказались несовершенными. Кроме того, котел получился очень громоздким, с большим количеством мест в обмуровке, не заполненных поверхностями нагрева. Котлы Шухова—Берлина имеют только один поперечно расположенный

барабан-паросборник, что способствует уменьшению веса  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева котла.

Изготавливались котлы: с двумя пучками труб (А-2), с тремя пучками (А-3), с пятью (А-5) и с семью пучками (А-7). Соответственно их поверхности нагрева составляли: 70, 105, 175 и  $245 \text{ м}^2$ . Рабочее давление — 13 *ати*. Угол наклона труб  $20^\circ$ . Диаметр кипяtilьных труб  $76 \times 70 \text{ мм}$ . Наружный диаметр барабана 900 *мм*. Котлы А-2 и А-3 имеют обдувочные отверстия только с одной стороны, однако помещать котлы в спаренной обмуровке нельзя, так как барабан-паросборник по длине выходит из пределов обмуровки.

### § 63. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОТЛЫ

Котлы системы Шухова с поверхностями нагрева 10, 16,5, 19,5, 25 и  $35 \text{ м}^2$  на давление 8 *ати* состоят из вертикальных цилиндрических барабанов, имеющих внутреннюю цилиндрическую топку, в стенки которой, соответственно в этих пунктах сплюснутой, и ввальцовываются пучки труб (рис. 162). В последнее время трубы завальцовывали прямо в круглом корпусе, без сплющивания. Против труб в цилиндрическом корпусе котла оставляются отверстия, закрываемые лазами. Вертикальный котел Шухова компактен, совершенно не имеет обмуровки, хорошо использует естественную тягу, так как имеется только один вертикальный газоход, на который сверху наращивается стальная дымовая труба. Вертикальный котел Шухова удобен для использования во временных установках, например, на строительных площадках. Но, как всякий котел с внутренней топкой, он удобен для сжигания только высокосортного топлива.

При сжигании под такими котлами низкосортного влажного топлива приходится переходить к выносным топкам, и в таком случае котел надо поднимать кверху, располагая под ним топку, как это указано на рис. 163. На рис. 164 приводится

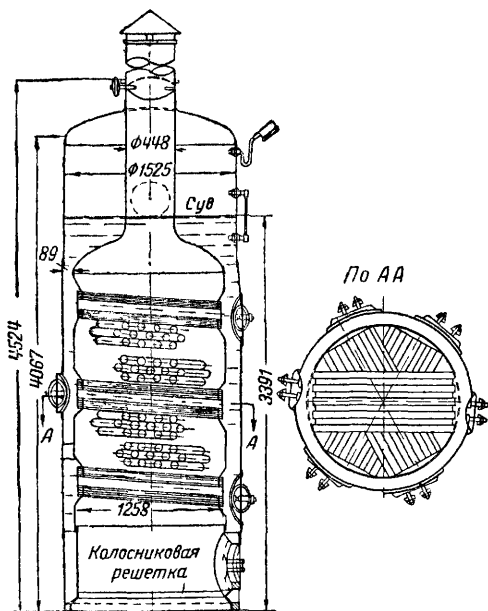


Рис. 162

установка двух вертикальных котлов Шухова, снабженных выносными топками.

По правилам Котлонадзора не допускается обогревание газами парового пространства котла. Исключение делается только для

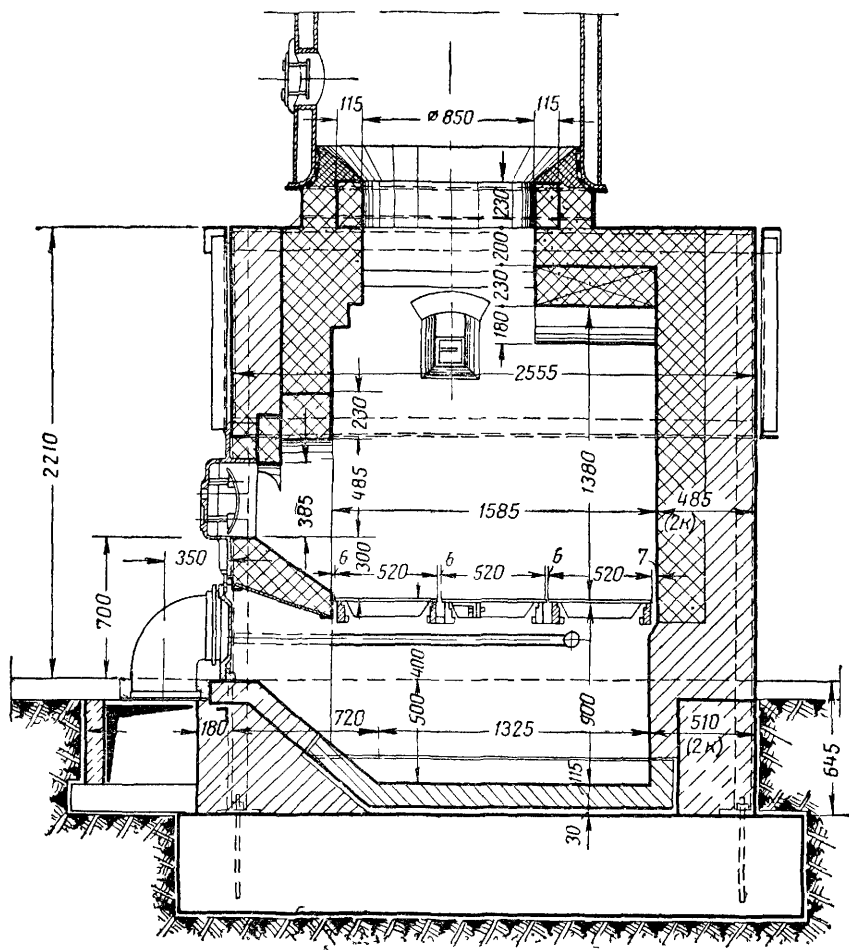


Рис. 163

котлов вертикальных, водотрубных и газотрубных, имеющих газоотводящие трубы в самом корпусе котла. Наинизший уровень воды должен быть выше верхней стенки топочной камеры по крайней мере на 100 мм. Это требование распространяется также на жаротрубные котлы.

Пучки труб расположены так, чтобы ими по возможности пере-

крывалось все поперечное сечение котла (рис. 162), однако при движении газов они проходят по линиям наименьшего сопротивления и центральная часть котла плохо омывается газами. В результате повышается температура газов за котлом и вместе с ней — потеря с отходящими газами.

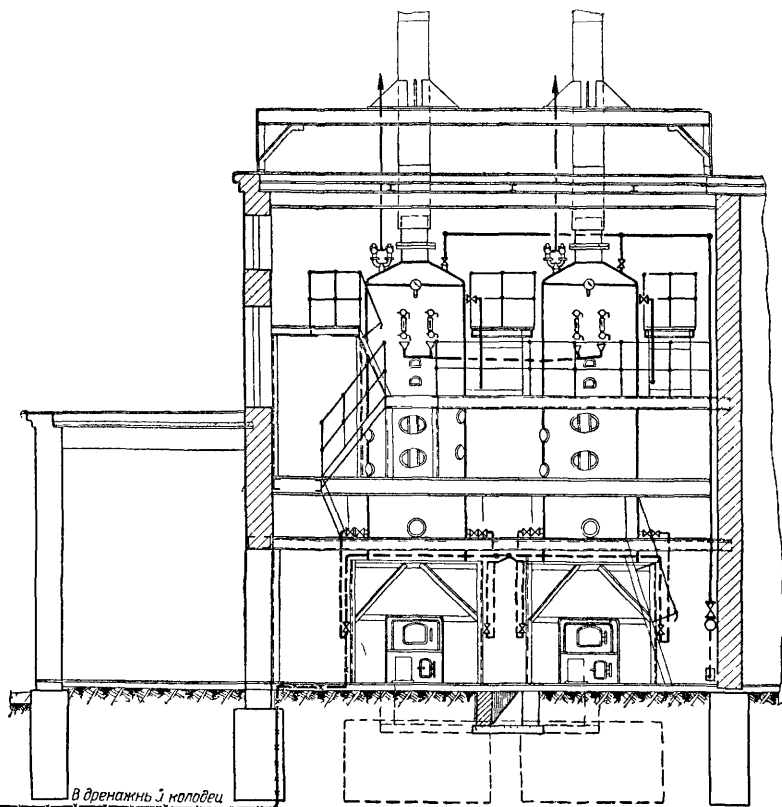


Рис. 164

Канд. техн. наук А. И. Сараф видоизменил конструкцию вертикального котла Шухова. Он убрал часть нижних пучков, чем увеличил объем топочного пространства, экранированного жаровой трубой. Далее, он лучше распределил трубы в пучках, по возможности выравнивая газовое сопротивление в различных пунктах по сечению. В итоге при уменьшенной поверхности нагрева потеря с отходящими газами не изменилась по сравнению с потерей в котле Шухова. В котле Шухова—Сарафа (рис. 165) предусматривается обдувка газохода путем введения в отверстие обдувочной трубы, присоединяемой на гибком шланге к паропроводу.



Существенным недостатком вертикальных котлов является затруднительность очистки накипи в топочной части. Специально предусматриваемые для этих операций люки (рис. 165, 166, 167)

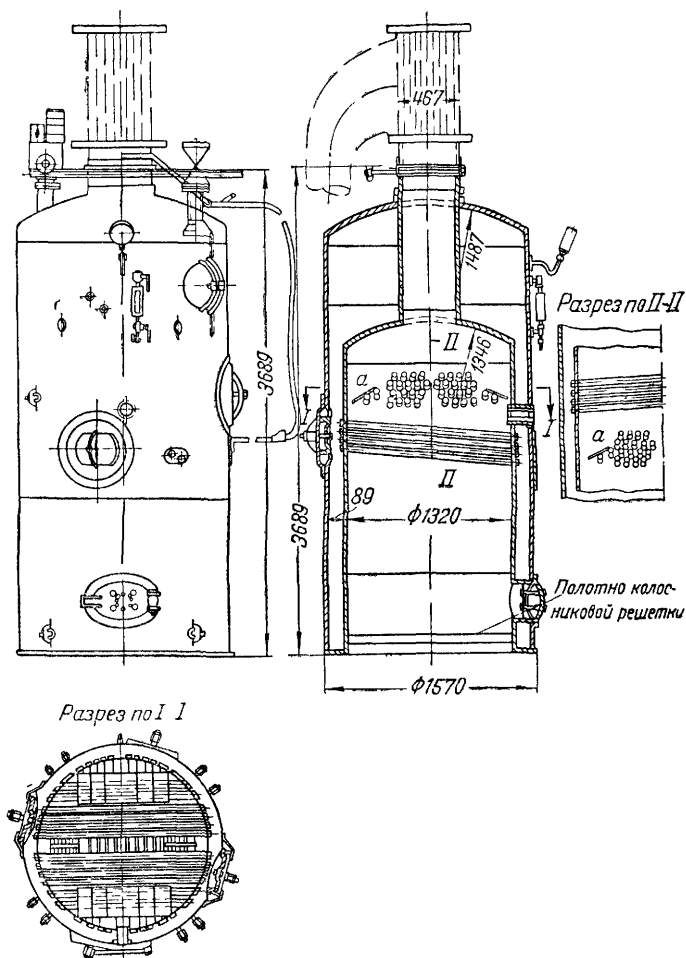


Рис. 165

не позволяют достаточно хорошо очистить от накипи все пункты топочной камеры.

На рис. 165 указана возможность присоединения к вертикальному котлу воздухоподогревателя. Подогрев воздуха при сильно экранированной топке существенно улучшит условия сгорания всех родов твердого топлива за исключением антрацита, когда в

результате повышения теоретической температуры горения будет быстро изнашиваться полотно колосниковой решетки.

Бийским котлостроительным заводом выпущен котел БК-1м (рис. 166), в котором используются вертикально расположенные

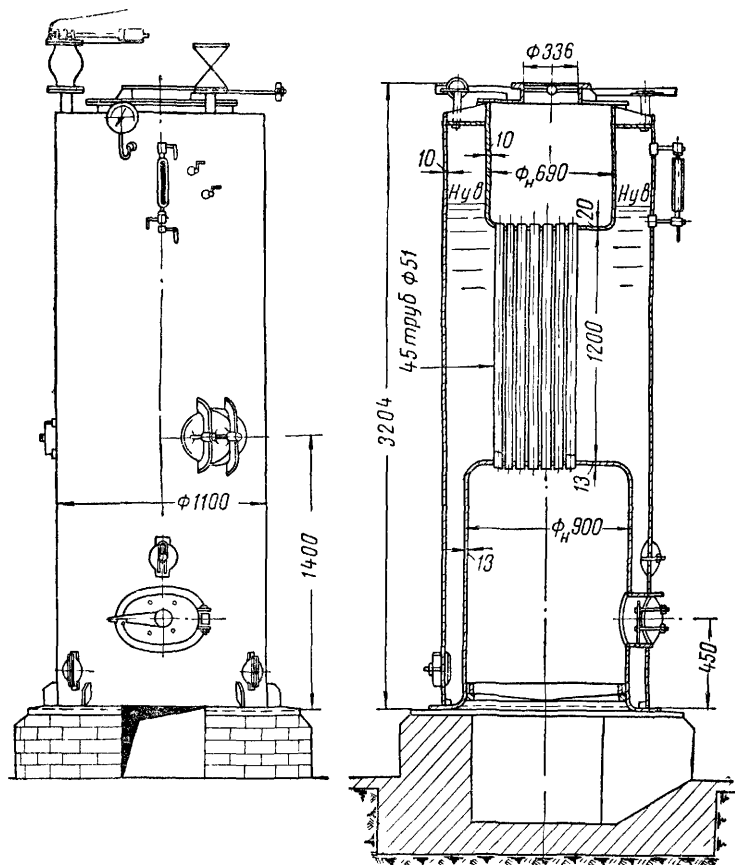


Рис. 166

дымогарные трубы. Грязь и накипь, отлагающиеся на верхней плоской части топочной камеры, обычно при эксплуатации вызывают нагревание стенки с развальцованными в ней трубами, в результате чего в местах развальцовок часто появляется течь.

В вертикальном котле ВГД (водотрубно-газотрубный Добрина), показанном на рис. 167, этот недостаток несколько уменьшен путем включения в первый газопход водотрубной части.

В табл. 36 приводятся основные характеристики вертикальных котлов.

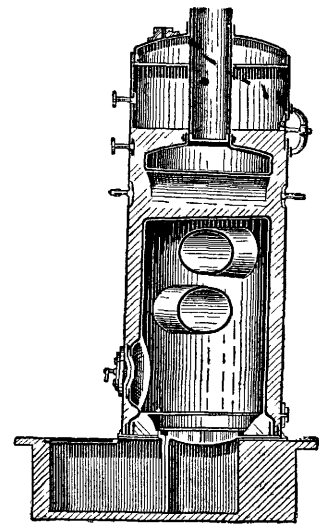
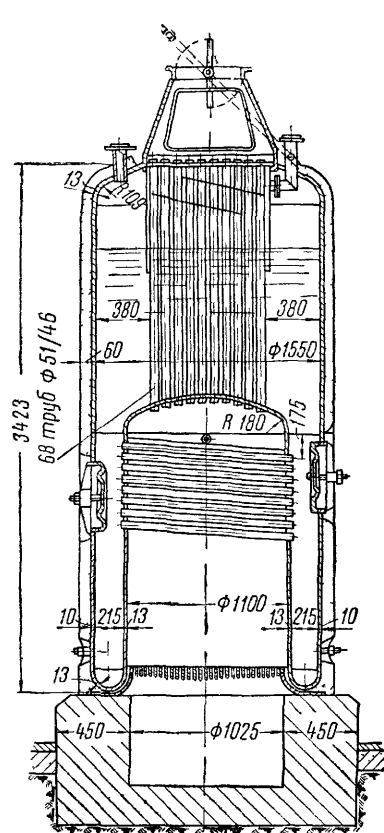
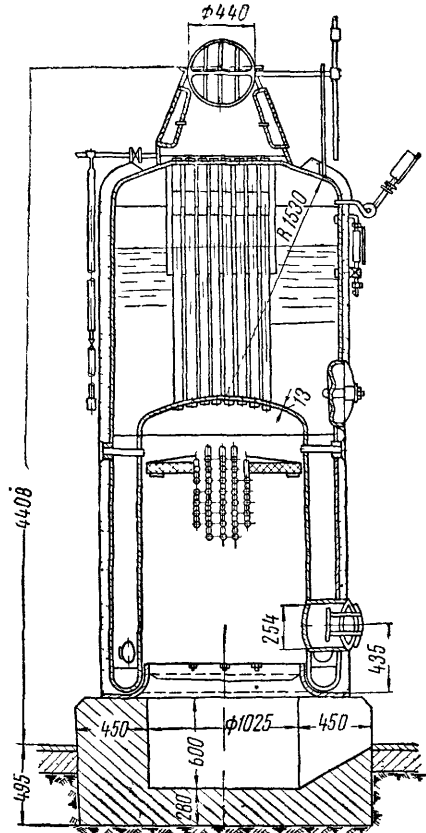


Рис. 167

Рис. 168

На подвижных паровых кранах часто используется вертикальный паровой котел типа котла Шухова, но с заменой пучка труб одной трубой большого диаметра, привариваемой к корпусу топочной камеры (рис. 168). Поверхность нагрева указанных котлов небольшая — измеряется единицами квадратных метров.

Таблица 36

## Основные характеристики вертикальных котлов

Название котла	Поверхность нагрева $H_k$ в $m^2$ (давление 8 <i>ати</i> )	Внутренний диаметр топочной камеры в <i>мм</i>	Высота котла в <i>мм</i>	Наружный диаметр котла в <i>мм</i>	Диаметр труб в <i>мм</i>
Шухова . . . . .	10,0	850	2 520	1 050	51
" . . . . .	16,5	850	3 490	1 050	51
" . . . . .	25,0	1 300	3 530	1 575	76
" . . . . .	35,0	1 300	4 070	1 575	76
Шухова — Сарафа . . .	7,9	740	2 500	950	51
" . . . . .	16,2	930	3 000	1 156	51
" . . . . .	33,0	1 320	3 689	1 544	51
ВГД (Добриня) . . . .	28,0	1 100	3 423	1 570	51
ВК — 1 м . . . . .	12,4	900	3 204	1 100	51

## § 64. ВЕРТИКАЛЬНО-ВОДОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

В вертикально-водотрубных котлах роль коллекторов выполняют цилиндрические барабаны большого диаметра, а для вальцовки труб или их очистки от накипи рабочий проникает внутрь барабана. Таким образом, отпадает потребность в большом количестве отверстий, перекрываемых лючками, как это, например, делается в горизонтально-водотрубных котлах камерных или секционных.

Один или несколько таких коллекторов-барабанов являются в вертикально-водотрубном котле одновременно и барабанами-паросборниками.

Вертикально-водотрубные котлы пользуются наибольшим распространением. Только в установках высокого давления значительное количество барабанов чрезмерно удорожает вертикально-водотрубные котлы, что вызывает стремление к переходу на однобарабанные котлы.

В СССР в настоящее время изготавливаются вертикально-водотрубные паровые котлы; горизонтально-водотрубные котлы не производятся. Это обосновывается целым рядом соображений.

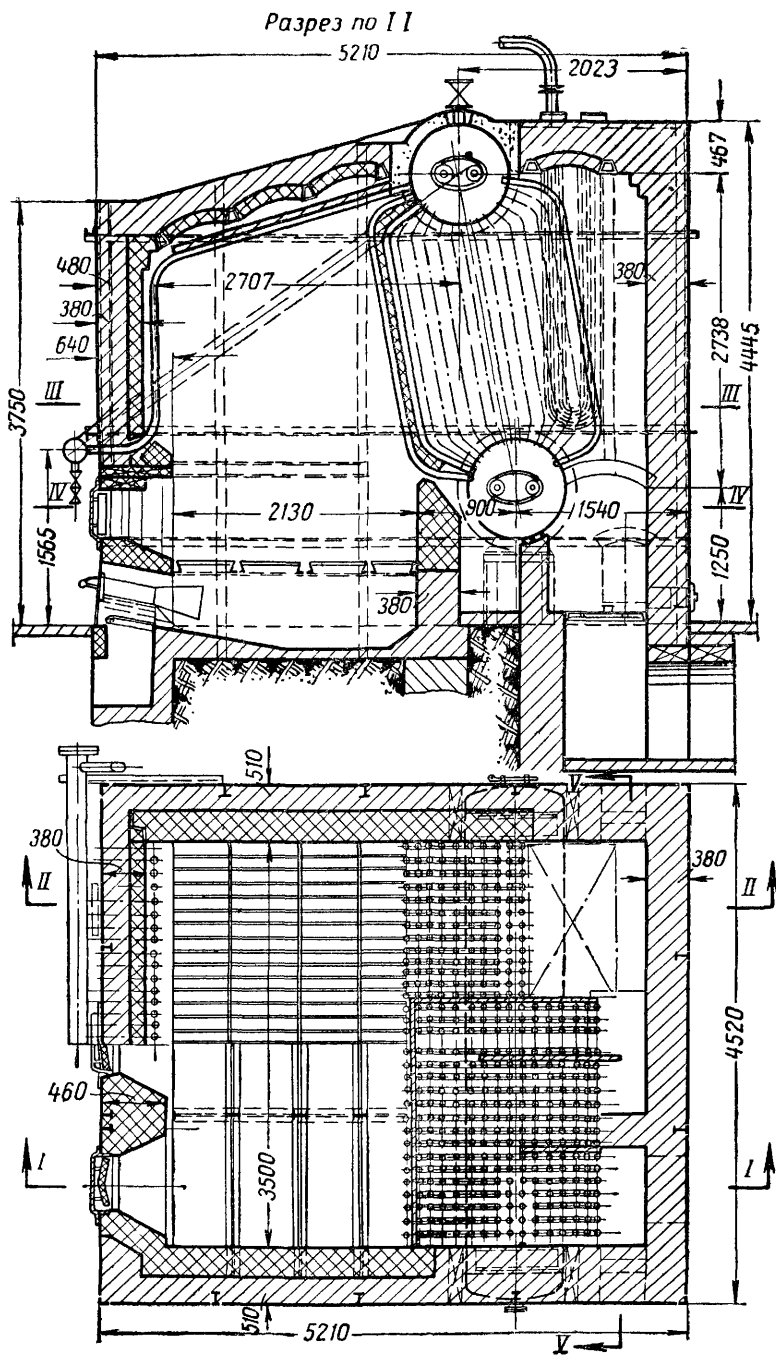
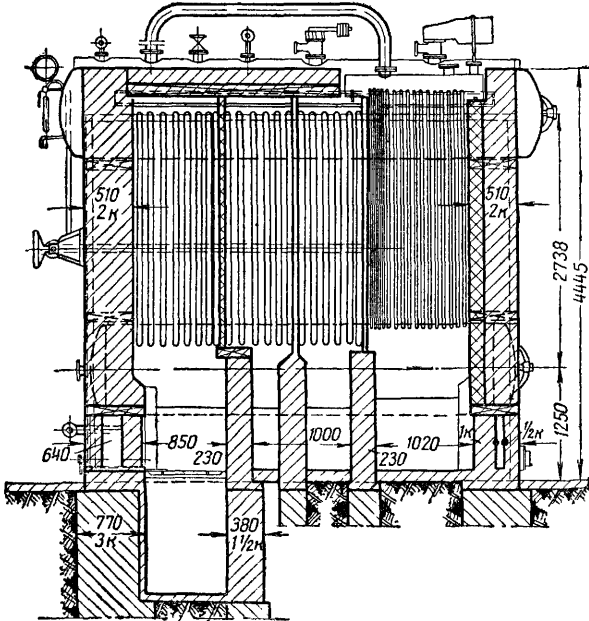


Рис. 169а

Разрез по V-V



Разрез по II-II

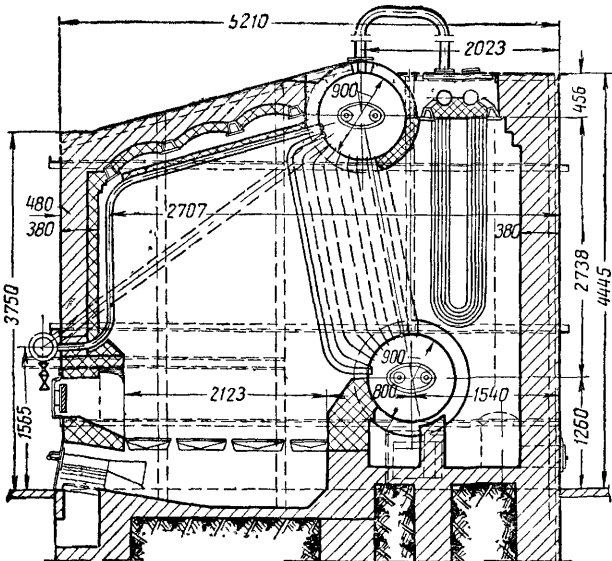


Рис. 1696

Вертикально-водотрубные котлы требуют меньше обрабатываемых деталей и поэтому их изготовление проще. В вертикально-водотрубном котле проще организовать циркуляцию, значение которой играет первостепенную роль при высоких форсировках, достигающихся при оборудовании котлов механическими топками или в условиях сжигания пыли.

Вертикально-водотрубные котлы, предназначенные для отопления, горячего водоснабжения и производственных нужд промышленных предприятий, с паропроизводительностью, колеблющейся в пределах 2—6,5 т/час, выпускаются в настоящее время отечественными заводами следующих трех типов: ДКВ, КРШ, ВВД. Четвертый тип котла — ТКЗ — изготавливается Таганрогским заводом, но еще не получены его эксплуатационные характеристики.

Из трех поименованных котлов наибольший эксплуатационный стаж имеет котел КРШ, который в первую очередь и рассматривается (рис. 169).

**Котел КРШ** (авторы — инженеры Курочко, Рассудов и Шафран) является двухбарабанным котлом, снабженным водяным экраном. Трубы экрана проходят по потолку топки, далее опускаются по фронтальной стене обмуровки и затем выходят на фронт котла, где присоединяются к коллектору. Роль опускного цирку-

Таблица 37

## Основные характеристики котлов КРШ

Характеристики котлов	КРШ 2/8—13	КРШ 4/13	КРШ 4/13—350	КРШ 6,5/13—350
Производительность по нормальному пару в т/час . . . . .	2,0	4,0	4,0	6,5
Давление в ати . . . . .	8—13	13,0	13,0	13,0
Температура перегретого пара в град. . . . .	—	—	350	350
Поверхность нагрева котла и экрана в м <sup>2</sup> . . . . .	100	200	172	200
Поверхность нагрева пароперегревателя в м <sup>2</sup> . . . . .	—	—	34	52
Площадь колосниковой решетки в м <sup>2</sup> . . . . .	3,72	7,45	7,45	8,75
Длина колосниковой решетки в мм . . . . .	2 130	2 130	2 130	2 130
Внутренняя ширина топки в мм . . . . .	1 750	3 500	3 500	4 100
Габариты котла по обмуровке в мм:				
ширина . . . . .	2 770	4 520	4 520	5 120
длина . . . . .	5 210	5 210	5 210	5 210
высота . . . . .	4 450	4 450	4 450	4 450
Объем топочного пространства в м <sup>3</sup> . . . . .	9,5	20,0	20,0	23,0
Расстояние между центрами барабанов в мм . . . . .	2 738	2 738	2 738	2 738

ляционного участка контура экрана выполняют две внешне расположенные трубы. Оба барабана имеют одинаковые размеры по диаметру, который равен 900 мм. Кипятильные трубы имеют размеры 51×46 мм и расположены в коридорном порядке. Шаг кипятильных труб и труб экрана  $S_1 = 118$  мм, шаг кипятильных труб в глубину  $S_2 = 110$  мм. Диаметр опускающих труб к экранам 108/100 мм.

В табл. 37 приводятся основные характеристики котлов КРШ.

На рис. 169 приводится чертеж котла КРШ с поверхностью нагрева  $H_k = 172$  м<sup>2</sup>;  $H_{пе} = 34$  м<sup>2</sup>. Давление пара 13 атм,  $t_{пе} = 350^\circ$ .

Размеры и конструкция котлов КРШ по сечению, перпендикулярному оси барабана, для всех поверхностей нагрева остаются постоянными и изменяется только размер котла по ширине. При установке пароперегревателя в первом газоходе уменьшают количество труб, с тем чтобы освободить место в конце газохода для размещения витков пароперегревателя. Котел имеет небольшие размеры по высоте, так как его топочное пространство, развиваясь по высоте, размещается не под котлом, а рядом с ним. Этим вертикально-водотрубные котлы выгодно отличаются от горизонтально-водотрубных, где котел находится над топкой, в результате растет его высота в обмуровке и одновременно образуются в обмуровке объемы, не заполненные поверхностями нагрева, что, например, особенно характерно для котлов Шухова — Берлина. Прежде газоходы в вертикально-водотрубных котлах располагались таким образом, что газы обтекали трубы в продольном направлении (рис. 180). Так как при продольном обтекании труб по сравнению с поперечным понижается коэффициент теплопередачи, то в последних конструкциях КРШ, ДКВ, ВВД поток газов по газоходам направляют перпендикулярно трубчатым поверхностям. Отвод газов из топки приходится делать с одного бока котла. Такое расположение газоходов имеет и свои недостатки. При сжигании длиннопламенного топлива часть отходящих газов попадает в первый газоход неполностью сгоревшей и, кроме того, увеличивается вынос в первый газоход несгоревшей мелочи. Нижняя часть газоходов быстро засоряется уносом, и необходимо ежедневно производить очистку золовых скоплений.

Все три типа указанных выше котлов предусматривают использование колосниковых решеток с ручным обслуживанием, поэтому длина зеркала горения приближается к 2 м. В настоящее время в подобных установках с производительностью котлов 2—10 т/час начинают применяться механические топки, требующие увеличения длины колосниковой решетки до 3—3,5 м. Ограниченная длина зеркала горения побуждает в этих случаях поворачивать фронт котла на 90°, что для котла КРШ с паропроизводительностью 4 т/час является решением удачным, позволяю-



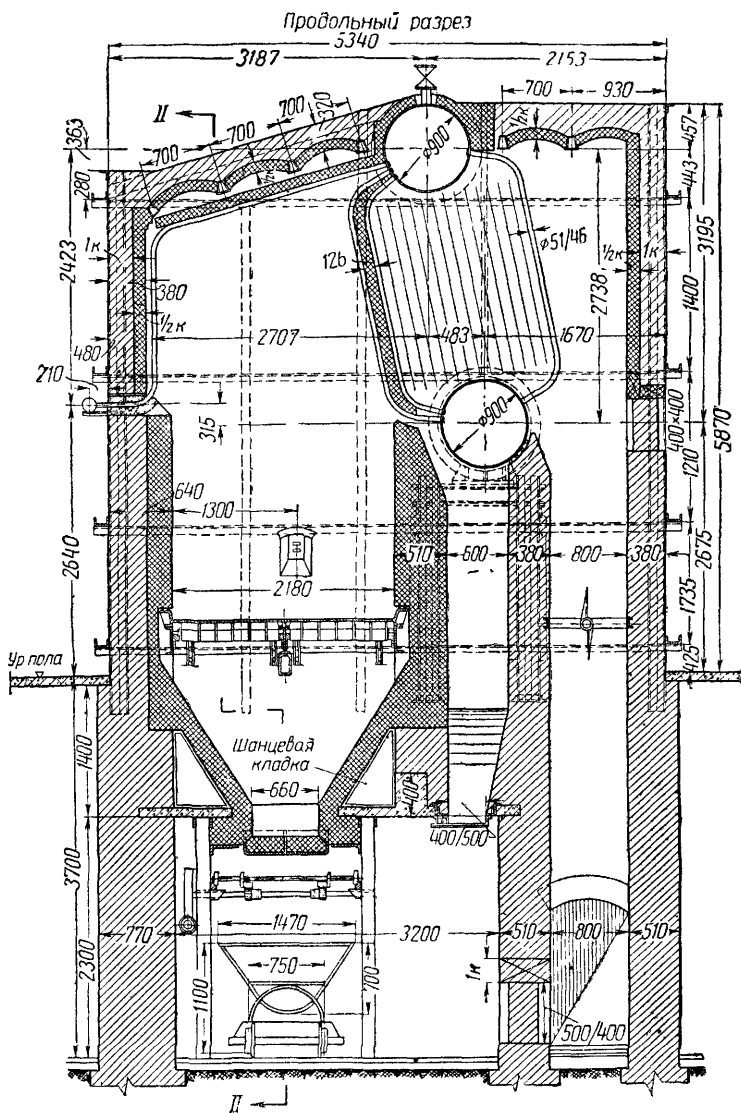


Рис. 170а

щим не только хорошо расположить толку, но и вынести водомерные стекла на фронт котла (рис. 170). Обмуровка боковых стен котла КРШ выполнена в 2 кирпича, а экранированной фронтальной стены и задней стены — в  $1\frac{1}{2}$  кирпича. Назначение обму-



экрана выкладывается шамотный кирпич в плашку для защиты от нагревания верхних сводов из красного кирпича и чугунных балок. Перегородки между трубами с целью создания газоходов по котлу состоят из торкретной массы, куда входит огнеупорная глина с добавлением 10% глиноземистого цемента и 5% жидкого стекла. Перегородки формуют на месте при монтаже, причем опалубкой может служить фанера, которая постепенно выгорит, или, что лучше, кровельная сталь. Перегородки делаются и из обычного шамотного кирпича.

Каркас котла выполняют таким образом, чтобы имелась возможность создать скользящую опору для верхнего барабана, так как при нагревании котел будет уходить кверху примерно на 7 мм. Нижним барабаном котел опирается на две опоры. Обдувка от золы и сажи второго и третьего газоходов производится стационарным обдувочным аппаратом, установленным примерно в середине котла по высоте. Первый газоход оставлен без обдувки из-за возможности перегорания поворачивающейся обдувочной трубы с отверстиями для выхода пара. Практика эксплуатации показала, что труба коробится и обгорает, будучи расположена не только во втором, но даже и в третьем газоходах. Поэтому следует брать трубы из жароупорной стали и производить обдувку всех трех газоходов.

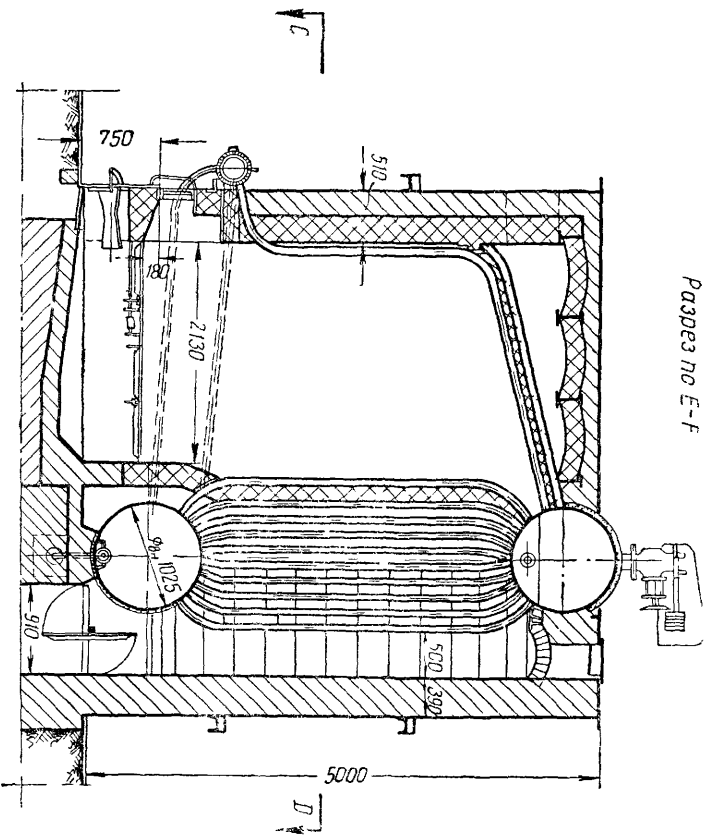
Барабан-паросборник не имеет сепарирующих приспособлений, однако влажность пара при умеренных форсировках — порядка 20 кг/м<sup>2</sup> час — не превышает 1%. При эксплуатации иногда наблюдались только броски воды в паропровод. Этот дефект вполне исправим, если следить за составом котловой воды, т. е. не превышать ее щелочность сверх 40°, и производить систематические продувки котла. Продувка делается с целью обмена воды в котле, так как по мере эксплуатации в котловой воде все больше концентрируются соли, не уходящие с паром, и повышается щелочность (подробнее см. в главе «Водоподготовка»).

При нормальных форсировках — порядка  $\frac{D}{H_{\kappa+не}} = 20 \div 25$  кг/м<sup>2</sup> час — температура газов за котлом КРШ колеблется около 330—350° при газовом сопротивлении котла около 10 мм вод. ст.

Близким по типу к котлу КРШ является котел ВВД (вертикально-водотрубный Добрина). На рис. 171 приводится котел с  $H_{\kappa} = 140$  м<sup>2</sup> на давление 13 атм. Кипятильные трубы имеют размеры 76×70 мм, расставлены группами с шагом  $S_1 = 120$  и 180 мм и с шагом в глубину  $S_2 = 150$  мм. Диаметр барабанов 1055 мм. Для улучшения циркуляции барабаны соединены трубами, расположенными в обмуровке.

В обмуровке находятся и трубы опускного контура экрана, которые соединяются с нижним барабаном в четырех пунктах.

Разрез по E-F



Разрез по C-D

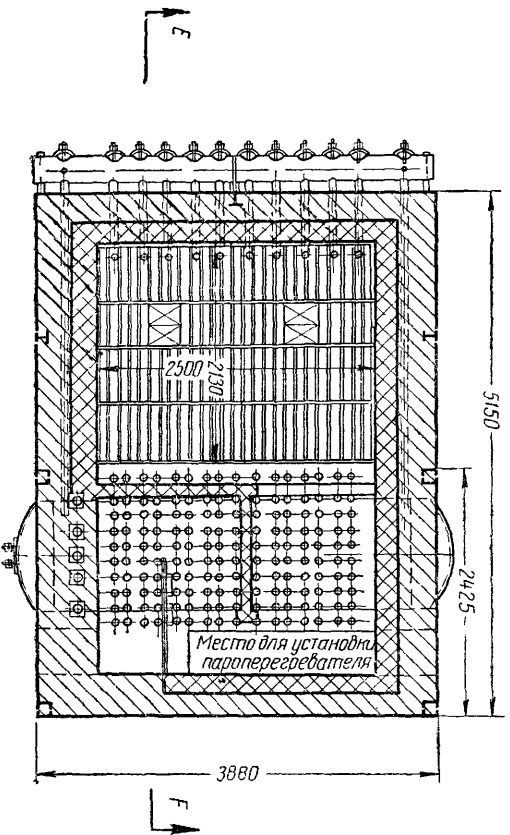


Рис. 171



Котлы на 2 и 2,5 т/час экраном не снабжаются (рис. 172). В табл. 38 приводятся основные характеристики котлов ВВД.

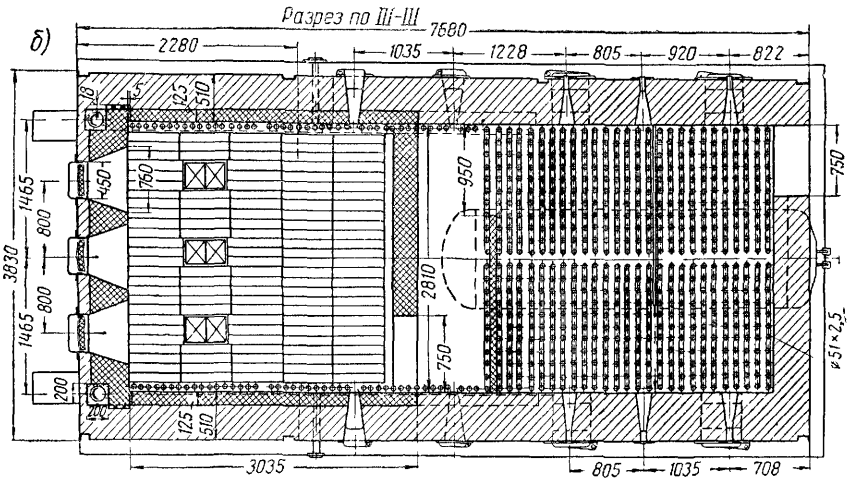
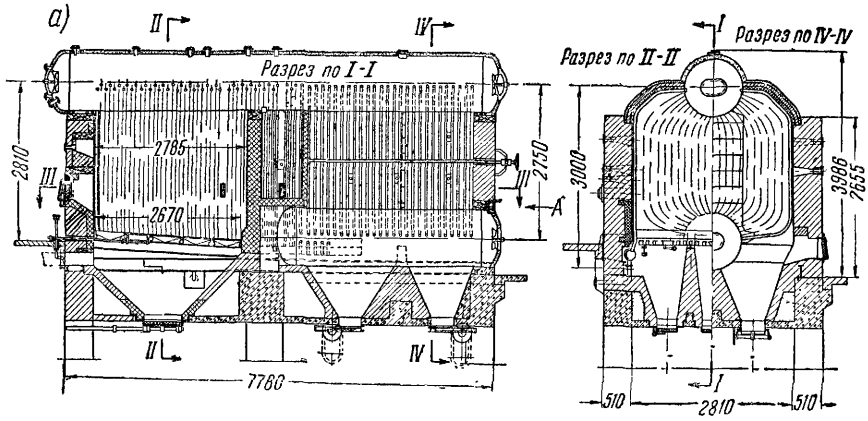
Таблица 38  
Основные характеристики котлов ВВД

Характеристики котла	ВВД 80/13	ТВД 90/13	ВВД 140/13	ВВД 200/13
Производительность по нормальному пару в т . . . . .	2,0	2,5	4,0	6,5
Давление в ати . . . . .	13,0	13,0	13,0	13,0
Поверхность нагрева котла и экрана в м <sup>2</sup> . . . . .	80	90	140	210
Площадь колосниковой решетки в м <sup>2</sup> . . . . .	2,76	3,54	5,54	8,10
Длина колосниковой решетки в мм	2 130	1 610	2 130	2 130
Внутренняя ширина топки в мм . .	1 300	2 200	2 600	3 800
Габариты котла по обмуровке в мм:				
ширина . . . . .	3 160	3 220	3 880	5 080
длина . . . . .	4 250	4 450	5 150	5 150
высота . . . . .	4 600	4 160	5 000	5 100
Объем топочного пространства в м <sup>3</sup>	7,6	8,3	20,1	29,5
Расстояние между центрами барабанов в мм . . . . .	3 200	2 800	4 000	4 000

При паропроизводительности порядка  $\frac{D}{H_{к+не}} = 30 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$  температура газов за котлом ориентировочно может быть принята

равной 400° при газовом сопротивлении котла 10—15 мм вод. ст.

**Котел ДКВ** (двухбарабанные котлы водотрубные). Эти котлы носят название транспортабельных, так как котел вписывается в железнодорожные габариты, будучи погружен на платформу. Таким образом, котлы ДКВ могут быть доставлены потребителю в собранном виде. В отличие от предыдущих двух типов котлы ДКВ имеют барабаны, поставленные по длине обмуровки (рис. 173), из них верхний барабан значительно длиннее нижнего. Верхний и нижний барабаны соединяются между собой пучками труб диаметром 51×46 мм. Топка экранирована с двух боковых сторон, причем трубы экрана диаметром 51×46 мм с шагом  $S_1 = 80 \text{ мм}$  внизу привариваются к коллекторам, а вверху ввальцовываются в верхний барабан (рис. 174). Чтобы создать циркуляционный контур в экранах, их нижние коллекторы особыми трубами присоединяют к нижнему барабану. Весь котел монтируется на раме, с которой он в дальнейшем и транспортируется к месту установки, где рама опирается на стены обмуровки (рис. 175) или фундамента (рис. 173). К раме крепят опоры нижнего барабана и коллекторов, верхний барабан держится на кипящих трубах.



Вид по стрелке А

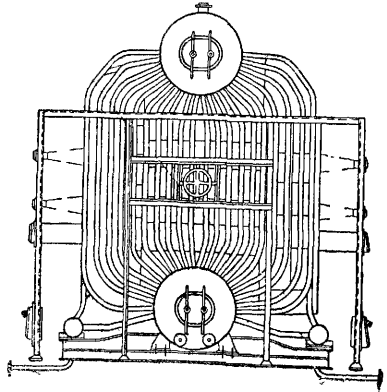


Рис. 173

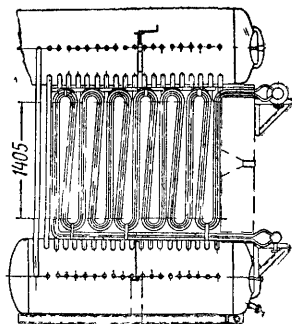
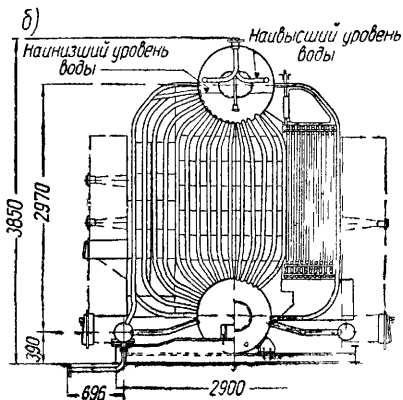
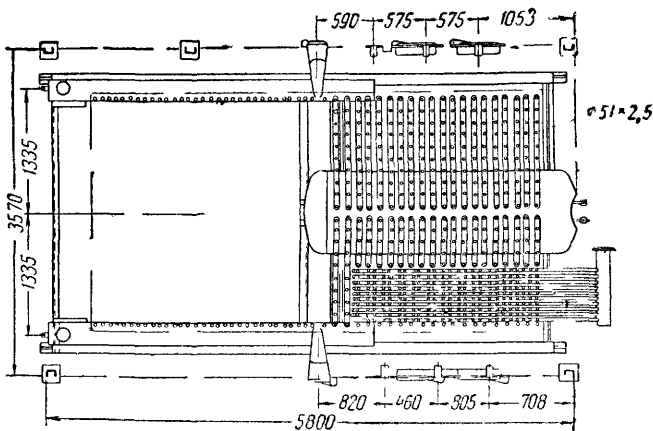
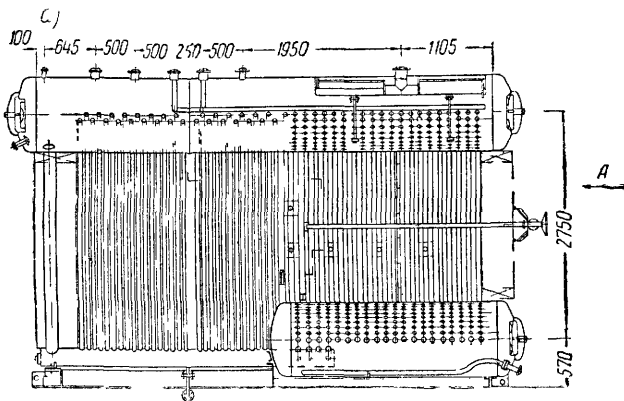


Рис. 174





Таблица 39

## Основные характеристики котлов ДКВ

Характеристики котла	ДКВ 2/8		ДКВ 4/13			ДКВ 6,5-13			
Производительность по нормальному пару в т/час . . . . .	2,0	4,0	4,0	4,0	4,0	6,5	6,5	6,5	6,5
Давление в <i>ати</i> . . . . .	8	13	13	13	13	13	13	13	13
Поверхность нагрева котла в <i>м<sup>2</sup></i> . . . . .	124	202	167	177	183	288	223	239	258
Поверхность нагрева пароперегревателя в <i>м<sup>2</sup></i> . . . . .	—	—	58	42	24	—	99	75,4	40,4
Температура перегрева в град. . . . .	—	—	350	300	250	—	350	300	250
Наружный диаметр барабана в <i>мм</i> . . . . .					900			1 032	
Площадь колосниковой решетки в <i>м<sup>2</sup></i> . . . . .	3,84			5,13				6,94	
Длина колосниковой решетки в <i>мм</i> . . . . .	1 600			2 136				2 670	
Внутренняя ширина топки по осям экранных труб в <i>мм</i> . . . . .	2 470			2 470				2 730	
Расстояние между центрами барабанов в <i>мм</i> . . . . .				2 750				2 750	
Габариты котла в <i>мм</i> : ширина в обмуровке . . . . .	3 570			3 570				3 830	
длина в обмуровке . . . . .	4 205			5 800				7 680	
высота до парового штуцера . . . . .	3 850			3 850				3 982	
Объем топочного пространства в <i>м<sup>3</sup></i> . . . . .	11,6			14,5				22,8	

ной трубой, присоединяемой к паропроводу при помощи гибкого шланга.

Пароперегреватель с диаметром труб 32×38 мм устанавливают за первым газоходом (рис. 174); он вдвигается на свое место с заднего фронта котла, где должно быть обеспечено соответствующее расстояние на случай выемки, ремонта и т. п. Частичное регулирование перегрева может быть достигнуто чугунной заслонкой, расположенной в верхней части газохода перегревателя (рис. 174). Если пароперегреватель отсутствует, то его место заполняется кипяtilьными трубами. Котел достаточно чувствителен к качеству питательной воды, поэтому следует рекомендовать водоподготовку.

Довольно сложно решается вопрос с отводом из котла отходящих газов (рис. 173). Требуется оставлять промежуток между



обмуровкой котла и сборным бором для обслуживания лаза в нижний барабан котла. Котел к сборному бору приходится присоединять подвесным коробом. В случаях комбинирования котла с индивидуальным экономайзером котел с экономайзером соединяется также металлическим коробом весьма сложной формы (рис. 175). Вообще верхний отвод газов вызывает сомнение в отношении правильности распределения газового потока по газоходу, так как имеется опасение, что дымовые газы будут застаиваться в нижних частях газоходов. В случаях наличия золотого этажа лучше отводить отходящие из котла газы вниз, далее направляя их в сборный бор или экономайзер.

При паросъеме

$$\frac{Q}{H_{к+пе}} = 30 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$$

по нормальному пару можно ориентировочно считать температуру отходящих из котла газов около  $380^\circ$  при газовом сопротивлении котла, равном 10 мм вод. ст.

Котел ТКЗ будет выпускаться нескольких размеров, начиная от 2 и до 10 т/час. На рис. 176 приводится чертеж такого котла производительностью 2 т/час и на 8 атм давления. Котел — вертикально-водотрубный двухбарабанный, с наружным диаметром верхнего барабана 1 320 мм и нижнего — 1 000 мм. Большой диаметр барабана, конечно, удорожает котел в целом, однако при невысоких давлениях (8—13 атм) толщина стенки получается не столь уже значительной, так как для получения надежной развальцовки труб толщину стального листа следует брать не меньше 14—15 мм.

Разрез по V-V      Разрез по IV-IV

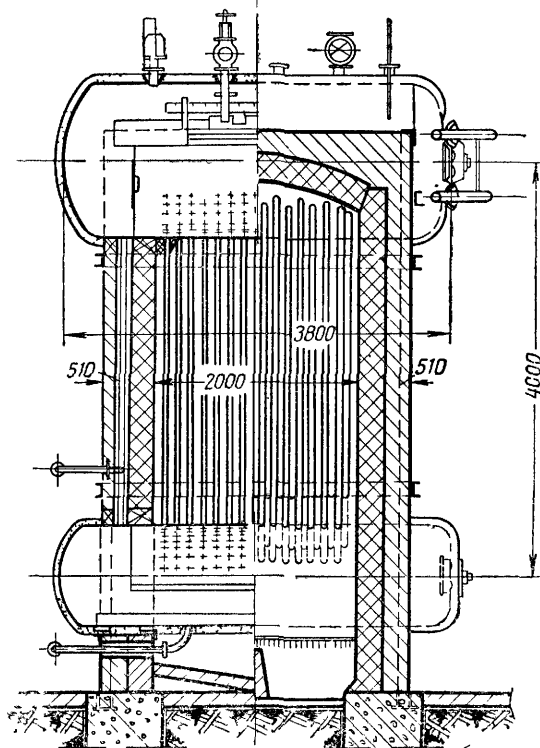


Рис. 176

В условиях эксплуатации котельных относительно небольших теплопроизводительностей нежелательно удорожать котел сложными сепарирующими устройствами, а также трудно осуществлять одновременно химическую водоподготовку и дегазирование питательной воды. Большого размера барабан-паросборник позволит упростить все эти устройства. Развитие зеркала испарения и парового объема позволит получить незначительную влажность пара, даже не снабжая котел сепарирующими устройствами. Одновременно увеличится расположенный в пределах водомерного стекла так называемый питательный объем, позволяющий иметь мало колеблющийся уровень воды, и, наконец, большие размеры барабана-паросборника позволяют установить внутрибарабанную термическую водоподготовку по методу лауреатов Сталинской премии проф. В. А. Голубцова и инж. Г. А. Буркова, как это показано на рис. 176. Термическая водоподготовка по указанному методу производится непосредственно в барабане котла без добавления каких-либо реагентов. Описание метода приводится в главе «Водоподготовка».

Роль опускного циркуляционного контура в котлах Т-2 выполняют трубы, расположенные в обмуровке котла, по ним же спускается в нижний барабан шлам, получающийся в результате термической обработки питательной воды. На разрезе I—I кружками обозначены перекрывающиеся крышками лючки, предназначенные для периодического ввода в них трубы для обдувки. Отверстия расположены таким образом, чтобы к ним был доступ с пола котельного помещения или с площадки, устраиваемой для обслуживания водомерных стекол и лаза в верхний барабан котла.

Трубы котла диаметром  $60 \times 55$  мм имеют своеобразное расположение — тремя пучками. Между первым и вторым пучками в случае надобности можно разместить пароперегреватель, как это показано на рис. 9, где приводится котел Таганрогского котельного завода и ЦКТИ на 10 т пара в час с  $t_{не} = 300^\circ$ ,  $N_k = 380 \text{ м}^2$ ,  $N_{не} = 29 \text{ м}^2$  при давлении пара 15 атм.

Газы проходят по газоходам котла параллельно трубам, и, таким образом, по сравнению с предыдущими типами котлов должны понизиться в газоходах коэффициенты теплопередачи. В итоге при одинаковых прочих условиях потеря с отходящими газами должна получиться в рассматриваемом котле выше. Влияние на к. п. д. оказывает не только потеря с отходящими газами, но и потеря от химического и механического недожога. В котле Т-2 газы, прежде чем попасть в первый газоход, проходят достаточно большой путь по высоте около 4 м, что безусловно будет влиять на уменьшение тепловых потерь, в особенности на потери от уноса, по сравнению с котлами, где часть газов входит в газоход при незначительных расстояниях

от слоя топлива. На рис. 177 дан снимок монтажа подобного котла.

Для производственного пароснабжения крупных промышленных предприятий (включая сюда и отопительные нужды) Таганрогским заводом выпущен ряд котлов на паропроизводительность 12 и 20 *т/час*. На рис. 178 приведен подобный котел с топкой для слоевого сжигания топлива (СП). Паропроизводительность котла 12 *т/час* при давлении 16 *ата* и  $t_{не} = 250^\circ$ . Котел снабжен пароперегревателем, водяным экономайзером, воздухоподогревателем и имеет развитые экранные поверхности.

Внизу экраны объединяются коллекторами, а сверху все трубы развальцовываются непосредственно в барабане-паросборнике. Опускные трубы экранных контуров не обгораются газами, что обеспечивает надежную циркуляцию. Кипятильные трубы котла имеют изгиб, обеспечивающий их поперечное омывание отходящими газами. Трубы, экранирующие заднюю стену топочного пространства, подходя к котельному пучку, изгибаются таким образом, что проходят параллельно трубам котла, но с увеличенным шагом. Далее по фронтальной стене котла трубы экрана направляются в барабан-паросборник. Увеличенный шаг первых четырех рядов труб исключает возможность образования на них наростов шлака. Газы, пройдя четыре указанных ряда, успеют настолько охладиться, что на дальнейшие ряды труб котла зола, находящаяся в газах, налипать не будет.

Весь котельный агрегат, включая воздухоподогреватель и водяной экономайзер, имеет П-образное расположение, позволяющее удешевить каркас агрегата и здание котельной. Подобная

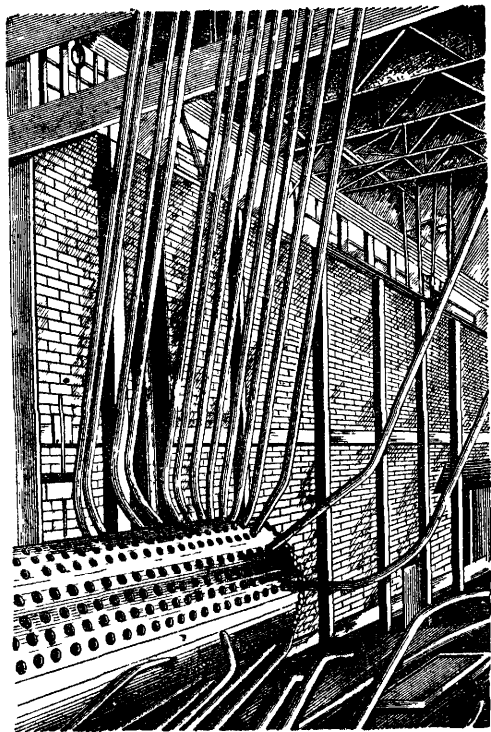


Рис. 177



схема компоновки котлоагрегата в настоящее время стала типовой в СССР.

На рис. 179 приведен снимок подобного котла.

На рис. 180 приведена конструкция мощного трехбарабанного котла, устанавливаемого на электростанциях, с продольным обте-

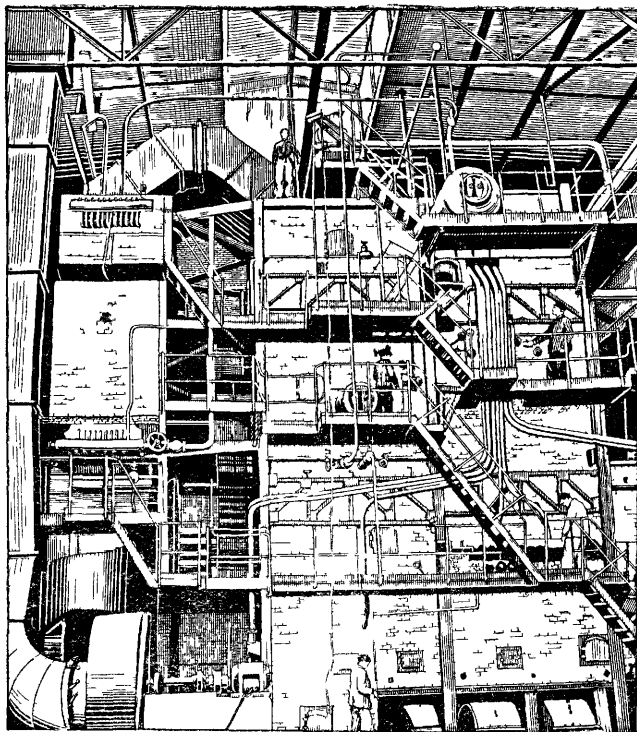


Рис. 179

канием газами кипяtilьных труб подобно котлам ТКЗ. В ряд сравнительно малоэффективно работающих труб второго котельного газохода выведен пар из части труб топочного экрана с целью усилить циркуляцию в этих трубах. Котел снабжен камерной топкой для сжигания угольной пыли.

С целью уменьшения затрат на самую дорогую часть котла — барабаны — в вертикально водотрубных котлах высокого давления переходят на однобарабанную схему котла. На рис. 181 приведен котел Таганрогского котельного завода производительностью 20 т/час при перегреве 450° и давлении 43 атм. Топка —



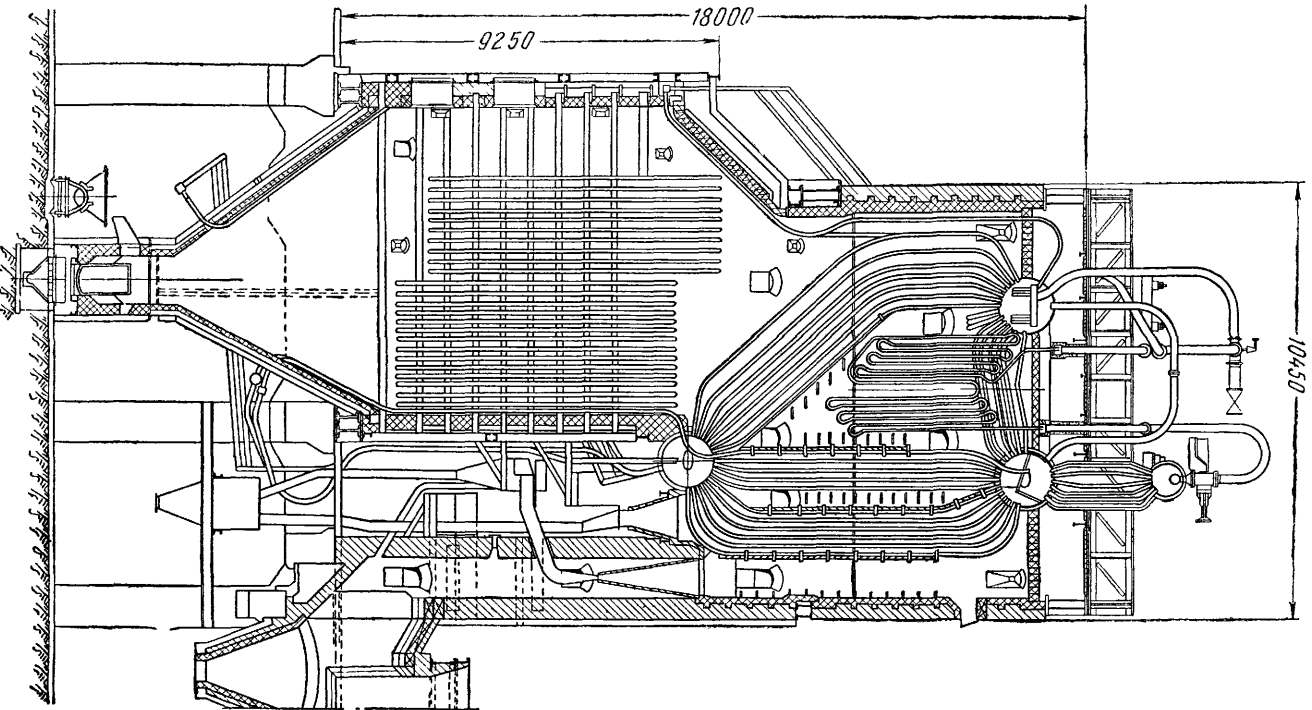


Рис. 180

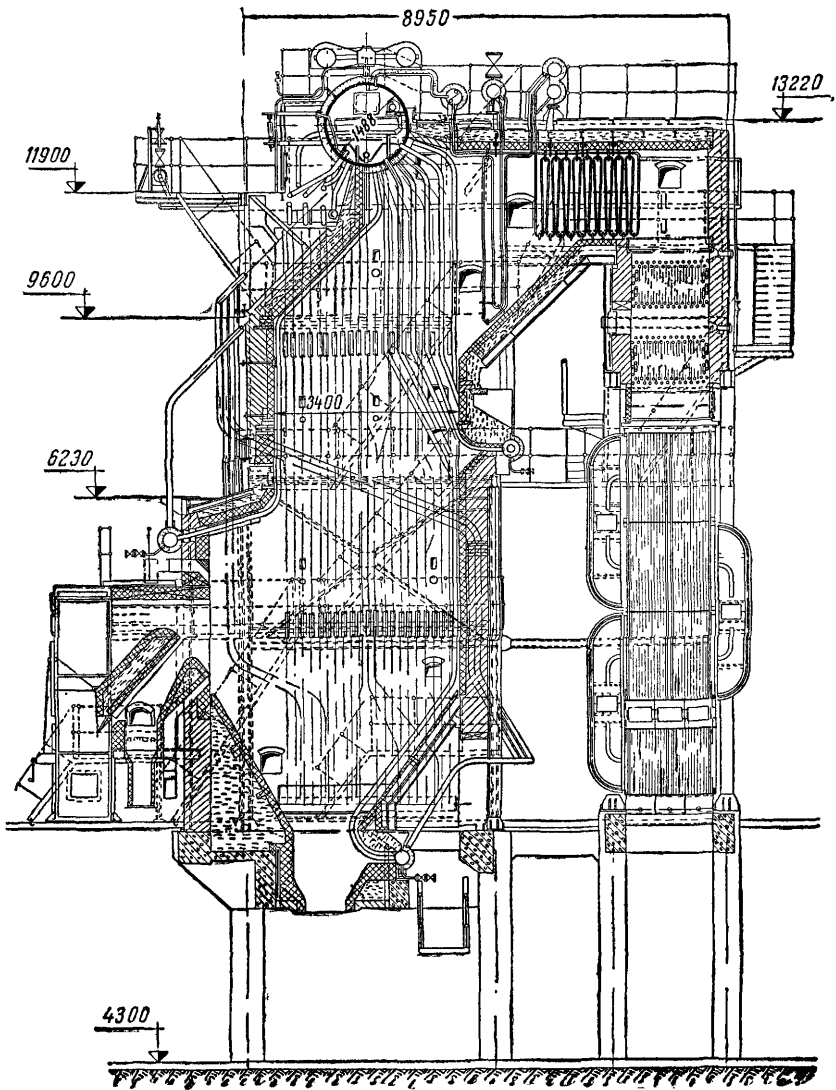


Рис. 181

камерная, снабженная шахтно-мельничной установкой. Конструкция котла отражает передовые идеи советского котлостроения. Котел — чисто экранного типа, конвективный пучок, относящийся непосредственно к котлу, имеет три ряда труб с целью снижения температуры газов при входе в перегреватель. Циркуляционные



с зеркала испарения пар далее направляется по паровому объему котла к пункту отбора пара, расположенному в верхней части барабана.

Вместе с паром с зеркала испарения в паровое пространство увлекаются также и капли воды. Проходя по последнему, часть вынесенной влаги оседает обратно на зеркало, частично же она попадает в парозаборное отверстие и выносится с паром.

На унос воды с паром большое влияние оказывают качество котловой воды, ее соленосодержание и щелочность, способность к пенообразованию, равномерность ввода пароводяной эмульсии по барабану, паронапряжения зеркала испарения и парового объема, а также высота последнего.

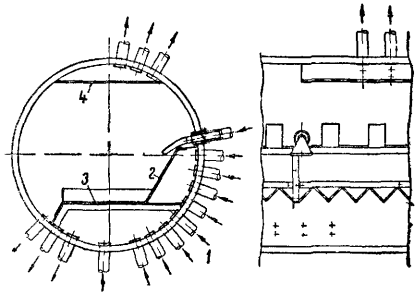


Рис. 183

В отопительных котлах, работающих при умеренных форсировках и имеющих значительные размеры зеркала испарения и парового объема, часто используют для сепарации влаги довольно

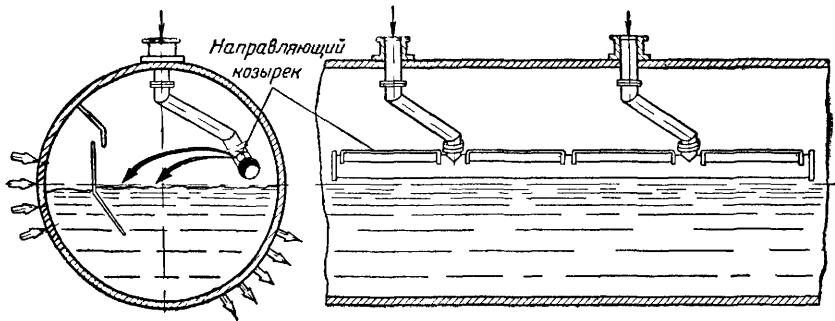


Рис. 184

простое, но мало эффективное приспособление, состоящее из дырчатой трубы, расположенной в паровом пространстве барабана котла (рис. 182). Для более равномерного забора пара по всей длине барабана шаг отверстий должен быть переменным.

В современных паровых котлах, имеющих мало развитые поверхности испарения, обращают серьезное внимание на уменьшение влажности выделяемого котлом пара. На рис. 183 показано сепарационное устройство ОРГРЭС. Пароводяная смесь, выходящая из труб подъемного участка циркуляционного контура 1,

перегородкой 2 направляется вниз. Пар через дырчатый лист 3 выходит к зеркалу испарения равномерно распределенным потоком по длине барабана. Дырчатый лист 4, находящийся в паровом пространстве, выполняет роль сепаратора воды также при равномерном отъеме пара по длине барабана.

Указанные приспособления выравнивают работу водяного и парового объемов барабана котла, снижая влажность выдаваемого пара.

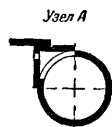
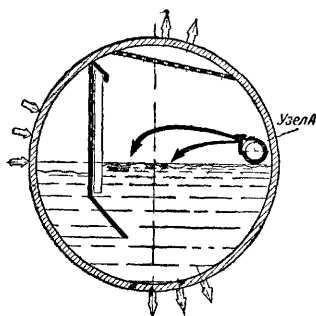


Рис. 185

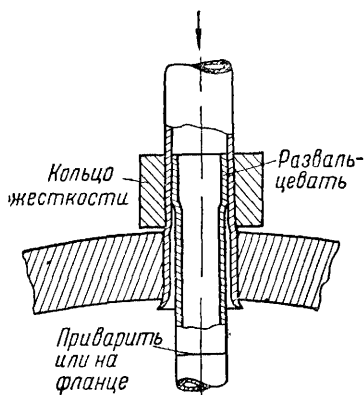


Рис. 186

На рис. 184 дан вариант подведения в котел питательной воды, имеющей температуру ниже насыщения. Вода, будучи подведена к трубе, расположенной выше водяного уровня котла, разбрызгивается, проходя через особые отверстия. Подобное разбрызгивание воды разрушает пену, образующуюся на поверхности зеркала испарения и способствующую выносу воды вместе с паром. Сама же вода, подогреваясь, деаэрируется, выделяя растворенные в ней газы — кислород и углекислоту. Примесь кислорода в воде разъедает стенки котла или его труб, в то время как та же примесь в паре не вызывает сколько-нибудь значительной коррозии трубопроводов и пароперегревателя. Большое значение в отношении сепарации идущей с паром влаги имеют так называемые отбойные щиты (рис. 184 и 185). На рис. 186 показана современная конструкция ввода питательной линии в паровой котел с паровой рубашкой, применяемая при повышенных давлениях и предохраняющая от образования кольцевых трещин в теле барабана.

Снабжение паровых котлов механическими или камерными

топками позволяет поднять форсировки этих котлов. Однако часто повышение форсировок бывает затруднено из-за ограниченности размера парового пространства котла и перегруженности его циркуляционных контуров. В таких случаях добавление к котлу выносного вертикального сепаратора с приключением к последнему части экранных поверхностей нагрева, выделенных в отдельный циркуляционный контур, позволяет решить задачу повышения форсировок сверх предусмотренных расчетом, не изменяя работы барабана паросборника.

Идея центробежного вертикального сепаратора (187) заключается в том, что эмульсия пара и воды, тангенциально подводимая к сепаратору, приводит воду во вращательное движение, выделившийся пар отводится кверху, вниз направляется вода в спускную часть циркуляционного контура. Пар, полученный в сепараторе, далее присоединяется к пару, идущему от котла (рис. 188). Контур сепаратора имеет самостоятельную продувку.

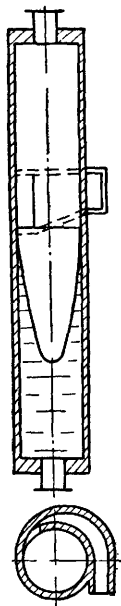


Рис. 187

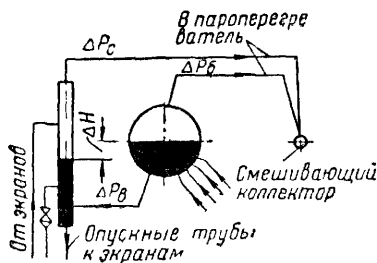


Рис. 188

Пар с незначительной влажностью получается только при соблюдении условия  $\frac{u}{\omega_0} = 10 \div 30$ , где  $u$  — тангенциальная скорость входа пароводяной эмульсии в сепаратор, а  $\omega_0$  — осевая скорость движения пара по сепаратору. При давлении пара 14 атм рекомендуется высоту, считая от ввода смеси до верха сепаратора, делать равной 1,9 м при  $\omega_0 = 0,8$  м/сек, что обеспечивает получение влажности пара, не превышающей 0,02%.

## § 66. ПРЯМОТОЧНЫЙ КОТЕЛ СИСТЕМЫ ПРОФ. Л. К. РАМЗИНА

По мере роста рабочего давления пара резко увеличивается стоимость барабанов в водотрубных котлах. Поэтому современные котлоагрегаты теплоэлектростанций в большинстве случаев имеют только один барабан-паросборник, назначение которого; замкнуть

циркуляционные контуры экранов и самого котла; собрать пар и произвести сепарацию находящейся в нем котловой воды; дать возможность производить непрерывную продувку, пополняя убыль воды в барабанах путем автоматического регулирования питания.

Наиболее простым по конструкции является прямоточный котел лауреата Сталинской премии проф. Л. К. Рамзина; на его изготовление требуется минимальное количество металла. В прямоточном котле нет многократной циркуляции и отсутствует барабан-паросборник. Принципиальная схема котла очень проста. Имеется ряд параллельно работающих змеевиков, в один конец которых вводится питательная вода, а из другого выходит пар. Вода, проходя по системе труб, сначала подогревается, затем происходит ее испарение и перегрев получившегося пара. На рис. 189 приведена схема котла Рамзина на давление пара 100 атм и перегрев 495°. Паропроизводительность котлоагрегата составляет 220 т/час. Для котла используются трубы диаметром 40 × 32 и 52 × 40 мм.

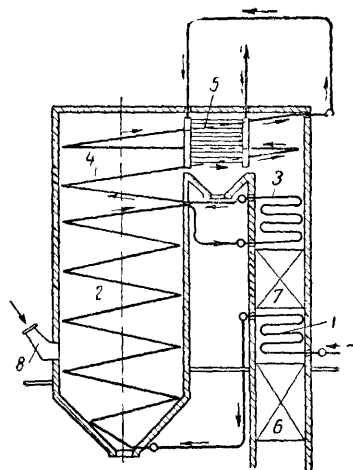


Рис. 189. Схема прямоточного котлоагрегата конструкции Л. К. Рамзина

1—конвекционный экономайзер; 2—нижняя, радиационная часть агрегата; 3—переходная зона; 4—верхняя, радиационная часть агрегата; 5—конвекционная часть перегревателя; 6 и 7—первая и вторая ступени воздухоподогревателя; 8—горелки

Питательная вода с температурой 185° сначала поступает в водяной экономайзер, где подогревается примерно до 230°, далее вода направляется в топочные экраны, которые окаймляют топку таким образом, что поток воды, последовательно проходя по трубам, все время идет снизу вверх, приближаясь в своем движении к подобию спирали. Следует подчеркнуть, что, когда говорится об одной линии, подразумевается их комплект, состоящий из ряда линий, включенных параллельно друг другу.

В топочном экране вода доходит до состояния кипения, и затем по мере дальнейшего движения в нем начинается процесс парообразования. В котле Рамзина отсутствует продувка, поэтому питательная вода не должна иметь накипеобразователей, однако практически они все-таки, хотя и в незначительном количестве, но имеются. Накипь особо энергично выпадает в так называемой переходной зоне, где насыщенный пар и оставшаяся вода в количестве около 20% переходят в перегретый пар. С целью предохра-

нения труб от перегорания при отложении накипи, так как промывка котла кислотными растворами производится только периодически, переходная зона выносится в газовый поток, имеющий сравнительно умеренные температуры. Указанное и осуществляется в прямоточном котле, когда смесь пара и воды переходит в змеевики переходной зоны. По выходе из переходной зоны пар с температурой перегрева, равной  $342^{\circ}$ , поступает опять в топочное пространство, в радиационную часть перегревателя. Потом пар направляется во вторую конвекционную часть пароперегревателя и далее идет к потребителю.

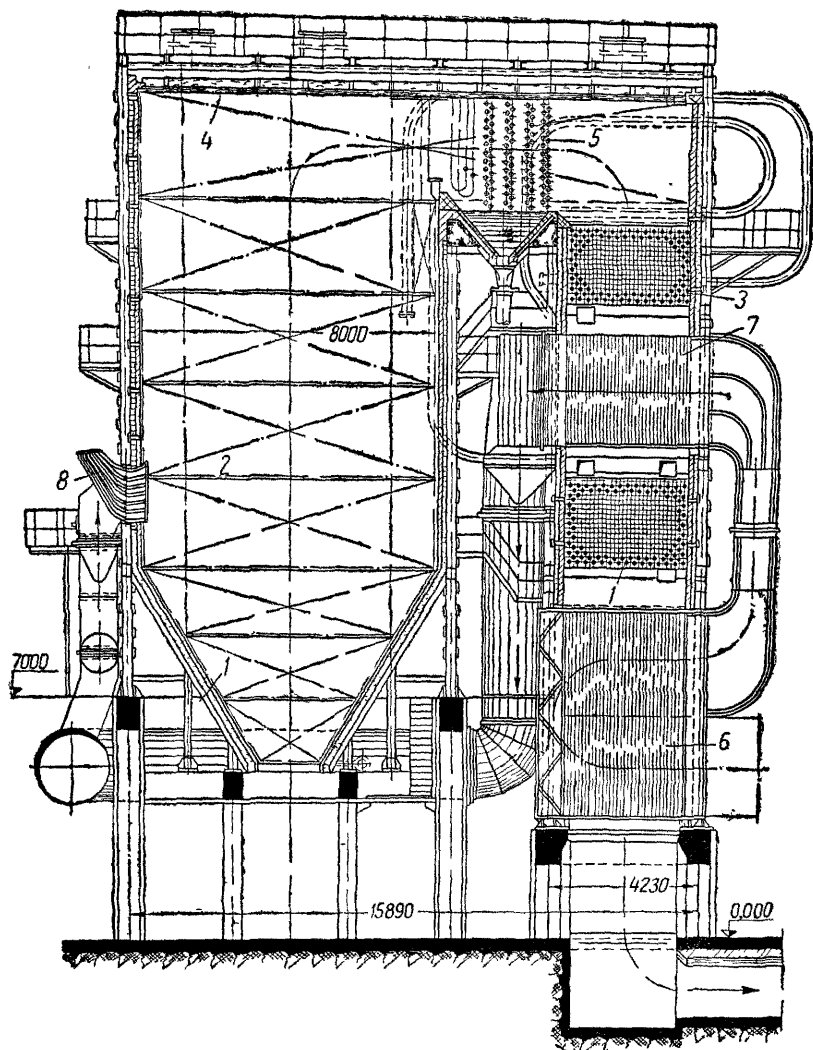
Разделение пароперегревателя на две части — радиационную и конвекционную — иногда делается и в барабанных котлах. Такая схема включения пароперегревателя позволяет довольно устойчиво держать перегрев пара при изменениях нагрузки котла. Так, например, при перегрузке количество тепла, передаваемого радиацией топочного факела, считая на 1 кг сжигаемого топлива, уменьшается, но одновременно конвекционная часть перегревателя начинает работать более эффективно, так как с повышением форсировки растет объем отходящих газов, вместе с ним возрастает скорость движения газов и коэффициент теплопередачи. Чертеж того же котла приводится на рис. 190.

В котле Рамзина, как уже отмечалось, потоки воды и пара идут по параллельным змеевикам. Весьма важно, чтобы тепловая работа каждого змеевика была бы идентична с другими, чтобы не получилось, что в одном змеевике пар не догреется до требуемой температуры, а в другом чрезмерно перегреется, что вызовет перегрев стенки и аварию. В циркуляционных контурах барабанных котлов также могут происходить такие явления, но там увеличенная кратность циркуляции исключает возможность опрокидывания циркуляции в отдельных трубах, приводящих к образованию застоя пара и перегреву труб.

Получить совершенно идентичные змеевики крайне затруднительно; при эксплуатации прямоточного котла всегда имеется опасение, что увеличится гидравлическое сопротивление в одних змеевиках и уменьшится в других. Кроме того, топочная часть и газоходы могут отдавать тепло неодинаково во всех пунктах сечения газового потока. Ошлакование некоторых участков газохода также может вызвать неравномерность газового потока и соответственно теплоотдачи в разных пунктах. В результате неравномерной передачи тепла змеевикам в пунктах, где по проекту она не предвиделась, опять начнут изменяться гидравлические сопротивления отдельных змеевиков. Удельный объем пара значительно выше соответствующего объема воды, и если в каком-нибудь змеевике образуется по сравнению с другими больше пара, то в этом змеевике повысится гидравлическое сопротивление, что в итоге может вызвать чрезмерный перегрев пара и стенки.



Эффективным мероприятием, предотвращающим указанную неравномерность, является введение в систему змеевиков допол-



190. Прямоточный котлоагрегат конструкции Л. К. Рамзина (обозначения те же, что на рис. 189)

нительных гидравлических сопротивлений, сглаживающих неравномерность гидравлических сопротивлений отдельных змеевиков. Это достигается путем введения при входе в змеевики диафрагм,

уменьшающих их сечение. Измеряя температуру пара по выходе из каждого змеевика и в случае надобности изменяя сечение отдельных диафрагм, производят «настройку» змеевиков.

С увеличением давления пара уменьшается разница в удельных объемах воды и пара, что благоприятно сказывается на работе прямоточного котла и, наоборот, усложняет работу сепарационных приспособлений в котле с циркуляцией пароводяной смеси.

В котле Рамзина нет запаса воды, и поэтому необходимо синхронизировать тепловую работу топки и подачу питательной воды. Автоматически действующую синхронизацию удастся осуществить при камерном сжигании топлива. Принципиально подобная схема могла бы быть представлена так: от коленчатого вала, приводимого в движение электродвигателем постоянного тока, когда можно по желанию изменять число оборотов, работают два насоса: один перекачивает в котел мазут или аэропыль, другой — питательную воду. Практически синхронизация осуществляется весьма сложно. Насосами, питающими котел указанных параметров, требуется преодолевать примерно следующие гидравлические сопротивления (в ат):

Сопrotивление котла . . . . .	32,0
„ регулирующих органов . . . . .	4,5
„ дроссельных шайб . . . . .	3,0
„ трубопроводов и подогревателей . . . . .	3,0
Всего . . . . .	
	42,5
Давление пара . . . . .	100,0
Необходимыи минимальный напор . . . . .	142,5

Учитывая потребность в необходимом запасе давления для работы автоматики питания котла, арматуру, трубопроводы и пр. следует рассчитывать на 180 ат.

Растопка котла Рамзина производится таким образом, что сначала вода проходит по всем змеевикам и затем поступает в питательный бак; по мере образования насыщенного пара его или выпускают наружу, или используют в поверхностных водоподогревателях до тех пор, пока не будет получаться перегретый пар требующейся температуры. Растопка продолжается около 50 мин.

### § 67. КОТЛЫ С МНОГОКРАТНОЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

При одинаковых прочих условиях с уменьшением диаметра труб водотрубного котла увеличивается коэффициент теплоотдачи

от газа к стенке. Но, уменьшая диаметр труб, необходимо считаться с увеличивающимся гидравлическим сопротивлением при прохождении по трубам пароводяной смеси. Указанное обстоятельство и является препятствием к уменьшению диаметра труб в условиях естественной циркуляции.

Стремление придать паровому котлу компактные размеры, используя трубы малого диаметра, привело к созданию котла с барабаном и с принудительным движением воды по циркуляционному контуру (рис. 191). Недостатком котла является дополнительный циркуляционный насос, перекачивающий воду с температурой насыщения и расходующий электроэнергию хотя и в незначительном количестве, так как насос должен преодолевать только гидравлическое сопротивление сети.

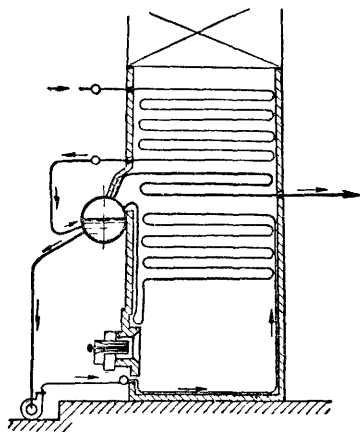


Рис. 191

Наличие циркуляционного насоса безусловно понижает надежность при эксплуатации агрегата в целом. Приходится ставить два насоса: один — с электроприводом, другой — с паровым приводом.

Подобная схема находит применение в отопительно-производственных котельных, при дополнительном экранировании топочных камер котлов устаревших конструкций, когда недостаточное развитие циркуляционного контура по высоте не дает возможности осуществить естественную циркуляцию.

Из котлов с многократной принудительной циркуляцией следует остановиться на схеме котла типа Велокс (рис. 192). К котлу, вместо барабана-паросборника, присоединен сепаратор, подводящий пароводяную смесь по касательной. Центробежной силой вода прижимается к стенкам сепаратора, а пар отбирается из центра. Топка и газоходы котла работают под давлением, которое достигает в топке 2—3 атм. С увеличением давления уменьшаются удельные объемы газов, топка получает уменьшенные габариты, а большие скорости газов в дымогарных трубах котла и пароперегревателе, доходящие до 200 м/сек, резко повышают теплоотдачу. Пройдя котел и перегреватель пара, отходящие газы поступают в газовую турбину, которая является приводом для воздушного компрессора, нагнетающего воздух в топку. Отходящие из турбины газы, имея сравнительно небольшое давление, проходят через водяной экономайзер и далее выбрасываются в трубу.

На одном валу с газовой турбиной и компрессором расположены циркуляционный насос и электродвигатель, используемый при растопке котла. Котел может работать только на жидком или газообразном топливе.

### § 68. АРМАТУРА ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Арматурой парового котла называются все приборы, присоединенные к котлу с целью обеспечения безопасности его работы и

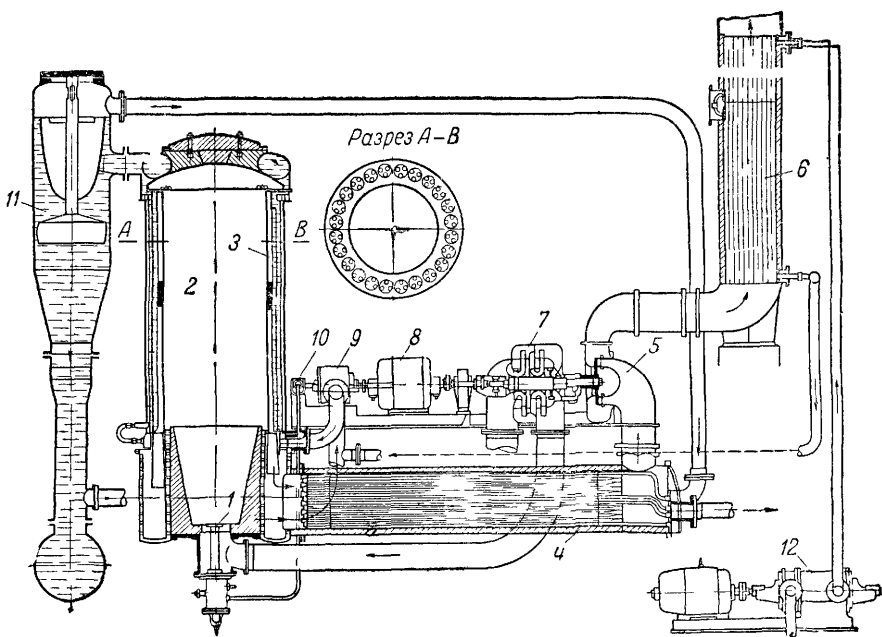


Рис. 192. Котлоагрегат Велокс

1—горелка; 2—топка, 3—котельные трубы, 4—пароперегреватель, 5—газовая турбина; 6—экономайзер, 7—воздуходувка, 8—электродвигатель для пуска и регулировки, 9—циркуляционный насос, 10—насос для подачи жидкого топлива, 11—центробежный сепаратор; 12—питательный насос

правильной эксплуатации. Манометр, водомерные стекла и предохранительные клапаны носят название арматуры безопасности.

Паровой котел взрывоопасен, поэтому правилами Котлонадзора строго регламентирована необходимая котельная арматура, при помощи которой регулируются расход пара и его давление, водяное питание, уровень воды, продувка.

Давление на котле контролируется манометром. Манометр соединяется с паровым пространством котла сифонной трубкой, изогнутой таким образом, чтобы в ее колене все время находилась

вода, получившаяся от сконденсировавшегося пара (рис. 162). Тогда давление на манометр будет передаваться при помощи охлажденной воды, а не горячего пара, что увеличит срок службы этого прибора. На сифонной трубке закрепляется перед манометром трехходовой кран с запасным фланцем, к которому периодически можно присоединять контрольный манометр для проверки манометра, установленного на котле.

На котлах с паропроизводительностью более 4 т/час должен устанавливаться манометр на водяной питательной линии, перед регулирующим вентиляем. При указанной паропроизводительности устанавливается манометр и на выходе пара из перегревателя.

В месте выхода из котла насыщенного пара ставится вентиль либо непосредственно на котле, либо на патрубке, приклепанном или приваренном к котлу.

Если между котлом и пароперегревателем не имеется парозапорного приспособления, то парозапорный вентиль (или задвижка) устанавливается непосредственно за пароперегревателем. Таким же образом устанавливается и запорный вентиль, при помощи которого регулируется подача воды в котел.

Непосредственно к котлу устанавливается запорный вентиль, а к нему присоединяется обратный клапан (рис. 193); назначение последнего — не допускать выхода воды из котла (если бы, например, пробило прокладку у фланцев на питательной линии). Котлонадзором разрешается установка колена между фланцами штуцера котла и запорного вентиля. В крупных котельных перед обратным клапаном, считая по ходу воды, еще устанавливается регулирующий питательный клапан, управляемый автоматически и поддерживающий постоянный уровень воды в котле.

Из наиболее распространенных систем автоматических питателей надо отметить термостатический регулятор (рис. 194), работающий следующим образом. Термостатическая трубка А, изготовленная из сплава с большим коэффициентом линейного расширения, устанавливается наклонно к горизонту. Одним своим концом она присоединяется к водяному пространству котла, а другим — к паровому. Сама трубка так располагается по отношению к барабану котла, чтобы нормальный уровень воды в ней находился на середине длины. Водяная часть автомата присоединяется к котлу неизолированной трубкой, что обуславливает

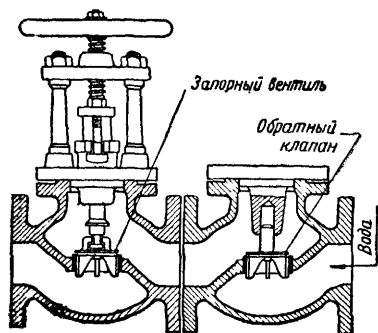


Рис. 193

значительное охлаждение воды, находящейся в трубке, по сравнению с водой котла; зато паровая трубка хорошо изолируется, и пар не будет в ней конденсироваться. При понижении уровня воды в котле, а следовательно, и в термостатической трубке конец трубки, присоединенный к паровому пространству, начнет сильнее разогреваться, ее удлинение передастся через систему рычагов на регулирующий питательный клапан *К*, больше приоткрывая его и тем повышая количество идущей в котел питательной воды. В результате уровень повысится.

В котельных, снабженных автоматическими питательными клапанами, обслуживающий котельную персонал все же обязан следить за состоянием уровня воды в котле.

Для наблюдения за уровнем на котле устанавливают два водомерных стекла. Делается это для того, чтобы не прерывать контроля в случаях выхода из строя одного из стекол. Пока происходит заправка нового стекла, наблюдение ведут по второму. По правилам Котлонадзора вместо второго стекла допускается у небольших котлов (с давлением до 13 атм и поверхностью нагрева до 100 м<sup>2</sup>)

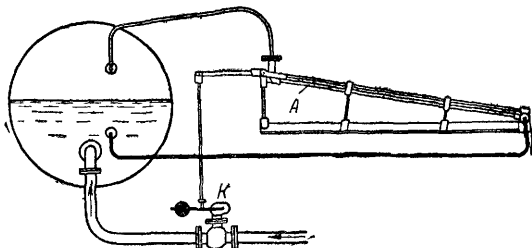


Рис. 194

установка двух пробных кранов: один—в паровом пространстве, другой — в водяном. Определять местонахождение уровня по пробным кранам неудобно, кроме того, в эксплуатации, если ими часто пользоваться, начинается пропаривание. Иногда водомерные стекла и манометр объединяют на одной колонке, которую и присоединяют к котлу.

На паровом котле должно быть не меньше двух предохранительных клапанов (рис. 143, 171 и 176). Из них один закрывается футляром, запирающимся на замок. Ключ хранится у заведующего котельной. Делается это для того, чтобы исключить всякую возможность изменения нагрузки на рычаг клапана.

Конец рычага обычно выходит за пределы кожуха, чтобы кочегар мог убедиться в исправности клапана, приподнимая его за выступающий конец рычага.

В самом низком пункте котла, непосредственно к нему или к патрубку, приклепанному или приваренному к котлу, устанавливается спускной вентиль. Если котел имеет грязевик (рис. 155, 159), то спускной вентиль присоединяют к последнему. Назначение спускного вентиля, как указывает и само название,— спускать грязь и вообще опоражнить котел. Но не только этим ограни-

чиваются его функции. Во избежание большой концентрации солей, выделяющих накипь, воду в котле надо периодически сменять, выпуская через спускную линию часть воды из котла и пополняя ее убыль питательной водой. Чтобы гарантировать безопасность при производстве этой операции, она по возможности производится под пониженным давлением, для чего дополнительно между спускным вентиляем и котлом устанавливаются задвижки, позволяющие открыть вентиль, еще не находящийся под давлением, а затем постепенно пускать воду. Удвоенные запорные приспособления лучше обеспечивают в должный момент полное перекрывание спускной линии, иначе легко упустить уровень. Под седло вентиля может попасть кусок накипи и в вентиле он скорее застрянет, чем в задвижке.

Чугунная арматура (вентили, задвижки) допускается к установке на котлах только до 13 *ати* давления и до 300° перегрева при диаметрах не более 200 *мм*; при более высоких параметрах требуется стальное литье или чугун особых высококачественных марок. При таком же перегреве, но для давления до 8 *ати* допускается чугунная арматура с диаметром прохода до 300 *мм*. Не допускается изготовление из чугуна патрубков, а также колен, к которым присоединяется спускная арматура. В практике эксплуатации было несколько случаев аварий с человеческими жертвами, когда ломали спускное колено, пытаясь повернуть прикипевший к своему седлу спускной кран.

Требования Котлонадзора в отношении предохранительных приспособлений для паровых котлов с давлением пара до 0,7 *ати* или водогрейных изложены в § 52, стр. 288.

## Глава IX

# ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛИ

## § 69. КОНСТРУКЦИИ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ

При описании отдельных типов водотрубных котлов обращалось внимание и на размещение перегревателей в газоходах. Конструкция пароперегревателя несложна и состоит из ряда труб диаметром по большей части 38×32 *мм*, изогнутых в виде змеевиков и развальцованных своими концами в паросборных коробках-коллекторах. Последние делаются стальными цельнотянутыми, прямоугольного или круглого сечения.

Для возможности развальцовки труб внутри коробок оставляются лючки, причем для уменьшения их числа и облегчения работы вальцевания один лючок обслуживает несколько труб, обыкновенно четыре (рис. 195).

Змеевики пароперегревателя размещаются в газоходах котлов по-разному. При расположении змеевиков в горизонтальной плоскости, а коллекторов — в вертикальной пароперегреватель хорошо освобождается от воды при продувке, но конструкция усложняется, так как надо обеспечить горизонтальное положение витка. Чтобы витки не прогибались, нижние из них опирают на балки, а между остальными прокладывают полосы стали, угольники и т. п. Получающийся пакет связывают для предотвращения коробления болтами.

Если при подобном размещении змеевиков не обращается достаточного внимания на основательность их крепления между собой, а также не будет установлено должного количества чугунных полых поддерживающих балок, то такие перегреватели часто провисают, витки находят один на другой, газы начинают проходить в местах наименьших сопротивлений, не омывая перегревателя полностью. Все это отрицательно влияет на тепловую работу перегревателя.

Проще и надежнее расположение витков в вертикальной плоскости при расположении коллекторов на расстоянии друг от друга по высоте (рис. 155, 196), хотя и тут иногда требуются поддерживающие балки. Наилучшим расположением перегревателя признается изображенное на рис. 180 и 197; каждый виток висит свободно, и не требуется дополнительных опор и креплений, вообще говоря, мало надежных в зонах высоких температур.

По правилам Котлонадзора от верха обмуровки котла до стропильной затяжки кровли для удобства обслуживания арматуры, обдувки и пр. требуется оставлять расстояние 2 м, так что сверху котла имеется достаточно места, которым можно воспользоваться при выемке перегревателя, расположенного, как указано на рис. 180. Когда же перегреватель вынимается вбок (рис. 9), то соответственно выбирают расстояния между котлами, позволяющие вставлять новые витки взамен перегоревших.

Работа перегревателя не ограничивается только перегревом пара. При высоких форсировках в перегреватель вносится с паром и некоторое количество воды, которая в перегревателе будет испаряться. Явление это нежелательное, так как вызывает появление накипи в змеевиках, очищать которую очень трудно. Если кипяtilьные трубы котлов сравнительно легко очищаются от

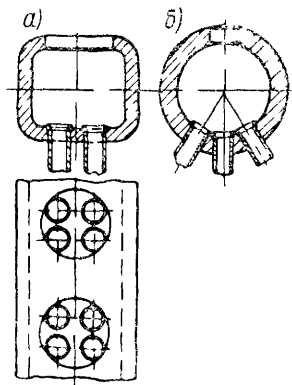


Рис 195



накипи обычными трубоочистительными головками, насаженными на гибкий вал, с приводом от электродвигателя, то перегреватель приходится промывать конденсатом или раствором соляной кислоты. В связи с этим необходимо очень внимательно относиться к конструированию паросепарирующих устройств и тщательно следить за качеством котловой воды (см. главу «Водоподготовка»).

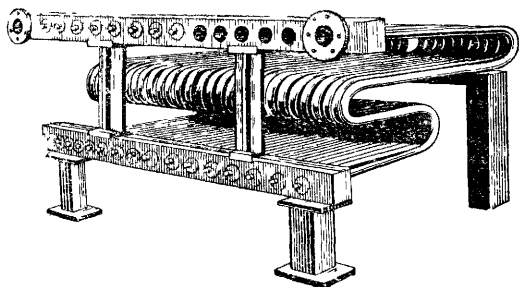


Рис. 196

Конструируя перегреватель, приходится учитывать сразу ряд требований; однако некоторые из них не всегда могут быть выполнены.

Например, для лучшего охлаждения змеевиков и повышения коэффициента теплопередачи желательно, чтобы скорость пара по змеевикам была бы наибольшей. Однако с увеличением скорости должно уменьшаться количество змеевиков и одновременно увеличиваться длина каждого из них, что будет чрезмерно повышать гидравлическое сопротивление по паровому тракту. Последнее будет также расти по мере увеличения давления пара. С целью увеличения скорости пара применяют дробление коллекторов.

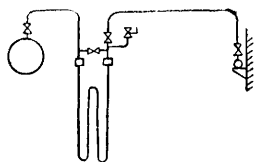


Рис. 197

Так, на рис. 196 сверху показаны две коробки; пар входит в одну из них, далее идет в нижнюю, из которой возвращается в другую — верхнюю.

Желательно иметь среднюю скорость пара в змеевиках пароперегревателя 15—25 м/сек; большие скорости также нежелательны, так как сильно повышают сопротивление пароперегревателя. При давлениях пара выше 40 *ати* и до 100 *ати* скорости понижают до 18—8 м/сек.

Скорость газов часто по чисто конструктивным причинам получается в пределах 8—12 м/сек; газовое сопротивление паро-

перегревателя в отопительных установках обыкновенно не превышают 3—4 мм вод. ст.

При растопке котла пар не идет по перегревателю, и его змеевики должны сильно нагреваться. Чтобы этого избежать, предлагались конструкции, позволяющие в периоды растопки заливать перегреватель водой из барабана котла. Практически выяснилось, что такая заливка приносит больше вреда, чем пользы, так как способствует образованию в змеевиках накипи.

В начале растопки, когда температура газов еще невелика, достаточное охлаждение змеевиков пароперегревателя происходит за счет испарения оставшегося в пароперегревателе конденсата. В дальнейшем после подъема давления на котле образующийся пар частично пропускают через пароперегреватель наружу. Стенка витка пароперегревателя нагревается больше, чем стенка трубки котла, так как пар хуже отводит тепло, чем кипящая вода. Поэтому весьма важно обеспечить равномерное распределение потоков пара по отдельным параллельно расположенным виткам.

С этой целью следует стремиться увеличивать по площади сечения коллекторы пароперегревателя, обеспечивая снижение скоростей по коллекторам примерно в 2 раза по сравнению со скоростями в змеевиках.

## § 70. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ

Большое значение имеет характер подвода насыщенного и отвода перегретого пара; достаточно удовлетворительной в этом отношении является схема, приведенная на рис. 198.

В котлах повышенного давления, где поверхности пароперегревателей получают большое развитие, хорошо решает вопрос правильного распределения потоков пара схема, когда насыщенный пар поступает в коллектор в нескольких пунктах путем присоединения труб с одной стороны к коллектору и с другой — непосредственно к барабану-паросборнику котла. Отвод пара также желательно делать в нескольких пунктах по длине коллекторов. Наиболее целесообразно с точки зрения теплопередачи осуществить противоток в отношении движения пара и газа (рис. 199, а). Но при таком движении пара и высоком перегреве будет сильно нагреваться выходная часть змеевиков.

Температура стенки при углеродистой стали не должна достигать до 500°. Вторая схема — параллельного тока (рис. 199, б) — имеет тот недостаток, что для больших температур перегрева пара возрастает поверхность нагрева пароперегревателя. С паром будет попадать из котла вода, причем она будет испаряться в первых же змеевиках, находящихся в зоне высоких газовых

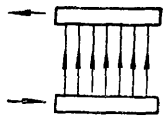


Рис. 198

температур; в этих змеевиках может отложиться накипь, что опять будет способствовать повышению температуры стенки. Наилучшим решением является схема (рис. 199, в), по которой при полном противотоке насыщенный пар при входе и перегретый пар при выходе из пароперегревателя попадают в сферу охлажденных газов. В энергетических установках иногда часть витков пароперегревателя располагается в топке. Достоинство такого перегревателя заключается в уменьшении колебаний температуры

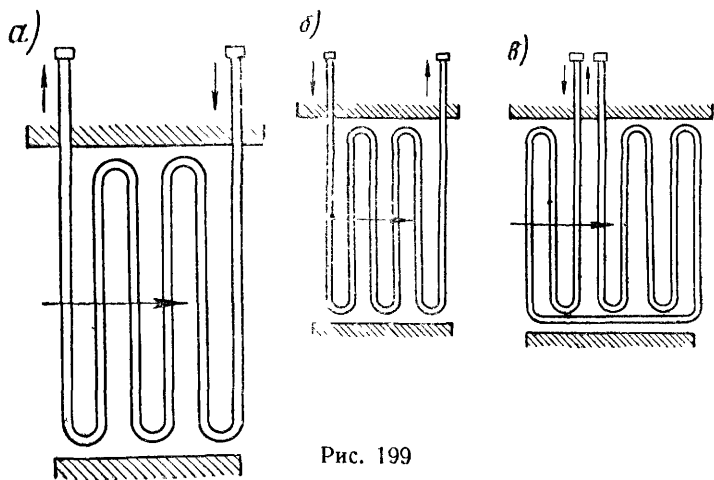


Рис. 199

перегрева при изменениях нагрузки котла, на что указывалось при описании прямооточного котла.

Арматура пароперегревателя состоит из трех запорных вентилях (рис. 197). Один из них — между котлом и пароперегревателем — в некоторых конструкциях (например, см. рис. 155) отсутствует, что вполне целесообразно, так как обеспечивается сообщение пароперегревателя с паровым пространством котла при растопке.

На пути от перегревателя к главной магистрали обыкновенно ставят два вентиля; это позволяет надежнее отключать от постоянно действующей магистрали неработающие котлы и концентрировать управление в пределах котла. При коротких участках один вентиль может и не устанавливаться. Иногда с целью регулирования перегрева пара линию перегретого пара объединяют с линией насыщенного. При желании понизить перегрев пара перепускают часть насыщенного пара, минуя пароперегреватель, но этот способ регулирования мало эффективен, так как по перегревателю идет меньшее количество пара, которое перегревается до более высоких температур; кроме того, при больших

диаметрах перепускных линий этот способ не безопасен; направляя большую часть пара, минуя перегреватель, можно сжечь змеевики. Поэтому диаметр перепускного вентиля не делается более 30% от диаметра основных вентилях. Этими соображениями приходится также руководствоваться, назначая при наличии перегревателя размеры служебной линии насыщенного пара

### § 71. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЕРЕГРЕВА

Регулирование перегрева в отопительно-производственных установках или вовсе не делают, или же это регулирование производится путем использования поверхностных теплообменников

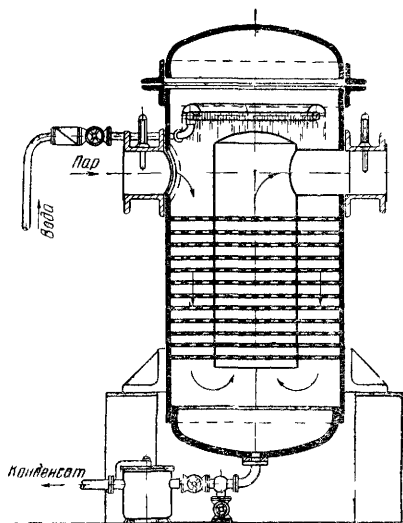


Рис. 200

Охлаждение может производиться котловой водой или водой, идущей на питание котла.

В первом случае теплообменники могут располагаться в барабанах котлов или резервуарах, с ними соединенных. В таких случаях перегретый пар по выходе из перегревателя частично перепускается по трубам, находящимся в водяном пространстве барабанов-паросборников. Охлажденная часть пара далее смешивается с основным его потоком, чем и достигается регулирование перегрева. При охлаждении пара питательной водой поверхности теплообмена могут располагаться либо в коллекторах пароперегревателя, либо в отдельном корпусе.

Снижение перегрева котловой водой лучше, так как при этом на поверхности регулятора перегрева не образуется пленки конденсата.

При невысоких перегревах пара снижение его температуры осуществляется путем впрыскивания воды в особый аппарат, установленный на паропроводе перегретого пара (рис. 200).

При необходимости регулирования для потребителя давления и температуры пара применяются специальные редуционные охлаждательные установки. Подобные установки (РОУ) изготавливаются Барнаульским котельным заводом (рис. 201).

Перегретый пар подводится к дроссельному клапану, сюда же вводится двумя соплами и охлаждающая вода, подхватывае-

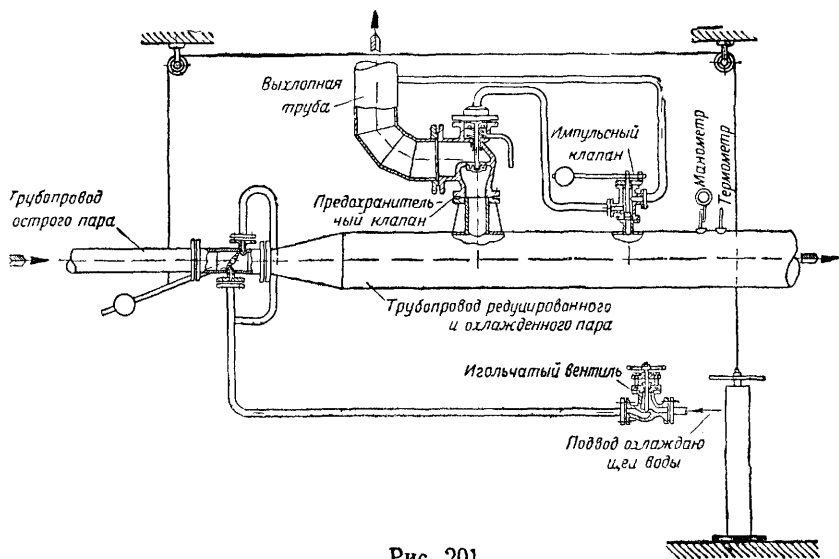


Рис. 201

мая струей пара и ею распыливаемая и испаряемая. По манометру и термометру, расположенным в конце установки, контролируют получающиеся температуру и давление и в случае надобности регулируют количество подаваемой воды и степень закрытия дросселирующего клапана. Регулирование может выполняться автоматически. Установка снабжается предохранительным клапаном, который при случайном получении недопустимо высокого давления редуцированного пара, это давление понизит до нормального, выпуская часть пара наружу. Предохранительный клапан связан с импульсным клапаном, который при нормальной работе не создает давления на поршень клапана. В случае чрезмерного повышения давления импульсный клапан объединяет полость над поршнем предохранительного клапана с пространством редуцированного пара. Так как площадь поршня больше площади тарелки клапана, то последний откроется и начнет выпускать пар.

## Глава X

## ВОДЯНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ

§ 72. ОСОБЕННОСТИ ВОДЯНЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ  
И ИХ РАСПОЛОЖЕНИЕ

Водяной экономайзер как один из основных элементов котельных установок прежде исключительно предназначался для использования тепла отходящих газов, покидающих котлы. В отопительных установках он и в настоящее время исполняет это назначение.

В энергетических установках по мере повышения давления пара все более увеличивается значение водяного экономайзера. Экономайзер в энергетических котлах является составной частью котла, заменяя собой его последние газоходы.

В паровом котле температура воды всюду одна и та же, соответствующая давлению пара в котле. В экономайзере же, наоборот, температура воды всюду разная, так как вода в нем постепенно подогревается. Выгода замены последних газоходов котла экономайзерными поверхностями хорошо иллюстрируется рис. 202. При экономайзерной поверхности получается больше разность температур между нагревающей и нагреваемой средами и в соответствии с уравнением теплопередачи  $Q = KH(T - t)$  ккал/час при одинаковых прочих условиях через экономайзерную поверхность больше пройдет тепла по сравнению с котельной поверхностью.

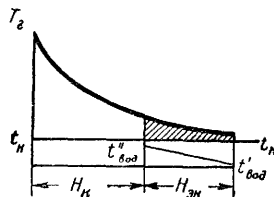


Рис 202

В отношении экономии металла большое значение имеет переход на однобарабанные энергетические котлы с естественной циркуляцией, причем и этот барабан желательно выполнить минимального диаметра. С повышением давления пара постепенно уменьшается количество тепла, расходуемого на сообщение скрытой теплоты испарения в суммарном теплосодержании 1 кг пара, и возрастает расход тепла на подогревание воды до состояния насыщения. Поэтому при перераспределении значительной тепловой нагрузки на экономайзер облегчается работа котла. Проще и надежнее получаются его циркуляционные контуры. Конвекционный котельный пучок получает весьма ограниченные размеры, так как остальная часть сообщаемого теплосодержания падает на сильно развитые поверхности нагрева пароперегревателя (рис. 181). Таким образом, большая часть поверхностей нагрева в современном энергетическом котле работает по прямоточному

принципу, без циркуляции, и сравнительно небольшая часть нуждается в обеспечении достаточной кратности циркуляции.

При работе пароперегревателя и водяного экономайзера гидравлическое сопротивление их может быть значительным, так как движение по ним нагреваемой среды обеспечивается не за счет циркуляции. Поэтому эти поверхности можно выполнять из труб малого диаметра, что повышает коэффициент теплопередачи, а также создает возможность указанным частям котлоагрегата придать весьма компактную форму (рис. 181).

Элементы экономайзеров для отопительно-производственных котельных отливаются из чугуна. Для энергетических установок водяные экономайзеры делают стальными по типу пароперегревателей.

### § 73. ЧУГУННЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ

Изготавливавшиеся до настоящего времени чугунные экономайзеры ЦККБ состоят из чугунных ребристых труб, соединяемых при помощи чугунных колен (калачей) таким образом, чтобы

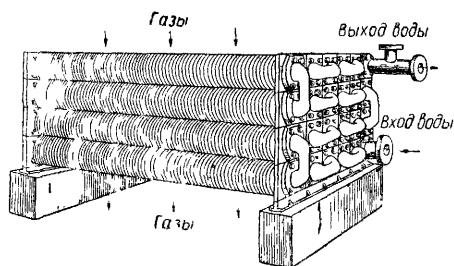


Рис 203

питательная вода могла последовательно пройти по всем трубам снизу вверх. Такое ее движение является обязательным, так как при нагревании воды падает степень растворимости находящихся в ней газов, кислорода, углекислоты, и газы начинают выделяться в виде поднимающихся вверх пузырьков.

Конструкция экономайзеров должна способствовать удалению этих пузырьков, так как они, налипая на стенки, производят корродирующее действие. С целью лучшего смывания пузырьков скорость движения воды не следует принимать меньше  $0,3$  м/сек. Скорость газов во избежание чрезмерного засорения экономайзера с внешней стороны золой и сажей принимают не менее  $5$  м/сек.

Чугунные ребристые трубы имеют по краям прямоугольные фланцы, что дает возможность, набирая группу труб, ограничить газоход с двух сторон металлическими стенками (рис. 203). Возможность присоса воздуха через щели между фланцами ликвидируется конопаткой асбестовым шнуром, укладываемым в особые канавки, находящиеся во фланцах. Каждая труба этого экономайзера имеет размер по длине  $1990$  мм, диаметр в свету  $100$  мм. Ребра — круглые, диаметром  $240$  мм. Прямоугольные фланцы имеют размер по высоте  $288$  мм, по ширине —  $243$  мм;

поверхность нагрева трубы  $5,5 \text{ м}^2$ . Живое сечение со стороны газов, приходящееся на одну трубу, равно  $0,21 \text{ м}^2$ .

Водяные экономайзеры могут устанавливаться к каждому котлу индивидуально (рис. 175) или они выполняются групповыми на несколько котлов (рис. 204 и 205). При располо-

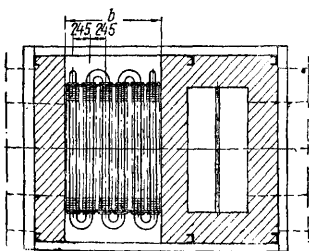
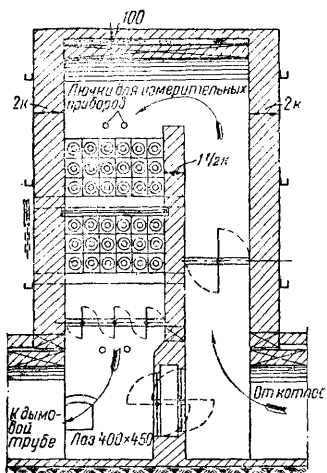


Рис. 204

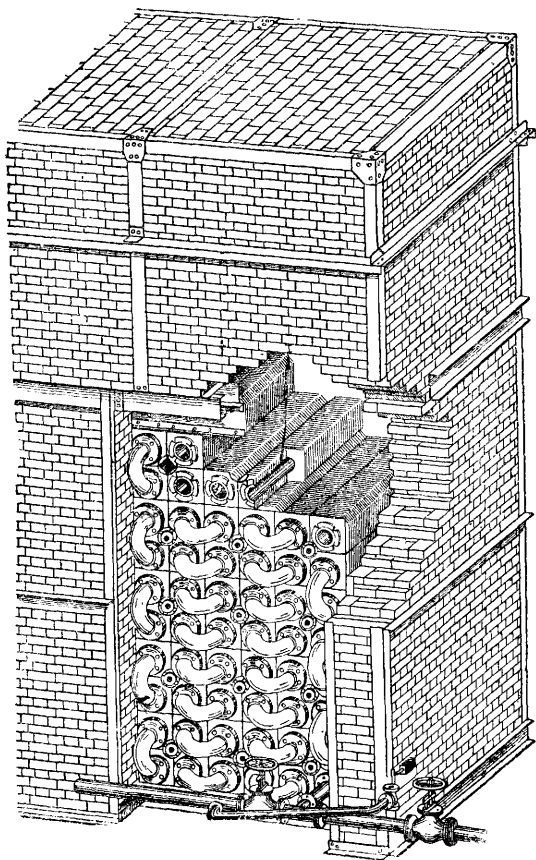


Рис. 205

жении экономайзера непосредственно за котлом присос воздуха между котлом и экономайзером невелик. Для групповых экономайзеров вследствие наличия сборного боровы, а также неплотностей заслонок неработающих котлов присос достигает значительных размеров.

Групповыми экономайзерами часто оборудуют небольшие отопительные установки, когда индивидуальный экономайзер не



удается хорошо скомпоновать с котлом. Пример обмуровки группового экономайзера, по конструкции близко подходящего к экономайзеру ЦККБ, дан на рис. 205.

Обмуровка экономайзера производится красным кирпичом при толщине стены в  $1\frac{1}{2}$ —2 кирпича. Размер стен обмуровки

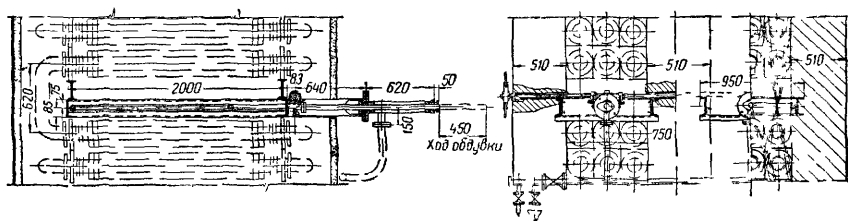


Рис. 206

экономайзера выбирается главным образом по соображениям уменьшения присоса, так как в газоходах экономайзера создаются значительные разрежения.

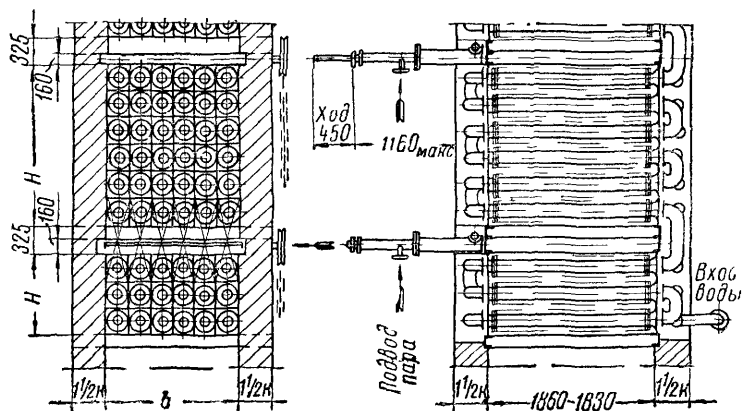


Рис. 207

Водяной экономайзер, собираемый из ребристых труб, довольно быстро загрязняется золой и сажой, поэтому его необходимо обдуть паром или сжатым воздухом от компрессора. Последнее применяется главным образом при водогрейных котлах.

Наилучшим типом обдувочного аппарата следует признать приведенный на рис. 206. В промежутках между группами труб монтируется подвижной аппарат из системы труб с расположенными на них соплами. Весь аппарат может перемещаться на 450 мм. Эффективность действия обдувки простирается на три

ряда труб по высоте, поэтому группы набираются по шесть горизонтальных рядов. Аппарат может обслуживать экономайзер, имеющий до девяти труб в одном горизонтальном ряду.

При нечетном числе горизонтальных рядов труб, находящихся между двумя обдувочными приспособлениями, подвод к ним пара приходится располагать с разных сторон экономайзера, чтобы получить возможность размещения вертикальных колен большого размера.

В табл. 40 приведены сведения по компоновке экономайзера в зависимости от числа труб в горизонтальном ряду и числа этих рядов.

Таблица 40

**Компоновка групп экономайзера ЦККБ с обдувочным устройством КТО**

Число горизонтальных рядов в группе	Высота группы экономайзера. Размер $H$ в мм (рис. 207)	Число труб в горизонтальном ряду и № обдувочного устройства	2	3	4	5	6	7	8	9	
			Ширина группы экономайзера. Размер $b$ в мм (рис. 207)								
			Живое сечение для прохода газов в $M^2$								
2	585	Поверхность нагрева в $M^2$	22,0	33,0	44,0	55,0	66,0	77,0	88,0	99,0	
3	875	То же	33,0	49,5	66,0	82,5	99,0	115,5	132,0	148,5	
4	1 165	"	44,0	66,0	88,0	110,0	132,0	154,0	176,0	198,0	
5	1 455	"	55,0	82,5	110,0	137,5	165,0	192,5	220,0	247,5	
6	1 745	"	66,0	99,0	132,0	165,0	198,0	231,0	264,0	297,0	

Схема обмуровки группового экономайзера ЦККБ приводится на рис. 207. Если не удастся расположить экономайзер в одном газоходе, то его размещают в двух. В таком случае поток воды по выходе из экономайзера, находящегося в одном газоходе, идет в нижнюю часть экономайзера другого газохода. По соединительной трубе вода идет сверху вниз; в верхней части этой трубы необходимо установить автоматически работающий воздухоотводчик (вантуз) (рис. 208). Такой же прибор должен находиться и на выходе воды из экономайзера, чтобы предотвратить попадание воздуха в паровой котел; часто эти функции воздухоотводчика совмещаются с отводом воздуха из верхнего пункта трубопровода, подводящего питательную воду к паровым котлам.



При длине трубы  $l = 2$  м поверхность нагрева каждой трубы равняется  $2,95 \text{ м}^2$  при живом сечении по газовой стороне  $0,12 \text{ м}^2$ .

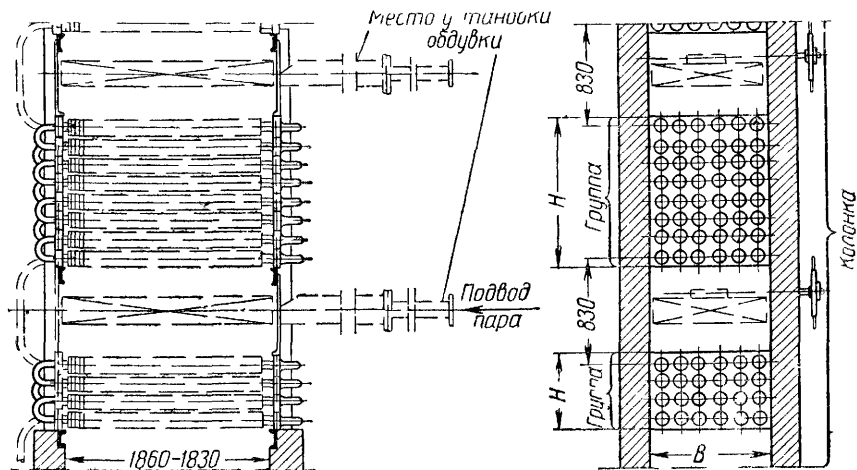


Рис 210

Размер  $H$  (рис. 210) подсчитывается таким образом:  $H = 150 m$ , где  $m$  — число горизонтальных рядов. Размер

$B = 150 n$ , где  $n$  — число труб в горизонтальном ряду; последнее может выбираться в пределах от 4 до 18 труб

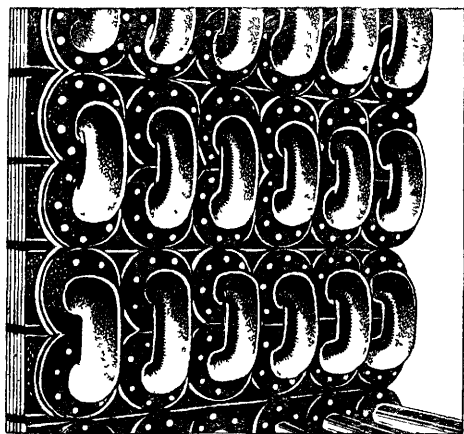


Рис 211

Чугунными экономайзерами снабжаются также водогрейные котлы. Следует учитывать, что при одинаковых прочих условиях, например, при одинаковом количестве сжигаемого в час топлива, в водогрейную установку приходится вводить воды примерно в 10 раз больше, чем в паровую, так как количество тепла, восприни-

маемого на 1 кг теплоносителя, у водогрейных котлов колеблется от 25 до 60 ккал/кг, а у паровых — от 500 до 650 ккал/кг и выше

С этим надо считаться, распределяя потоки воды по трубам экономайзера. Направляя всю воду аналогично с паровыми уста-

новками, через каждую трубу можно получить слишком большие скорости и гидравлические сопротивления. Воду в таких случаях надо пропускать рядом параллельных потоков (рис 211).

Чугунные экономайзеры допускаются к установке при давлении пара в котлах не выше 22 ати.

#### § 74. АРМАТУРА ЭКОНОМАЙЗЕРА, ОБХОДНОЙ БОРОВ, ОГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕМПЕРАТУР ВХОДЯЩЕЙ И ВЫХОДЯЩЕЙ ВОДЫ

При присоединении водяного экономайзера к питательному трубопроводу требуется предусматривать необходимую арматуру

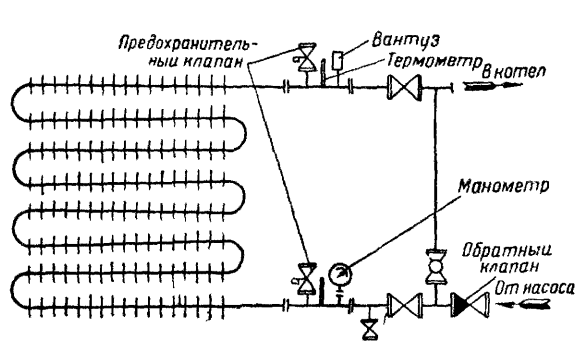


Рис. 212

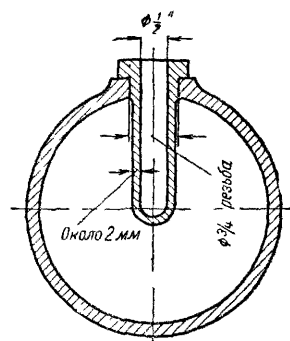


Рис. 213

По нормам Котлонадзора при входе в экономайзер и по выходе из него устанавливаются предохранительные клапаны и запорные вентили, причем при перекрытии запорных вентилей должен оставаться в системе экономайзера хотя бы один из предохранительных клапанов. Кроме того, требуются манометр, термометры на входной и горячей линиях и спускной вентиль, а в верхних пунктах должны быть поставлены краны или приспособления (вантузы) для автоматического выпуска воздуха. Всем этим требованиям удовлетворяет схема, изображенная на рис. 212. Предохранительный клапан на холодной линии воспринимает гидравлические удары, могущие возникнуть в сети, например, при быстром пуске поршневого насоса и т. п. Второй предохранительный клапан расположен в самой верхней точке экономайзера; через него будет сливаться вода при повышении давления, а также и выходить пар, если бы таковой случайно образовался.

На рис. 213 показана гильза, устанавливаемая на трубах для измерения температуры идущей по ним воды. В гильзу наливается

вода. Если температура протекающей воды выше  $100^{\circ}$ , то в гильзу наливается масло с температурой кипения выше  $100^{\circ}$ .

Питательная линия должна присоединяться к водяному экономайзеру таким образом, чтобы всегда имелась возможность произвести питание котла, минуя экономайзер, одновременно пропуская газы по обходному борову. По обходному борову также пропускаются газы при растопке котла.

Следует особо отметить ответственное значение вентиля (рис. 212), служащего для пропускания воды, минуя экономайзер. Случайное открытие этого вентиля при непрерывном газовом потоке может вызвать вскипание воды в экономайзере и аварию, поэтому перепускной вентиль следует запломбировать в закрытом состоянии. Сорвать пломбу и открыть вентиль кочегар имеет право только в случае необходимости выключения экономайзера для ремонта или осмотра.

Для водяного экономайзера его выключение или изменение количества проходящих по нему газов может потребоваться в периоды растопки. В периоды резко сниженных нагрузок, когда при наличии экономайзера, общего на несколько котлов, будет работать, например, только один котел, в экономайзере может перегреться вода выше допустимых пределов — вплоть до кипения. В таких случаях также требуется уменьшать количество газов, проходящих по экономайзеру.

Закипание воды в экономайзере вызовет нарушение в питании установки и будет сопровождаться гидравлическими ударами, в свою очередь могущими повредить чугунный экономайзер и вызвать аварию. Кроме того, стенки чугунной трубы, омываемые с одной стороны газами, а с другой — в одном месте водой, а в другом — паром, получают дополнительные напряжения от неравномерного прогрева, что в свою очередь может вызвать трещину в металле. Поэтому экономайзеры обязательно должны иметь обходной боров, и в водяных экономайзерах вообще требуется недогревать воду до температуры кипения, соответствующей данному давлению пара в котле, на  $40^{\circ}$ .

Возможность закипания ставит верхний предел для температуры воды, выходящей из экономайзера. Поэтому, например, не устанавливаются экономайзеры к паровым котлам низкого давления. Появление точки росы и ржавление экономайзера ограничивают нижний температурный предел воды, питающей экономайзер.

## § 75. СТАЛЬНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ

Стальными водяными экономайзерами укомплектовываются котлоагрегаты с давлением выше 22 *ати*.

Стальные экономайзеры бывают двух типов. Первый из них по принципиальной схеме не отличается от чугунного экономай-

зера. Ко второму типу относится «кипящий» экономайзер, когда между котлом и экономайзером не устанавливаются никаких запорных приспособлений и отсутствует ограничение в отношении предела нагревания воды. Вода в стальном экономайзере может и закипеть, причем количество пара, образующегося в экономайзере, равняется 5—15% и более от общего расхода пара котлом.

Стальные экономайзеры конструируются из змеевиков и коллекторов по типу пароперегревателей. В кипящем экономайзере должен предусматриваться беспрепятственный отвод пара в ко-

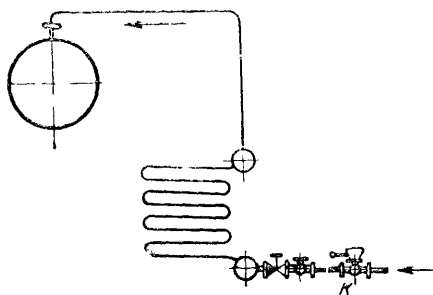


Рис. 214

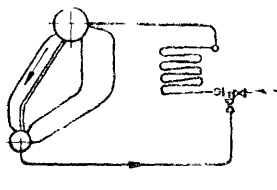


Рис. 215

тел, если бы таковой образовался. Стальной кипящий экономайзер позволяет предельно использовать экономайзерную поверхность. Диаметры труб стального экономайзера, так же как и пароперегревателей, принимаются по большей части  $38 \times 32$  мм. Небольшие диаметры труб позволяют создать компактный экономайзер, работающий с высоким коэффициентом теплопередачи (рис. 214). Кипящий экономайзер составляет одно целое с котлом, поэтому и требуемая правилами Котлонадзора питательная арматура устанавливается не перед котлом, а перед экономайзером (рис. 214, буквой К показан вентиль автомата питания). На рис. 215 приводится схема включения экономайзера в циркуляцию котла при растопке. Чугунный экономайзер хорошо противостоит влиянию внутренней коррозии растворенным в воде кислородом и внешней, связанной с образованием росы. Стальные экономайзеры, наоборот, очень подвержены таким разъеданиям, поэтому в установках приходится особо тщательно деаэрировать питательную воду. В отношении возможности появления росы в большинстве случаев опасений не имеется, так как при работе тепловой электростанции по регенеративному циклу температура питательной воды всегда значительно выше  $100^\circ$ .

## § 76. ОСОБЕННОСТИ ВОДОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

В системе отопления с водяным теплоносителем генератором тепла являются паровые подогреватели или водогрейные котлы. Таким образом, водогрейные котлы являются по существу экономайзерами с самостоятельной топкой. Водогрейные котлы по сравнению с паровыми дают более глубокий температурный перепад между нагревающим и нагреваемым телами.

При водогрейных котлах можно охлаждать отходящие газы до экономически наиболее выгодной температуры без опасения вызвать закипание воды, как это может случиться при сильно развитых экономайзерных поверхностях паровых установок с высокими давлениями пара. Устанавливая водогрейные котлы вместо паровых, можно значительно упростить оборудование котельной: проще получается питание, отсутствуют паровые подогреватели.

У паровых котлов имеется два питания: электроцентробежными насосами и паровыми. Нормально работают электроцентробежные насосы, но в случаях аварии на электролинии переходят к питанию паровыми насосами. Если в котельной, кроме водогрейных, не имеется других котлов, то в случаях перерыва тока циркуляция воды в системе останавливается и требуется немедленно заглушить топку, а то и просто их очистить от топлива, чтобы предотвратить вскипание воды в водогрейных котлах. Однако даже только накаленная обмуровка топки часто способна вызвать вскипание воды.

В подобных случаях в котле можно произвести обмен воды, открывая вентиль на аварийной линии и выпуская воду наружу (рис. 136).

В крупных водогрейных котельных целесообразно иметь резервный двигатель внутреннего сгорания, который будет служить приводом для циркуляционного насоса в случаях перерыва в подаче электрического тока.

Часто от котельной требуется тепло не только в виде горячей воды для отопления и вентиляции, но и пара, идущего на цели производства, для получения горячей воды и пр. Тогда при желании воспользоваться для отопления и вентиляции водогрейными котлами приходится иметь в котельной два теплоносителя и два рода взаимно незаменимых котлов. Это может иногда вызвать необходимость в увеличенном резерве, а также осложняет обслуживание. Поэтому при проектировании укрупненных котельных установок, назначение которых — обслуживание отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и производственных нужд, необходимо достаточно глубоко проанализировать, что в данном случае будет выгоднее: остановиться ли на двух теплоносителях или перейти к одному — пару.



Паровой котел любой системы можно приспособить для работы на нагревание воды; здесь необходимо только считаться с тем, что предел форсировок водогрейных, а также и паровых отопительных котлов, обслуживаемых сравнительно примитивными топками, ограничивается мощностью топки.

Проектируя заново водогрейный котел или переоборудуя паровой котел на водогрейный, необходимо главнейшее внимание обратить на правильную организацию водяного потока. Если схема водогрейного котла будет представлять собой род змеевика или спирали, причем в один конец будет входить питательная вода, а из другого выходить горячая, то, как бы ни располагались газоходы и топочная часть, никаких местных перегреваний воды не будет и не появится стук, часто возникающий в трубах водогрейного котла при неорганизованном потоке воды.

При конструировании водогрейных котлов нужно стремиться максимально экономить листовую сталь и бесшовные трубы, заменяя последние газоходы чугунными экономайзерами, тем более, что в данном случае нет опасений перегревания воды выше фиксированной нормы, как это возможно при паровых котлах.

Устанавливать топку непосредственно под чугунными поверхностями нагрева в водогрейных котлах с температурой нагрева воды выше  $115^{\circ}$  не допускается, так как чугун непрочен; поэтому наиболее интенсивно работающие поверхности, подвергающиеся воздействию излучения, должны выполняться из стали.

Отсюда намечается следующая схема водогрейной установки.

Поверхности нагрева, размещаемые в топках и воспринимающие лучистое тепло, сводятся к минимальным размерам.

Конвективные поверхности выполняются из чугуна и сильно развиваются с целью обеспечения наивыгоднейшей температуры отходящих газов.

На котел в таком случае расходуется минимальное количество высококачественного металла.

На рис. 216 приведен разрез обмуровки котла предложенного нами типа и отвечающего основным положениям, высказанным выше. Вместо экрана использованы пучки труб котла Шухова без барабана-паросборника, который не нужен. Такие секции располагаются в горизонтальный ряд: одна, две, три и т. д.

Вода из магистрального трубопровода обратной воды поступает сначала в экономайзер из чугунных ребристых труб, затем идет в нижнюю головку котла. Из верхней головки вода отводится в магистральный трубопровод горячей воды.

Котел в данном случае выполняет роль экрана, хотя, конечно, неполностью, так как имеется несколько рядов труб в глубину пучка. Поэтому в тепловом расчете необходимо проверять температуру воды в трубах, воспринимающих тепло от излучения топки. При испытаниях на нефтяном топливе и при минимальных



избытках воздуха в топке, близких к единице, снимали с котла до 22 000 ккал/м<sup>2</sup>час.

В процессе эксплуатации этих котлов обнаружилось отложение накипи в трубах, воспринимающих лучистое тепло. Наибольшее количество накипи наблюдалось в нижних трех трубах каждого пучка, затем — уже меньшее количество — в следующих двух трубах, симметрично расположенных по периферии, и, наконец, ничтожно малое количество накипи отлагалось в двух трубах, также находящихся на периферии, которыми заканчивается как бы полукруг пучка. Остальные трубы пучка оставались чисты-

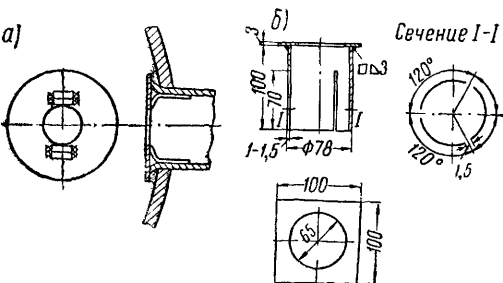


Рис. 217

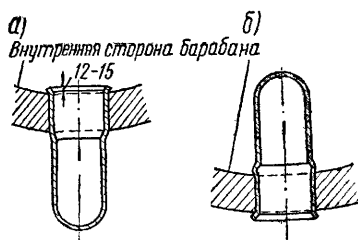


Рис. 218

ми. Это обстоятельство лишний раз подтверждает, что усиленное отложение накипи появляется в местах наибольшего нагревания воды.

Для правильной организации водяного потока (большая часть потока должна быть направлена в трубы, в которых отлагалась накипь) в те трубы, где накипи не было, были вставлены диафрагмы диаметром 20 мм при внутреннем диаметре трубы, равном 70 мм. Конструкцию диафрагм можно рекомендовать двух типов (рис. 217, а и б).

В дальнейшем эксплуатация котла протекала нормально, налеты накипи если и отлагались, то равномерно по всем трубам. Механическая очистка труб от накипи в котле с головками Шухова затруднений не встречает.

Чтобы избежать установки диафрагм, нами предлагалось также вводить питание с фронта котла в особый коллектор, к которому привариваются 5 периферийных труб пучка. В оставшиеся без труб 5 отверстий в передней головке котла ввальцовываются заглушки (рис. 218, а и б). Таким образом, водяной поток, питающий котел сперва, проходит 5 труб, почти целиком воспринимающих лучистое тепло, далее входит в заднюю головку котла, в ней поворачивается и поднимается по оставшимся 23 трубам пучка, направляясь к выходному патрубку.

Такая схема включения позволяет получить меньший подогрев воды в трубках, воспринимающих излучение в топке, и предотвратить возможность вскипания в них воды. Это видно из следующего.

Конечная температура воды, пропущенной через пять труб, может быть подсчитана из уравнения теплового баланса

$$Q_{\lambda} = D(t'' - t'), \quad (177)$$

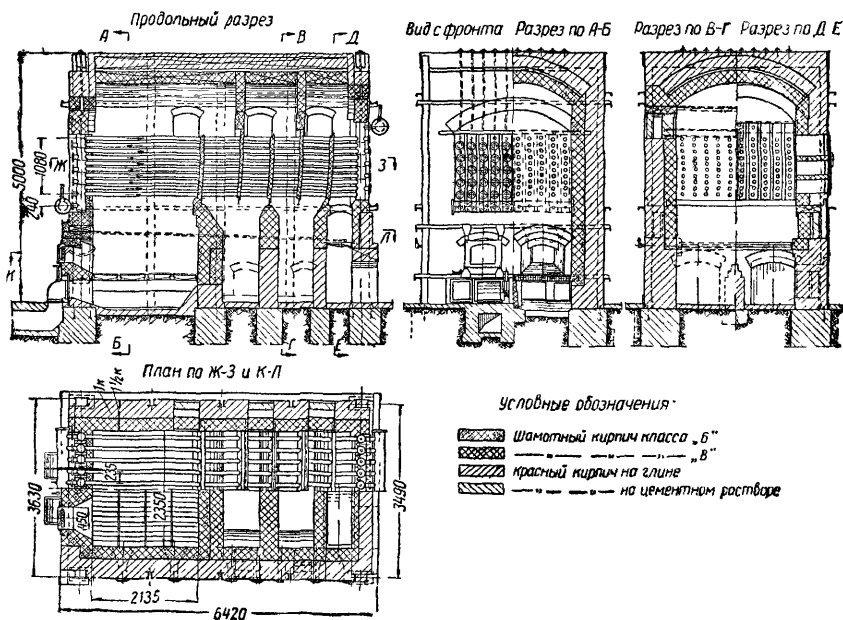


Рис. 219

где  $Q_{\lambda}$  — тепло, переданное излучением в топке, в ккал/час;  
 $D$  — расход воды через указанные трубы в кг/час;  
 $t'$  и  $t''$  — начальная и конечная температуры воды в град.,  
 откуда получается

$$t'' = t' + \frac{Q_{\lambda}}{D}.$$

При пропуске воды параллельными струями через всю секцию количество ее, проходящее через 5 нижних труб, равняется  $D \frac{5}{28}$  кг/час. В соответствии с этим конечная температура подогрева выразится так:

$$t'' = t' + \frac{Q_{\lambda} \cdot 28}{D5}.$$

Если предположить, что вода в котле должна нагреваться от 70 до 95°, а  $Q$ , составляет 40% от общего тепловосприятия котлом, то в первом случае, проходя через 5 труб, она нагреется до 80°, а во втором, несмотря на предварительное нагревание в газоходе, — до 126°.

На рис. 219 приводится водогрейный котел М. М. Щеголева, состоящий только из труб. Котел собирается из труб, которые привариваются в два вертикально расположенных коллектора. Про-

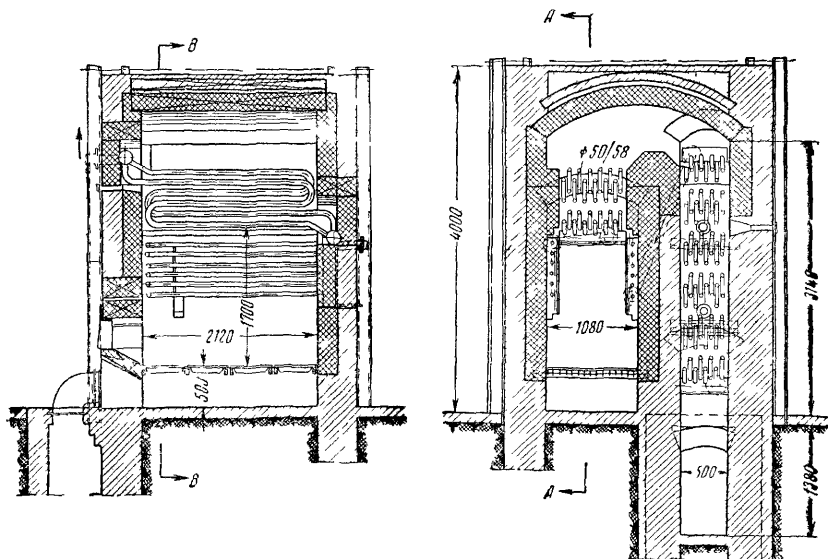


Рис. 220

тив каждой трубы, с одного ее конца, на коллекторе имеется патрубок, перекрываемый фланцем, обеспечивающий возможность механической очистки трубы от грязи и накипи.

С целью организации водяного потока внутри коллекторов привариваются горизонтальные перегородки, побуждающие воду проходить последовательно по трубам секции.

Коллекторы расставлены на значительное расстояние с целью обеспечить догорание топочного факела в пространстве между рядами труб первого газохода и тем уменьшить высоту топки; коллекторы снизу и сверху объединяются трубами.

Чтобы повысить скорость газового потока в последних газоходах, их длина доводится до минимума.

Если отказаться от механической очистки накипи, заменяя ее периодической промывкой котла кислотным раствором, то надо переходить на более компактные конструкции змеевикового типа.

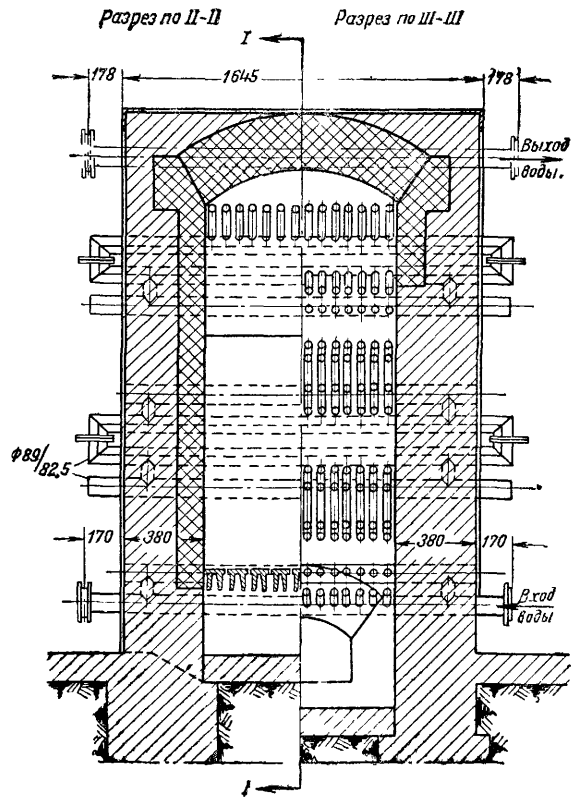
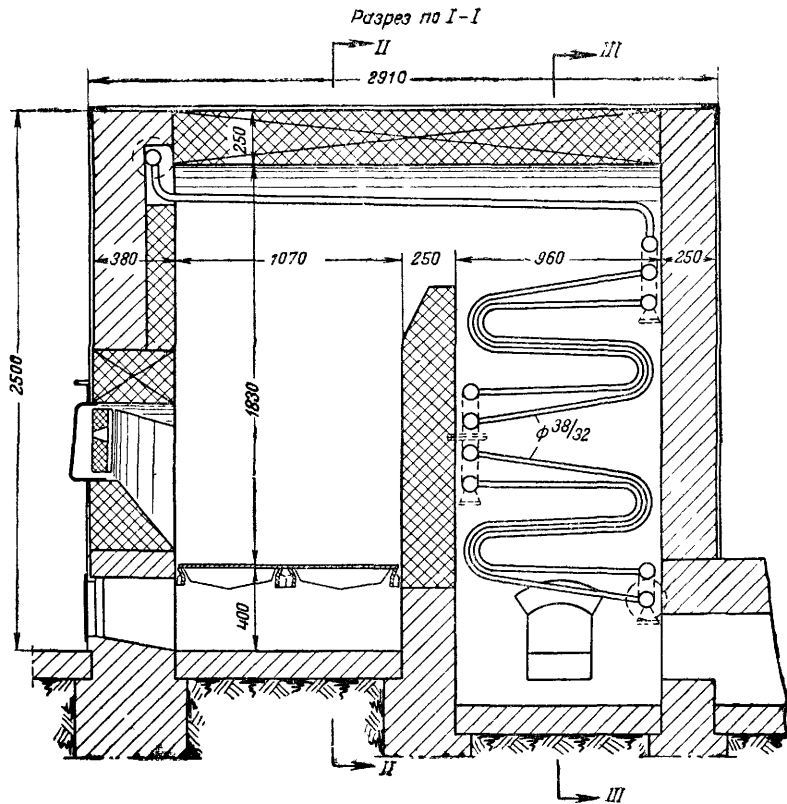


Рис. 221

Примерами таких водогрейных котлов являются котел Ревокатова (рис. 220) и котел Рамзина (рис. 221).

На рис. 222 приводится пример переоборудования парового котла Шухова—Берлина на водогрейный. Топка водогрейного котла по нашему указанию снабжена боковыми и потолочными экранами. Обратная вода, пройдя через групповой чугунный

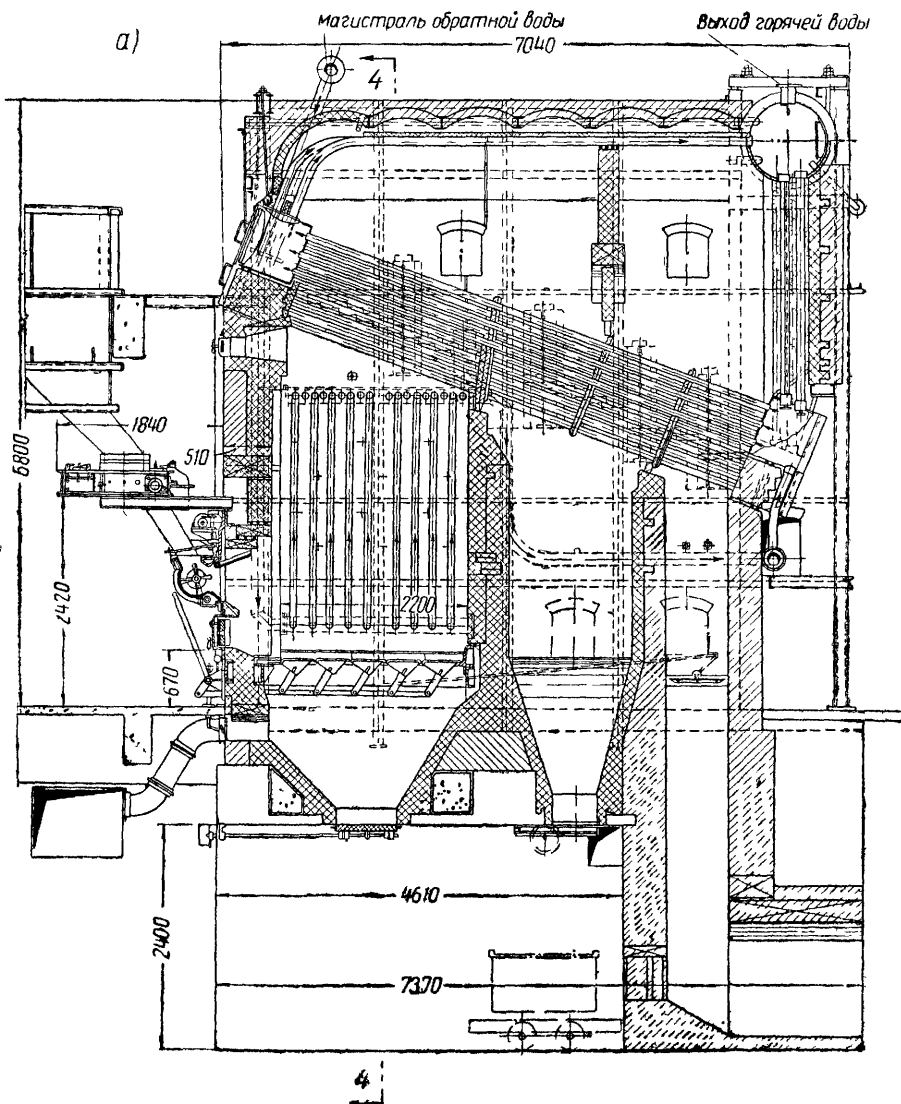


Рис. 222а





экономайзер ЦККБ, направляется в экран и далее в котел. Путь воды указан стрелками. В местах, где направление потока воды начинает идти сверху вниз, устанавливаются воздухоотводчики. В трубах, соединяющих задние головки котла с барабаном, в их нижних частях, установлены диафрагмы, имеющие отверстия диаметром в 2 мм, с целью обеспечить отвод воздуха в верхний барабан. Чтобы избежать нагревания воды в указанных трубах, они покрыты торкретной массой. Водомерное стекло в данном случае не требуется, и соответствующие отверстия в барабане перекрыты заглушками (рис. 218). При эксплуатации котла температура воды доходила до 140°.

### Глава XI

## ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛИ

### § 77. НАЗНАЧЕНИЕ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Воздухоподогреватель вместе с экономайзером и пароперегревателем входит в число так называемых хвостовых поверхностей котлоагрегата. Если водяной экономайзер и пароперегреватель, отнимая тепло от отходящих газов, передают его непосредственно теплоносителю, нагревая питательную воду и пар, то роль воздухоподогревателя иная. Воздухоподогреватель, отнимая тепло от отходящих газов и соответственно уменьшая потерю с отходящими газами, непосредственно это отнятое тепло теплоносителю не сообщает. Горячий воздух направляется от воздухоподогревателя в топку котла, где улучшаются условия сгорания топлива, уменьшаются топочные потери  $q_3$  и  $a_4$ , увеличивается теоретическая температура горения, следовательно, увеличивается передача тепла радиацией по сравнению с менее эффективной теплоотдачей — конвекцией. В итоге увеличивается к. п. д. всей установки в целом при одинаковых прочих условиях, уменьшается поверхность нагрева котла.

При слоевом сжигании топлива с забрасыванием новых порций сверху на горящий слой условия зажигания топлива достаточно благоприятны, и можно обходиться без горячего дутья даже при сжигании сырых и многозольных топлив. На механических топках типа цепной решетки или ступенчато-переталкивающей решетки условия зажигания топлива значительно менее благоприятны, и для успешной работы обязательно требуется горячее дутье. То же следует сказать и про условия горения пылевидного топлива, где с целью повышения теплового напряжения объема топочного пространства также применяется горячее дутье.

Схема пластинчатого воздухоподогревателя приводится на рис. 223, где показано, как стальные листы с одной стороны омываются отходящими газами, а с другой — нагреваемым воздухом. При изучении условий теплопередачи через стенку в котле выясняется, что главнейшим, практически единственным термическим сопротивлением является сопротивление при переходе тепла от газа к стенке. В данном случае приходится считаться с двойным таким сопротивлением, поскольку теплоотдача происходит от газовой среды к стенке, а от стенки снова к воздуху. Поэтому коэффициент теплопередачи для воздухоподогревателя оказывается невысоким, сам воздухоподогреватель получает громоздкие размеры.

При установке воздухоподогревателей, как правило, требуются искусственная тяга и дутье.

В отопительных установках до сих пор воздухоподогреватель не находил сколько-нибудь значительного распространения, так как сжигание топлива производилось или на простых решетках, или в шахтных топках, а умеренные форсировки котлов позволяли обходиться естественной тягой.

В настоящее время воздухоподогреватель начинает внедряться и в отопительные установки. Применение его вполне целесообразно при сжигании влажных топлив, в особенности в крупных районных паровых котельных при невысоком давлении пара, когда не удастся сколько-нибудь значительно развить поверхность нагрева водяного экономайзера.

Если в установках отопительно-производственного теплоснабжения воздухоподогреватель в ряде случаев желателен, исключая сжигание антрацита, когда от горячего воздуха будет перегреваться плотно колосниковой решетки, то в установках, снабженных цепными решетками, или при сжигании пылевидного топлива воздухоподогреватель необходим. Современные теплоэлектростанции работают с регенеративным подогревом питательной воды до 120—215°.

В таких условиях водяной экономайзер получает ограниченные размеры, и воздухоподогреватель необходим также как элемент, охлаждающий отходящие газы и понижающий потерю с отходящими газами в котельной установке.

Из основного уравнения теплопередачи  $Q = KH(T - t)$  следует, что на величину поверхности нагрева существенное влияние

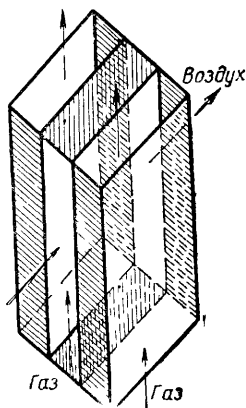


Рис. 223



ление, перпендикулярное трубам, встречает гораздо больше гидравлических сопротивлений, чем газы, а поэтому и скорости его принимают ниже — около  $3 \div 7$  м/сек.

Указанные выше скорости газов и воздуха обеспечивают коэффициент теплопередачи порядка  $15 \div 18$  ккал/м<sup>2</sup>час град. Для

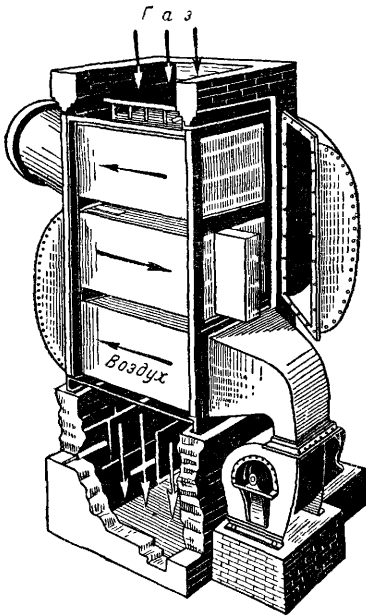


Рис. 225

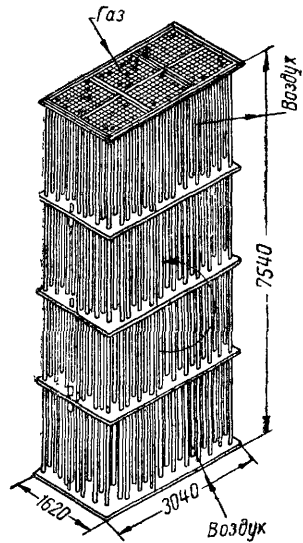


Рис. 226

уменьшения расхода металла следует применять тонкостенные трубы диаметром  $51 \times 48$  или  $40 \times 37$  мм.

Размеры секций трубчатых воздухоподогревателей изменяются в указанных ниже пределах.

Поверхность нагрева $H$ в м <sup>2</sup> . . . . .	185	до 3 100
Число труб . . . . .	326	„ 2 282
Габариты в мм:		
высота . . . . .	3 926	„ 9 010
длина . . . . .	1 006	„ 6 346
ширина . . . . .	2 583	„ 3 656
Вес в т . . . . .	3,8	„ 47,5

В зависимости от паропроизводительности котлоагрегатов воздухоподогреватель составляется из одной или нескольких секций.

На рис. 227 приводится секция воздухоподогревателя Барнальского завода с поверхностью нагрева  $185 \text{ м}^2$ . Между воздухо-

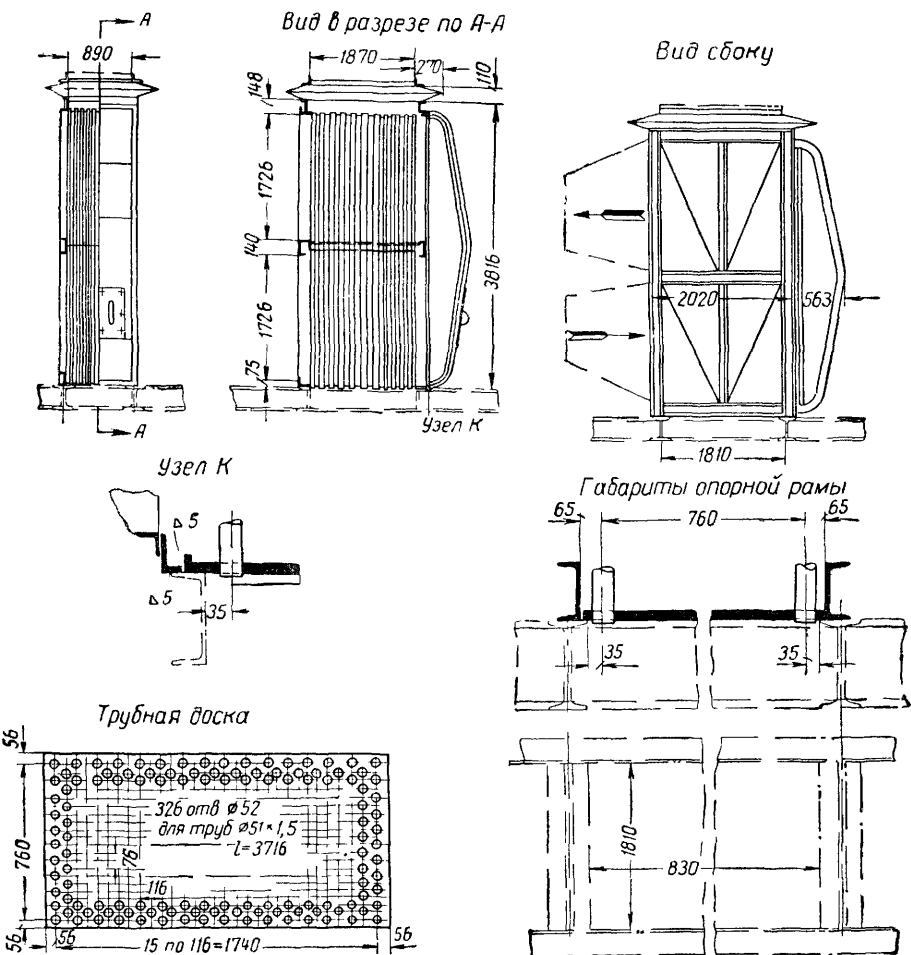


Рис. 227

подогревателем и приемным патрубком газопровода устанавливается линзовый компенсатор для восприятия тепловых удлинений. Весь воздухоподогреватель снаружи покрывается изоляцией.

П-образная компоновка современных котлоагрегатов при сильно развитых хвостовых поверхностях нагрева побуждает предельно уменьшать габариты последних, в особенности это отно-

сится к воздухоподогревателям. В этом отношении заслуживает большого внимания работа ВТИ по усовершенствованию конструкций воздухоподогревателей. Уменьшая диаметр труб воздухоподогревателя до  $40 \times 37$  мм при предельно возможном, по условиям присоединения к трубным доскам, расстоянии между трубами, достигаем до 10 мм, удается получить компактную конструкцию, работающую с высоким коэффициентом теплопере-

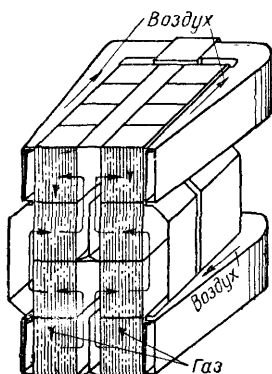
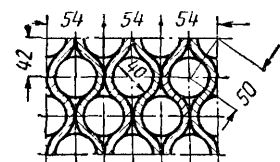


Рис. 228

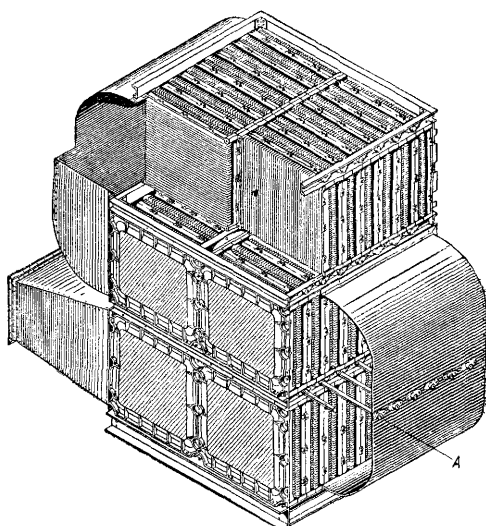


Рис. 229

дачи, так как последний увеличивается при уменьшении диаметра труб.

С целью уменьшения газового сопротивления по воздушному тракту, вызываемого тесным расположением труб, воздух направляется двумя потоками (рис. 228).

В воздухоподогревателе, как и в водяном экономайзере, большое значение имеет температура стенки. При снижении этой температуры ниже точки росы водяных паров, находящихся в отходящих газах, воздухоподогреватель начнет корродировать и быстро выйдет из строя. Наиболее эффективным мероприятием по борьбе с появлением росы следует признать возвращение доли горячего воздуха обратно во всасывающий патрубок вентилятора (рециркуляция) с целью подогрева воздуха, направляющегося в

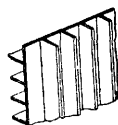


Рис. 230

воздухоподогреватель. С возрастанием температуры воздуха, входящего в воздухоподогреватель, повысится и температура стенки, которая примерно равна средней величине между температурой газов и воздуха, обогревающих данный участок.

Хорошо противостоят коррозионному воздействию влаги отходящих газов чугунные воздухоподогреватели, однако вследствие своей громоздкости и большому весу не получившие большого распространения. На рис. 229 приводится пластинчатый чугунный воздухоподогреватель. Если в водяном экономайзере оребрялась

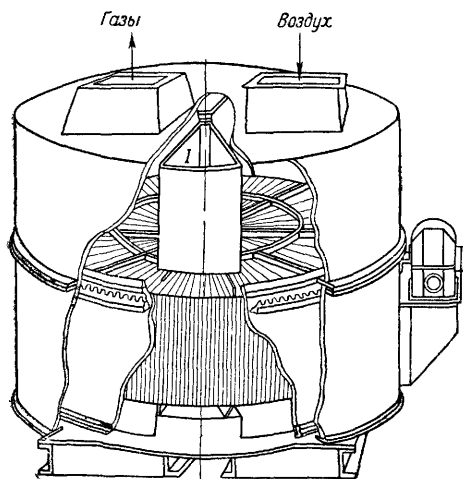


Рис. 231

газовая сторона, так как термическое сопротивление при переходе тепла от стенки к воде весьма незначительно, то в данном случае оребряются обе стороны (рис. 230).

Пластинчатые экономайзеры уже снабжаются стационарными обдувочными приспособлениями (А на рис. 229). Чугунные пластинчатые воздухоподогреватели изготавливаются с размерами каждой плиты  $990 \times 990$  мм при поверхности ее нагрева  $4,8$  м<sup>2</sup>. Поверхности нагрева кубов изменяются в пределах от  $28,8$  до  $124,8$  м<sup>2</sup>. Вес  $1$  м<sup>2</sup> поверх-

ности нагрева —  $35,2$  кг в отличие от трубчатых воздухоподогревателей, где вес понижается примерно в 2 раза.

Наиболее компактным является воздухоподогреватель регенеративного типа (рис. 231), идея которого заключается в следующем: пакет металлических волнистых пластин, сложенных таким образом, что газ может проходить между ними в вертикальном направлении, медленно вращается вокруг вертикальной оси, причем каждая половина пакета поочередно вводится в струю отходящих газов. Здесь пластины нагреваются и затем попадают в струю воздуха, нагревая который, они в свою очередь охлаждаются, чтобы затем снова вступить в область газового потока.

Недостатком регенеративного воздухоподогревателя, пока не получившего значительного распространения, является утечка воздуха в газосток, необходимость обдувки легко загрязняющегося ротора и сложность устройства.

## Глава XII

## ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

## § 79. ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ НА РАБОТУ КОТЛОАГРЕГАТА

Поток газов, движущихся по газоходам котлоагрегата, несет с собой частицы летучей золы. Зола образует на поверхностях нагрева отложения, ухудшающие коэффициент теплопередачи, увеличивает гидравлическое сопротивление газоходов и износ поверхностей нагрева. В составе летучей золы находятся частицы различных размеров. В наибольшей степени образуют отложения мелкие частицы, размеры которых не превышают 30 м. Частицы более крупные, ударно воздействуя на образовавшиеся скопления золы, способствуют их разрушению, но одновременно производят и истирание поверхностей нагрева. Чтобы уменьшить образование золовых отложений в одних пунктах газохода и износ поверхностей нагрева крупными частицами в других, следует избегать нарушений равномерного распределения частиц золы разных размеров в газовом потоке.

Например, при поворотах газов следует устанавливать направляющие лопатки, тем затрудняя вынос под влиянием центробежной силы крупных частиц на внешнюю периферию потока. При наличии чугунных экономайзеров золоуловитель следует устанавливать за экономайзером, считая по ходу газов.

Находящаяся в отходящих газах летучая зола загрязняет окружающий воздух. Поэтому предъявляются требования по очистке газов.

## § 80. БАТАРЕЙНЫЕ ЦИКЛОНЫ

Наиболее распространенным аппаратом, улавливающим пыль из отходящих газов, являются батарейные циклоны.

На рис. 232 показана схема циклона, принцип действия которого заключается в том, что тангенциально к цилиндрическому корпусу подводится с высокой скоростью (порядка 20 м/сек) запыленный газ. Твердая частица золы, двигаясь по инерции прямо, прижимается к корпусу

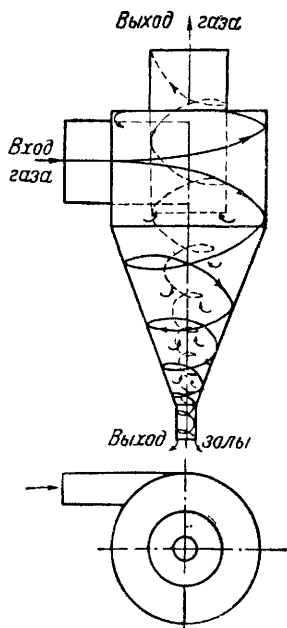


Рис. 232



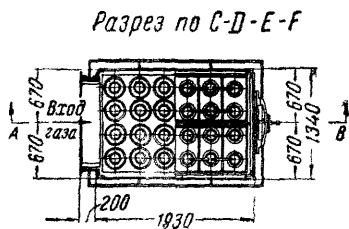
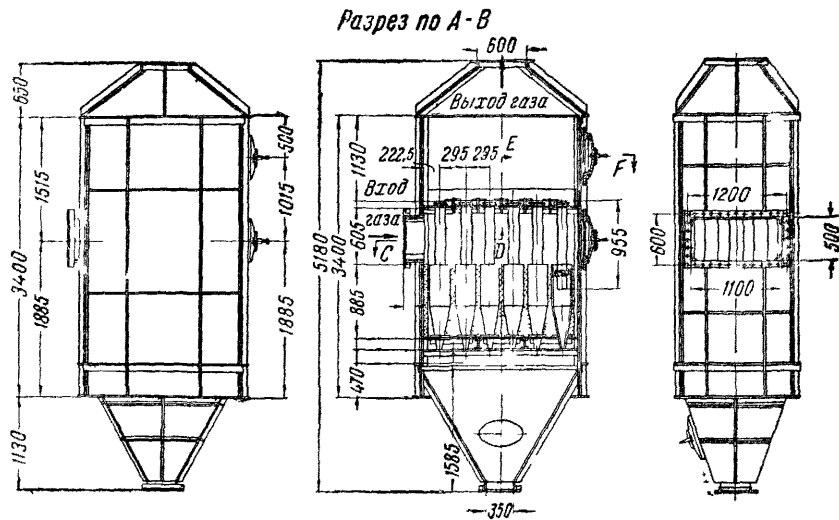


Рис. 233

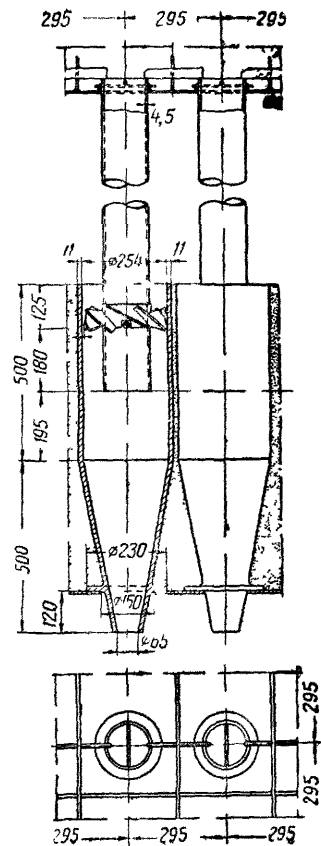


Рис. 234

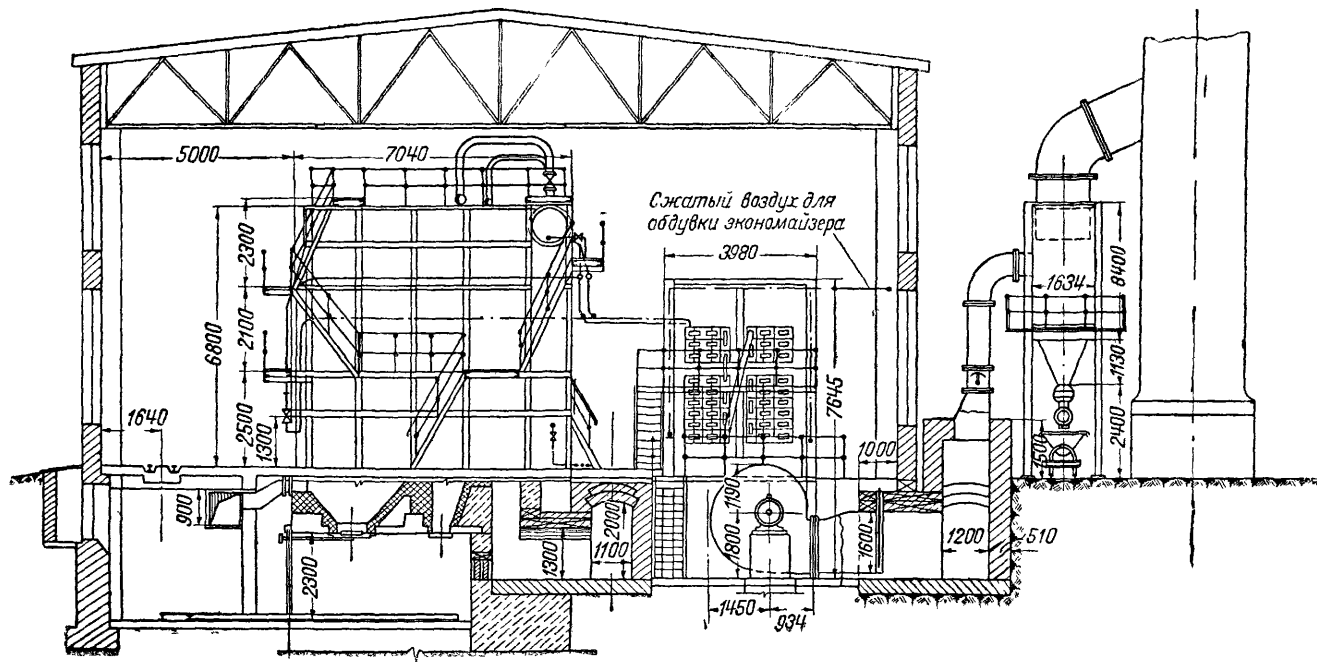


Рис. 235

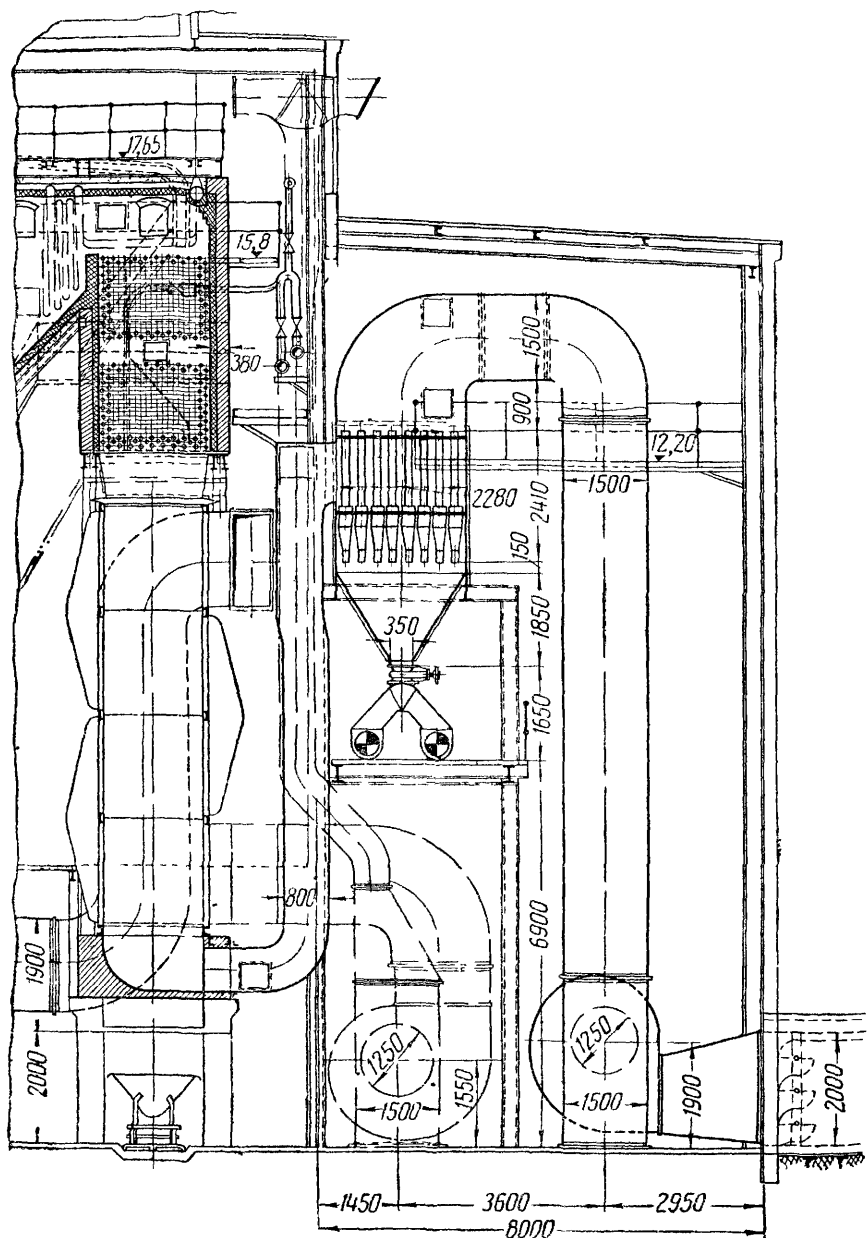


Рис. 236

циклона и вместе с газовым потоком спускается по конической части циклона вниз. От этого спирального вихревого движения образуется пониженное давление в центре циклона, вследствие чего поток газов в нижней части конуса меняет свое направление и идет в центре циклона вверх, направляясь в выходную трубу. Зола будет осаждаться внизу, откуда ее периодически или непрерывно следует удалять, одновременно смачивая водой, чтобы избежать пыления.

Газ к циклону обычно подводится прямоугольным патрубком, и чем уже этот патрубок, тем лучше работает циклон, больше улавливается золы, выше его к. п. д.

Уменьшение ширины щели подводящего патрубка укорачивает путь движения твердой частицы до момента соприкосновения с цилиндрической стенкой, вследствие чего эффективнее получается работа циклона. Уменьшением диаметра цилиндрической части циклона достигается повышение угловой скорости вращения вихревого потока, что также способствует лучшему золоулавливанию. На основании этих соображений и были предложены батарейные золоуловители, при конструировании которых группу мелких циклонов собирают в один общий кожух, и все они работают параллельно (рис. 233).

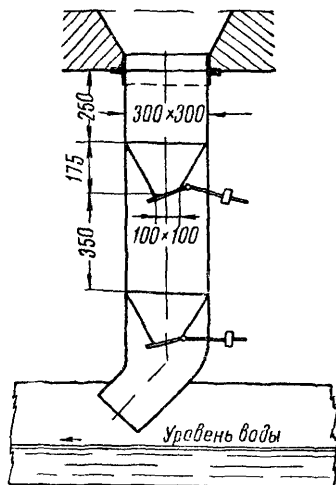


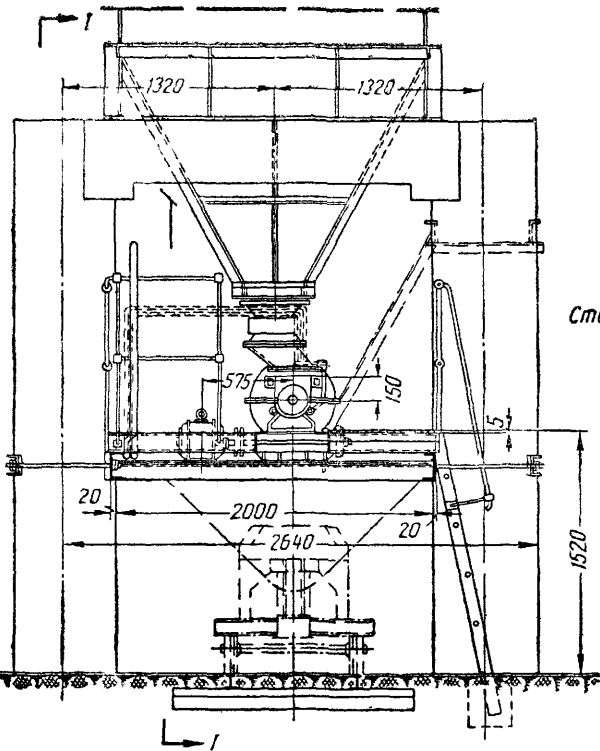
Рис. 237

На рис. 234 приводится чертеж отдельного циклончика, состоящего из центральной трубы и внешнего кожуха с расположенной между ними винтообразной поверхностью для завихривания газов. Изготовление основных элементов конструкций из чугуна позволяет располагать их в потоке газов с повышенными температурами. Батарейные циклоны часто устанавливаются вне котельного здания (рис. 235) или в отдельной пристройке (рис. 236).

На рис. 237 приводится затвор-мигалка, позволяющий непрерывно удалять золу, не нарушая работы установки засасыванием в нее воздуха. Заслонка под действием силы тяжести золы сама поворачивается периодически, сбрасывая золу на такую же заслонку, расположенную снизу.

На рис. 328, а и б приводится конструкция, где зола отводится шнеком при одновременном смачивании ее водой. Недостатком конструкции является большой износ шнека.

а) Разрез по В-В



б) Разрез по I-I

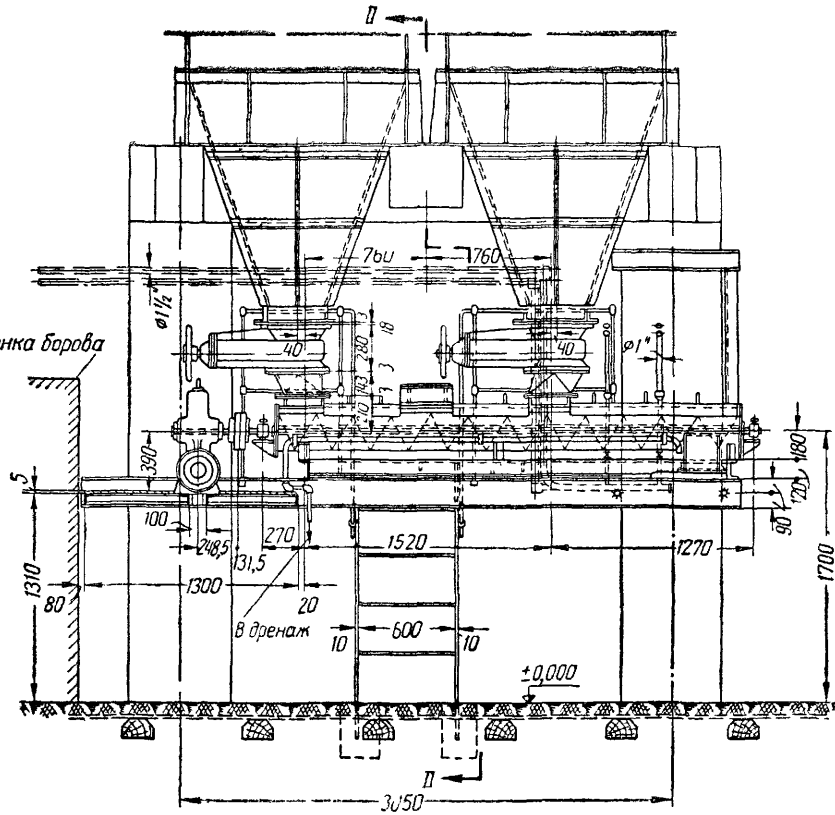


Рис. 238

На рис. 239 показано утепление шнекового устройства в условиях расположения его вне здания с подводом согревающих трубопроводов с целью не допустить смерзания золы, смоченной водой. Газовое сопротивление батарейных циклонов принимается

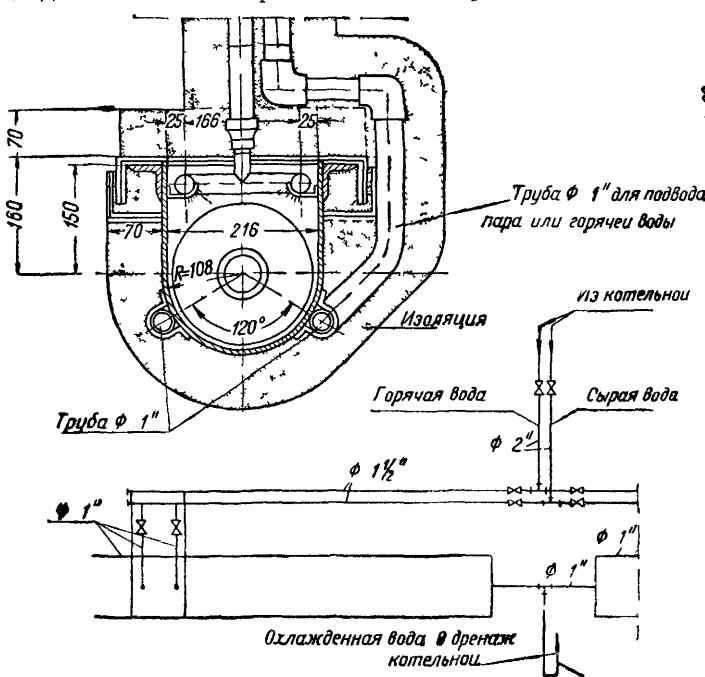


Рис. 239

в пределах 40—50 мм вод. ст., при максимальной нагрузке достигает 60—80 мм вод. ст., обеспечивая к. п. д. порядка 80%.

### § 81. ИНЕРЦИОННЫЕ ЗОЛОУЛОВИТЕЛИ ВТИ

Значительный интерес представляет жалюзийный золоуловитель ВТИ конструкции инж. Н. И. Зверева. Этот золоуловитель компактен и хорошо вписывается в обмуровку котлоагрегата, хотя и имеет пониженный к. п. д. Схема золоуловителя приводится на рис. 240.

Запыленный газ пересекает решетку золоуловителя, значительное количество газа проходит через решетку, вынося с собой мелкодисперсную пыль. Более крупные частицы пыли, ударяясь о решетку, увлекаются потоком газа, отсасываемого через небольшую щель около стенки. Этот поток газа по мере его движения к выходному отверстию все более обогащается частицами золы и

в количестве примерно 10—20%, считая от общего объема газов, направляется в циклон, где и производится его очистка, после чего газ возвращается в последующий за золоуловителем газоход. Ско-

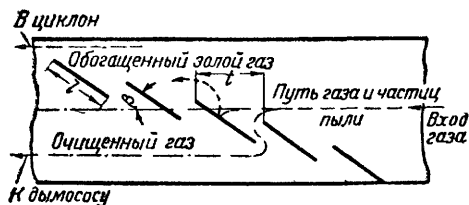


Рис. 240

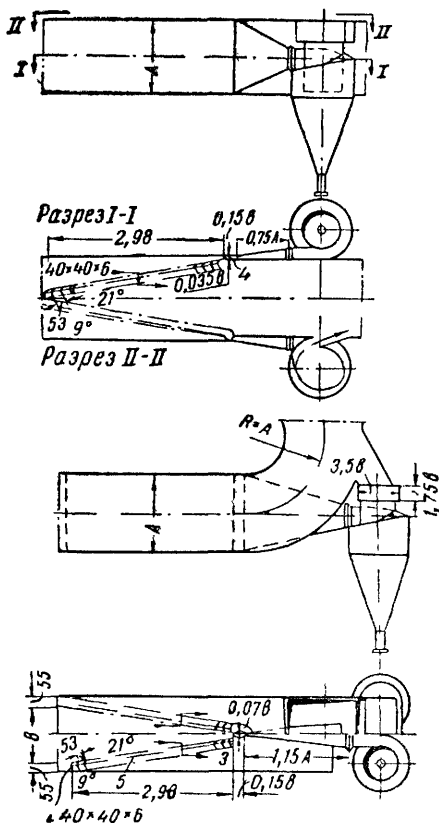


Рис. 241

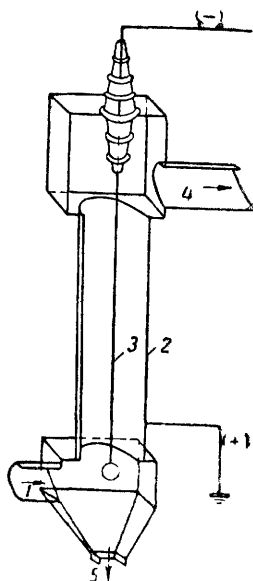


Рис. 242. Схема электрофилтра

1—вход газов; 2—осаждающий электрод; 3—коронирующий электрод; 4—выход газов; 5—удаление осадившейся

рость движения газового потока при подходе к решетке 8 — 15 м/сек, газовое сопротивление золоуловителя порядка 20 — 50 мм вод. ст.

На рис. 241 показаны два варианта установки жалюзийного золоуловителя ВТИ.

На крупных теплоэлектростанциях, в особенности при сжигании пылевидного топлива, когда большая часть золы выносится в газоходы, следует обращать особое внимание на улавливание золы.

На рис. 180 приведена компоновка золоуловителя с водотрубным котлом.

## § 82. ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

Хорошие результаты в отношении обеспыливания отходящих газов достигаются при установке электрофильтров, к. п. д. которых достигает 90%.

Принципиальная схема электрофильтра приводится на рис. 242. Отходящие газы проводят по трубе, в центре которой помещен провод так называемого коронирующего электрода, присоединенного к отрицательному полюсу источника постоянного тока. Сама труба присоединяется к положительному полюсу. Напряжение постоянного тока принимается весьма высоким — до 90 000 в. Отходящие газы, проходя около электродов, пронизываются электрическим полем. Пылинки золы приобретают свойства заряженного тела. Пылинки, заряженные положительно, направляются к коронирующему электроду, заряженные отрицательно, каковых большинство, направляются к поверхности цилиндра. Зола постепенно нарастает слоем на электродах, хотя часть ее и осыпается под действием силы тяжести. Слой золы ухудшает эффективность работы электрофильтра, поэтому последний необходимо систематически встряхивать. Хорошее обеспыливание достигается при пониженных скоростях движущегося газа, доходящих до 1—1,5 м/сек, что вызывает увеличение габаритов всего устройства.

## § 83. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗОЛОУЛОВИТЕЛИ

Особо высокой степени обеспыливания можно достигнуть при комбинации батарейных циклонов с электрофильтрами. Глубокое обеспыливание отходящих газов достигается также при применении мокрых золоуловителей. Элемент золоуловителя ВТИ (рис. 243) состоит из циклона, к которому тангенциально подводятся отходящие газы. В циклоне отсутствует внутренняя труба. После отделения крупных частиц золы газы, поднимаясь вверх, попадают в скруббер, являющийся продолжением циклона.

В скруббере располагаются форсунки, распыливающие воду и создающие водяную пленку на поверхностях скруббера и цик-



лона. Вода с золой (пульпа) сливается в нижнюю часть циклона и далее удаляется. Коэффициент полезного действия этой установки колеблется в пределах 0,92—0,94. Золоуловители этого типа в настоящее время проходят экспериментальную проверку.

Борьба с загрязнением воздуха должна вестись не только в отношении улавливания летучей золы, но и  $SO_2$ .

Разрез по I-I

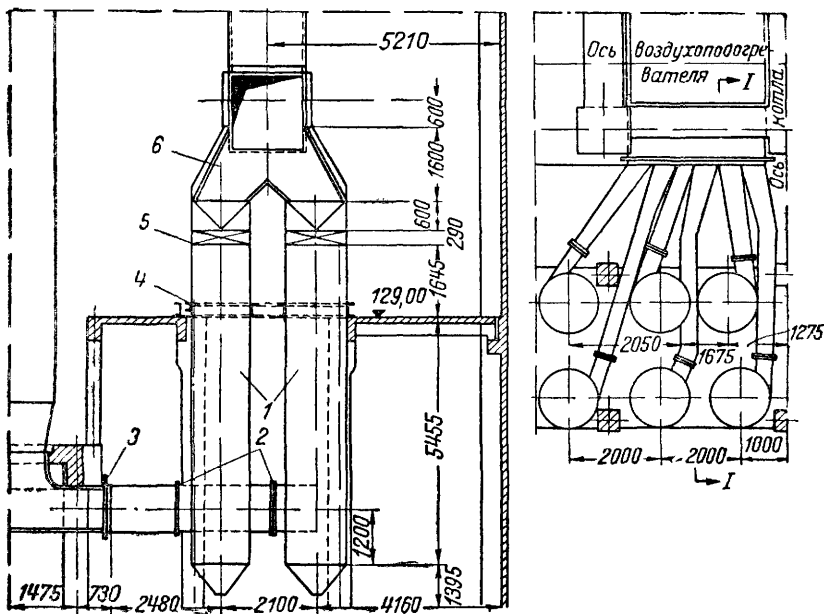


Рис. 243. Золоуловитель ВТИ

1—скруббер; 2—футерованный входной патрубок, 3—компенсатор; 4—место установки форсунок, 5—дрозсель, 6—сборный бор

Отделение  $SO_2$  из отходящих газов при сжигании сернистых топлив достигается путем применения химических реагентов. Однако эти методы находятся еще в стадии изучения и не получили широкого развития.

### Глава XIII

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОТЛОВ

### § 84. МАТЕРИАЛ ДЛЯ КОТЛОВ

Как было указано ранее, паровые котлы с давлением до 0,7 атм и водогрейные с температурой

нагреваемой воды до  $115^{\circ}$  могут изготавливаться из чугуна или стали любых марок. Правила, выпускаемые Государственной инспекцией по котлонадзору Министерства электростанций СССР и обязательные для всех министерств и ведомств, исключают из рассмотрения эти котлы. Однако с целью обеспечения долговечности котлов и безаварийности их работы нужно и в отношении изготовления этой группы котлов выставить какие-то, хотя бы минимальные, требования.

Котлонадзором Министерства коммунального хозяйства РСФСР изданы правила, относящиеся к паровым котлам с давлением до  $0,7 \text{ атн}$  и водогрейным при нагревании воды до  $115^{\circ}$ .

К материалам, расходуемым для изготовления котлов низкого давления, предъявляются следующие требования.

Чугун может применяться не ниже марок СЧ 15-32.

Рабочее давление котла допускается равным половине пробного гидравлического давления, на которое он испытывается при выпуске с завода. Последнее должно находиться в пределах  $6-10 \text{ атн}$  для водогрейных котлов и  $3 \text{ атн}$  — для паровых.

Для изготовления стальных котлов может применяться углеродистая сталь любых марок.

Для частей котла, находящихся в пределах топки, например, для жаровых труб, требуется углеродистая сталь по качеству не ниже марок МСт. 2 и МСт. 3.

Трубы, являющиеся поверхностями нагрева котлов, допускаются только цельнотянутые.

При постановке труб на сварке без применения вальцовки допускаются трубы, сваренные внахлестку.

К выполнению сварочных работ допускаются сварщики, прошедшие испытания и допущенные к ответственным сварочным работам. Расчетный предел прочности металла принимается равным минимальной величине предела прочности для стали принятой марки. Если отсутствуют сведения о марке стали или ее механических свойствах, то расчетный предел прочности на разрыв принимается равным  $32 \text{ кг/мм}^2$ .

Пробное гидравлическое давление для стальных паровых котлов —  $3 \text{ атн}$ , для стальных водогрейных — рабочее давление плюс  $3 \text{ атн}$ , но не менее  $6 \text{ атн}$ .

При изготовлении котла при помощи клепки накладки швов и заклепки должны быть примерно такого же качества, что и основной листовой материал.

Выбирая тот или иной тип шва и зная, какое последний дает ослабление листа, конструктор совершенно точно, базируясь на величинах временного сопротивления на разрыв и задаваясь соответствующим коэффициентом надежности, может рассчитать котел. В дальнейшем плотность выполненных заклепочных соединений проверяется гидравлической пробой.

Несколько сложнее получить гарантии в запасе прочности при изготовлении котлов при помощи сварки. Сварочный шов (рис. 244) в отличие от шва клепаного состоит не только из материала прокатанного (получившего на отрезанных от листов образцах характеристику своего качества), но и из материала литого, причем самое литье производится сварщиком в процессе изготовления шва. Качество этого литого материала сильно зависит от исходного электродного металла (обычно применяется электродуговая сварка), от умения и добросовестности сварщика, от электрооборудования и т. п. Проверить качество, таким образом, наплавленного литого металла весьма затруднительно, так как даже при частичном разрушении шва, вырезая соответствующие пробы, не будет гарантии, что рядом расположенный шов имеет такие же качественные показатели.

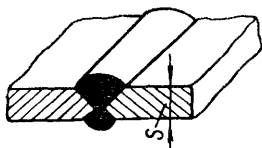


Рис. 244

Получить же высококачественный сварной шов представляет существенный интерес. Конструкция шва по рис. 244 при

качестве литого материала, не выходящем из пределов, допускаемых для основного листового материала, позволяет довести степень ослабления, вносимого швом, до единицы и, таким образом, получить максимальную экономию металла. Стенки барабана при этом будут напряжены одинаково как в пределах шва, так и в целом месте. В котле с клепаными швами толщина стенки берется, исходя из напряжений металла в продольном шве, ослабленном заклепочными отверстиями, и поэтому напряжения в целом месте всегда несколько снижены, вследствие чего перерасходуется материал.

В настоящее время проработаны правила по применению сварки при изготовлении паровых котлов с давлением выше 0,7 атм. Согласно этим правилам электродная проволока и наплавленный металл (то и другое в отдельности) должны быть подвергнуты испытаниям на разрыв и относительное удлинение, а также на ударную вязкость.

Временное сопротивление на разрыв в образцах наплавленного металла должно быть не менее нижнего предела на разрыв для основного металла (свариваемых листов), относительное удлинение — не менее 18%. При испытании на ударную вязкость последняя должна быть не менее 8 кгм/см<sup>2</sup>.

Подобные требования, предъявляемые к сварному шву, позволяют при расчете сварных изделий принимать для стыковых швов типа, показанного на рис. 244, коэффициент ослабления шва равным  $\varphi = 0,95$ .

Высокие качества сварного шва могут быть достигнуты только при правильной организации технологического процесса изготов-

ления сварного котла на заводе с наличием штата высококвалифицированных сварщиков, при пользовании электродами с особой толстой обмазкой, предохраняющей литой металл от вредного воздействия воздуха.

Проверить качество сварного шва в выполненном изделии затруднительно. Наиболее опасным пороком является непровар — пустоты, скрытые внутри шва. Чтобы гарантировать полную надежность шва в таком ответственном сооружении, каким является паровой котел, предусматривается просвечивание части швов при помощи рентгеноаппарата или лучами радиоактивных веществ.

### § 85. РАСЧЕТ КОТЛОВ НА ПРОЧНОСТЬ

В настоящее время даже для котлов, имеющих сравнительно небольшие толщины стенок, при давлениях пара не более 22 *ати* расчет на прочность проводится с учетом степени нагревания стенок и проверяется допускаемое напряжение на растяжение как по пределу прочности, так и по пределу текучести.

В дальнейшем используется методика расчета, разработанная ЦКТИ и изложенная в «Нормах расчета на прочность котельных агрегатов» (Машгиз, 1950), причем даются только основные формулы для расчета: котельных барабанов, сферических днищ, укрепления отверстий, жаровых труб и плоских доннышек в условиях эксплуатации при давлениях пара не более 22 *ати* и при температуре стенок не более 400°.

### § 86. РАСЧЕТ КОТЕЛЬНЫХ БАРАБАНОВ

Расчет распространяется не только на котельные барабаны, но и на другие сосуды цилиндрической формы, подверженные внутреннему давлению. Изготовление предполагается только сваркой.

Определение толщины стенки барабана проводится в следующей последовательности:

- а) выбирается марка углеродистой стали;
- б) определяется рабочая температура стенки барабана и устанавливается величина допускаемого напряжения на растяжение с учетом ослаблений отверстиями для труб;
- в) определяется величина коэффициента прочности в продольном и поперечном направлениях, также с учетом ослаблений отверстиями для труб или сварочным швом.

В табл. 43 приводятся марки углеродистой стали. Применение стали марок МСт. 2 и МСт. 3 допускается только для деталей котлов, работающих при температуре среды не более 120°. При более высоких температурах используется качественная углеро-

дистая сталь марок 15к, 20к и 25к. Для топочных листов допускается сталь 15к и 20к.

Для цельнотянутых кипящих труб берется сталь марок 10 и 20.

Величины запасов прочности при расчете барабанов приведены в табл. 41.

Таблица 41

Расчетные характеристики углеродистой стали  
(база — предел текучести)

Марки стали	Расчетный предел прочности $\sigma_B$ при 20° в кг/мм <sup>2</sup>	Расчетный предел текучести $\sigma_T^t$ в кг/мм <sup>2</sup>							
		20°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500°
10	32	18	16,0	14,5	13,5	11,5	10,0	8,0	6,0
МСт. 2	34	18	—	—	—	—	—	—	—
15к	36	20	17,5	16,0	14,5	12,5	11,0	9,0	7,0
МСт. 3	38	21	18,0	17,0	15,0	13,0	—	—	—
20	40	22	19,0	17,5	15,5	13,5	12,0	10,0	8,0
20к	41								
25к	45	25	21,0	19,0	17,0	15,0	13,0	11,0	9,0

Рабочая температура стенок котельных барабанов, расположенных в топочной камере и изолированных торкретом или защищенных пучком кипящих труб, принимается равной температуре насыщения плюс 10°.

Температура стенок барабанов, воспринимающих излучение топочного факела и не защищенных изоляцией, принимается равной температуре насыщения плюс 100°.

Применение неизолированных барабанов при давлении больше 22 кг/см<sup>2</sup>, а также при толщине стенки более 30 мм не допускается.

При расчете барабанов с температурой стенки до 250° допускаемое напряжение на растяжение ( $R_p$  в кг/мм<sup>2</sup>) принимается на основе прочности стали при  $t \Rightarrow 20^\circ$

$$R_p = \frac{\sigma_B}{n_B}, \quad (178)$$

где  $\sigma_B$  — расчетный предел прочности стали при  $t = 20^\circ$  в кг/мм<sup>2</sup>;  
 $n_B$  — запас прочности по отношению к расчетному пределу прочности при растяжении.

Для барабанов с температурой стенки более 250°, но не более 400°, допускаемое напряжение на растяжение принимается на основе предела текучести стали при рабочей температуре

$$R_p = \frac{\sigma_T^t}{n_T}, \quad (179)$$

где  $\sigma'_T$  — расчетный предел текучести стали при растяжении для рабочей температуры в кг/мм<sup>2</sup>;

$n_T$  — запас прочности по пределу текучести при растяжении.

Величины запасов прочности при расчете барабанов приведены в табл. 42.

Т а б л и ц а 42

Вид барабанов и ослаблений	Величины запаса прочности	
	$n_B$	$n_T$
Барабаны сварные и бесшовные обогреваемые при наличии отверстий и без отверстий . . .	4,5	2,0
Барабаны сварные и бесшовные необогреваемые (вынесенные из газохода или надежно изолированные):		
а) при наличии отверстий с развальцованными в них трубами либо отверстий для лючков . . . . .	4,25	1,9
б) при наличии отверстий, укрепленных при помощи приваренных nipples, либо при отсутствии отверстий . . . . .	4,0	1,8

Коэффициент прочности  $\varphi$  для всех видов стыковых швов с двусторонним проваром, выполняемых автоматической дуговой электросваркой под слоем флюса, а также и вручную, принимается равным 0,95. Для стыковых швов, свариваемых только с одной стороны,  $\varphi = 0,7$  для продольных швов и  $\varphi = 0,8$  — для поперечных. Коэффициент прочности барабана  $\varphi$  в продольном направлении при ослаблении его рядами отверстий для труб одного и того же диаметра в том случае, если отверстия расположены в коридорном порядке при постоянном шаге между отверстиями (рис. 245), принимается равным

$$\varphi = \frac{t-d}{d}. \quad (180)$$

То же для поперечного направления (рис. 246):

$$\varphi_1 = \frac{t_1-d}{t_1}, \quad (181)$$

где  $t_1$  берется по средней окружности барабана.

Приведенный к продольному направлению коэффициент прочности барабана в косом (диагональном) направлении  $\varphi_{пр}$  для общего случая расположения отверстий для труб в шахматном или коридорном порядке с переменным шагом отверстий в продольном и поперечном направлениях и при разных диаметрах отверстий может быть определен по номограмме (рис. 247).

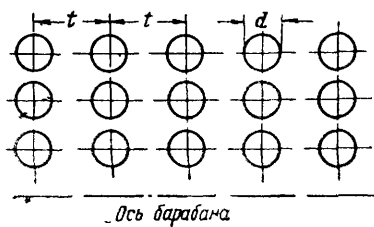


Рис. 245

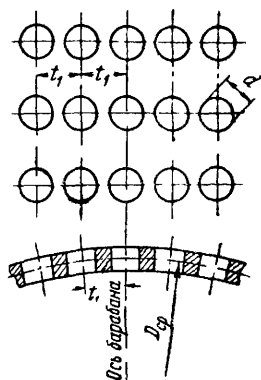


Рис. 246

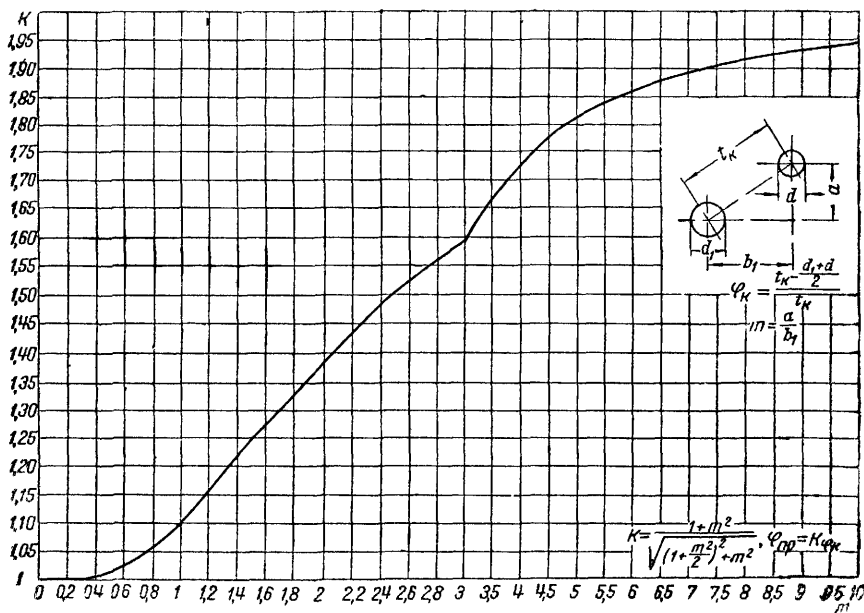


Рис. 247

При коридорном расположении рядов отверстий с чередующимся шагом (шаг имеет два значения) расчетная величина шага принимается равной среднеарифметическому значению из величин этих двух шагов. Указанное относится как к продольному, так и поперечному расположению отверстий.

Коэффициенты  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  и  $\varphi_k$  не рекомендуется принимать меньше 0,3. Сопоставляя полученные значения  $\varphi$  и  $\varphi_{пр}$ , в расчетную формулу толщины стенки подставляется их наименьшая величина.  $R_p$  при температуре стенки до  $250^\circ$  принимается по значению предела прочности  $\frac{\sigma_B}{n_B}$ , а для температур выше  $250$  до  $400^\circ$  — по пределу текучести  $\frac{\sigma_T}{n_T}$ .

После этих предварительных подсчетов толщина стенки барабана может быть подсчитана по формуле для тонкостенных сосудов

$$s = \frac{pD_B}{(230R_p - p)\varphi} + c \text{ мм}, \quad (182)$$

где  $D_B$  — внутренний диаметр барабана в мм;

$p$  — расчетное давление в кг/см<sup>2</sup>; принимается равным рабочему давлению плюс гидростатическое давление столба воды, если последнее больше 2,5% рабочего давления;

$c$  — прибавка к расчетной толщине стенки барабана, равная 1 мм.

Формулой (182) можно пользоваться, когда  $\varphi_1$  равно или больше  $\frac{\varphi}{2}$ . При  $\varphi_1$  меньше  $\frac{\varphi}{2}$  в формулу вместо  $\varphi$  подставляется величина  $2\varphi_1$ .

Чтобы избежать появления недопустимых напряжений в стенках барабанов котлов и других элементов котельной установки

Таблица 43

Наименование элемента котельной установки	Рабочее давление в котле $p$ в <i>ати</i>	Пробное давление в <i>ати</i>
Паровой котел	Свыше 5	1,25 $p$ , но не менее $p + 3$ <i>ати</i>
Паровой котел	5 и ниже	1,5 $p$ , но не менее 2 <i>ати</i>
Пароперегреватель	Независимо от давления	Пробное давление для котла
Отключаемый экономайзер	То же	1,25 $p + 5$ <i>ати</i>



при их гидравлической опрессовке, назначение которой — про-верить плотность соединений, Котлонадзором регламентированы давления, допускаемые при гидравлических испытаниях котлов, приведенные в табл. 43.

### § 87. РАСЧЕТ ДНИЩ

Расчет бесшовных штампованных днищ, подверженных внутреннему давлению. Приводимая ниже методика расчета днищ

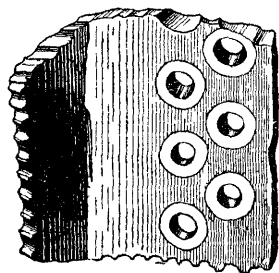


Рис. 248

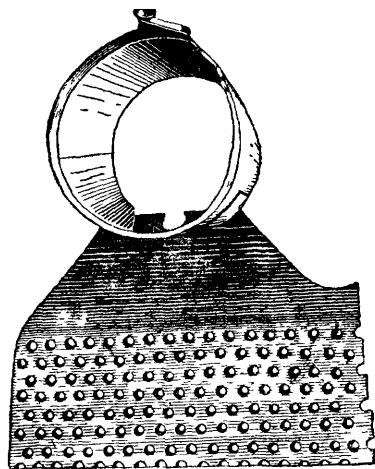


Рис. 249

действительна при условии, что днища в процессе изготовления подвергались надлежащей термической обработке.

Части котельных поверхностей, перенапряженные в момент изготовления, при недостаточно тщательном проведении последующего отжига, будут ненадежны в эксплуатации. В местах, где металл перешел через предел текучести, будет появляться разъедание, может образоваться трещина, и при плохом надзоре не исключается возможность разрыва по этому месту с последующим взрывом и самого котла.

Подобные явления особенно часто наблюдаются в днищах с малым радиусом закругления в местах их отгиба при переходе к цилиндрической части. В этих местах металл сильно деформируется при штамповке и здесь же в периоды работы котла возникают наибольшие напряжения. В итоге в указанных местах часто наблюдается интенсивное разъедание стенки по окружности, кон-

центричной с окружностью барабана, распространяющееся в пределах водяной части барабана (рис. 248). На рис. 249 показан снимок цельнокамерного водотрубного котла после взрыва. Как видно из рисунка, у котла вследствие разъеданий было оторвано днище. Днища современных конструкций изготавливаются по форме

$$r_B \geq \frac{2h^2}{D_H} \text{ и } r_B \geq 0,1D_H;$$

$$p_B \leq D_H; \quad h \geq 0,2D_H.$$

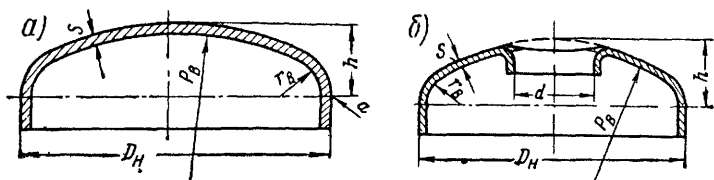


Рис. 250

приближающейся к эллиптической, и должны удовлетворять следующим требованиям (рис. 250, а и б).

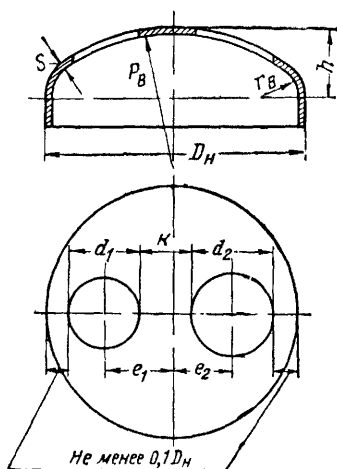


Рис. 251

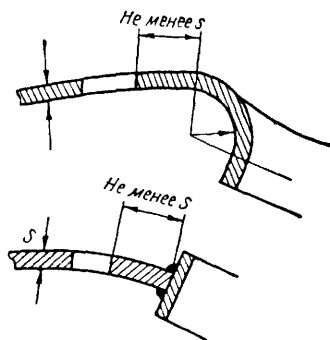


Рис. 252

Отверстие для лаза должно располагаться центрально (рис. 250, б).

Расстояние от края отверстия до края днища и другие указания приведены на рис. 251 и 252.

Толщина стенки днища определяется по формуле:

$$s = \frac{D_n p y}{200R} + c \text{ мм}, \quad (183)$$

где  $D_n$  — наружный диаметр днища в мм;

$p$  — расчетное давление в кг/см<sup>2</sup>;

$R$  — допускаемое напряжение в кг/мм<sup>2</sup>; при температуре стенки до 250°  $R = \frac{\sigma_B}{2,9}$ ; при температуре стенки в

пределах 250 — 400°  $R = \frac{\sigma_T^f}{1,25}$ ; значения  $\sigma_B$  и  $\sigma_T^f$  — см.

в табл. 41;

$c$  — прибавка к расчетной толщине днища, принимается равной 3 мм;

$y$  — фактор формы днища; выбирается по данным табл. 44 или 45.

Толщина цилиндрической части днища должна быть проверена по формулам для расчета котельных барабанов.

Таблица 44

Фактор формы днищ  $y$ 

Отношение высоты днища к его наруж- ному диа- метру $\frac{h}{D_n}$	Глухое днище или днище, рассматри- ваемое как глухое	Днища с лазовыми или иными отверстиями						
		$\frac{e+d}{D_n}$						
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,20	2,00	2,05	2,20	2,40	2,60	2,75	2,90	3,10
0,22	1,65	1,80	2,00	2,15	2,30	2,50	2,70	2,85
0,24	1,40	1,60	1,75	1,95	2,10	2,30	2,50	2,65
0,25	1,30	1,50	1,65	1,85	2,05	2,20	2,40	2,60
0,26	1,25	1,40	1,60	1,75	1,95	2,15	2,30	2,50
0,28	1,10	1,30	1,45	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40
0,30	1,00	1,15	1,35	1,50	1,70	1,90	2,05	2,25
0,40	0,75	0,90	1,05	1,20	1,40	1,60	1,75	1,95
0,50	0,75	0,90	1,05	1,20	1,40	1,60	1,75	1,95

Примечание. Под „глухим“ днищем подразумевается днище, не имеющее вырезов.

Днища с неукрепленными вырезами, наибольший размер которых не больше  $4s$ , при условии, что край выреза отстоит от края днища на расстоянии не менее  $0,2 D_n$  (по проекции), а также днища, имеющие полностью укрепленные вырезы, наибольший размер которых составляет  $8s$  и расстояние от края выреза до края днища больше  $0,2 D_n$ , либо днища, имеющие полностью укрепленные вырезы, наибольший размер которых составляет  $6s$  и расстояние от края выреза до края днища больше  $0,1 D_n$  — могут рассматриваться как глухие.

При наличии нескольких отверстий (рис. 251) фактор формы  $u$  выбирается по табл. 44 и 45 по наибольшей величине отношений  $\frac{e+d}{D_n}$ ,  $\frac{e_1+d_1}{D_n}$  и т. д.

Таблица 45

## Фактор формы днищ у устарелых конструктивных форм

Отношение высоты днища к его наружному диаметру $\frac{h}{D_n}$	Отношение внутреннего радиуса переходной дуги к наружному диаметру $\frac{r_B}{D_n}$	Глухое днище	Днища с центрально расположенным лазовым отверстием	
			при $\frac{d}{D_n} < 0,4$	при $\frac{d}{D_n} > 0,4$
0,19	0,072	2,35	2,65	3,00
0,18	0,065	2,75	2,90	3,30
0,17	0,058	3,20	3,20	3,70
0,16	0,052	3,60	3,60	4,10
0,15	0,045	3,90	3,90	4,50

**Примечание.** При несовпадении величин  $\frac{h}{D_n}$  и  $\frac{r_B}{D_n}$  следует фактор  $u$  выбирать по той величине, которая определяет наибольшее его значение.

При центрально расположенном лазовом или ином отверстии отношение  $\frac{e+d}{D_n}$  принимается равным  $\frac{d}{D_n}$ , где  $d$  — наибольший размер отверстия.

Отштампованные борты лазового отверстия укреплением не считаются.

**Расчет сварных штампованных днищ, подверженных внутреннему давлению.** Швы могут располагаться либо по круговому сечению, либо по меридиональному. В первом случае швы не должны проходить через переходную дугу днища.

Толщина таких днищ определяется по формуле :

$$s = \frac{D_n p \varphi}{200 R_\varphi} + c \text{ мм}, \quad (184)$$

где  $\varphi$  — принимается по указаниям, приведенным ранее, но во всяком случае не больше 0,8.

### § 88. РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЙ

**Расчет неукрепленных и укрепленных отверстий в цилиндрических сосудах, подверженных внутреннему давлению**

а) Расчет диаметра неукрепленного отверстия. Наибольший диаметр или наибольшая ось овала допускае-

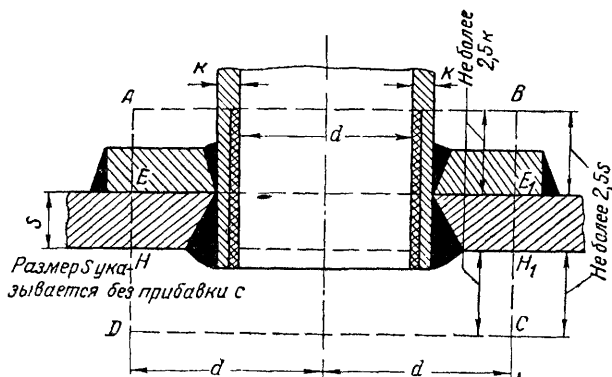


Рис. 253. Укрепление краев отверстий

Штриховкой  $\times$  показана толщина стенки штуцера, необходимая для восприятия внутреннего давления, вместе с прибавкой  $s$ ; косой штриховкой показана толщина стенки штуцера, учитываемая при определении укрепляющего действия штуцера; размер  $АЕ-НД-ВЕ-Н_1С$  при укреплении отверстия при помощи накладок принимается равным  $2,5s$ ; тот же размер при укреплении отверстий при помощи втулок (штуцеров) принимается равным наименьшей из величин:  $2,5s$  и  $2,5k$

мых неукрепленных отверстий могут быть подсчитаны по следующей формуле:

$$d_n = 8,1 \sqrt[3]{D_b s (1 - \psi)} \text{ мм}, \quad (185)$$

где  $D_b$  — внутренний диаметр сосуда в мм;

$s$  — толщина стенки сосуда в мм;

$\psi$  — действительный коэффициент прочности сосуда; определяется по формуле:

$$\psi = \frac{p D_b}{(230 R_p - p) s}, \quad (186)$$

$R_p$  и  $p$  — см. расчет котельного барабана;

величина  $\psi$  не может быть принята больше 0,99.

Независимо от расчетов по формуле (185) наибольший диаметр неукрепленного отверстия должен не выходить из следующих пределов:

$$d_n \leq 0,6D_B \text{ и } d_n \leq 200 \text{ мм.}$$

в) Расчет укрепления отверстий. Укрепление отверстия до равнопрочности с целым листом осуществляется следующим образом.

В качестве укрепляющих элементов допускаются односторонние и двусторонние накладки, а также укрепляющие втулки — совместно с накладками или без них. Толщину односторонней накладки рекомендуется по возможности принимать равной толщине стенки  $s$ . При двусторонних накладках сумма их толщин должна быть больше толщины стенки.

При диаметре отверстия или наибольшего размера овального сечения более 125 мм рекомендуется ставить двусторонние накладки.

В любом диаметральной сечении отверстия площадь металла, вырезанного из стенки сосуда для образования отверстия, должна быть компенсирована металлом, надежно соединенным со стенкой сосуда в пределах  $ABCD$  (рис. 253). Площадь сечения металла в пределах  $ABCD$  с учетом сечения швов должна быть не меньше  $2ds$ , где под величиной  $s$  понимается толщина стенки сосуда за вычетом прибавки  $c$ , а под величиной  $d$  при наличии укрепляющего штуцера — внутренний диаметр последнего, также за вычетом прибавки  $c$ . Определение площади сечения металла в пределах  $ABCD$  показано на рис. 253.

### § 89. РАСЧЕТ ЖАРОВЫХ ТРУБ

Жаровые трубы могут быть бесшовными или сварными. Коэффициент прочности сварного шва не должен быть меньше 0,8. Продольные швы горизонтально расположенных жаровых труб должны находиться в нижней части трубы. Наименьшая толщина стенки жаровой трубы — 7 мм.

Максимальная овальность жаровых труб  $\left( \eta = \frac{D_{B \text{ макс}} - D_{B \text{ мин}}}{D_B} 100 \right)$  не должна быть больше 1% в пределах волнистой части и не больше 0,5% для гладких труб.

Жаровые трубы должны изготавливаться из углеродистой стали марок 15к или 20к.

а) Расчет гладких жаровых труб

Толщина стенки определяется по формуле

$$s = \frac{pD_B}{2400} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{al}{p(l + D_B)}} \right] + 2 \text{ мм,} \quad (187)$$

где  $p$  — расчетное давление в котле в  $кг/см^2$ ;  
 $a$  — коэффициент; принимается равным 75 при горизонтальном расположении труб и 45 — при вертикальном;  
 $l$  — расстояние между жесткими креплениями в поперечном направлении в  $мм$ . Жесткими креплениями, кроме днищ, считаются также конструкции, указанные на рис. 254. Расстояние между соседними жесткими креплениями не должно превышать  $2 D_B$ .

б) Расчет волнистых жаровых труб  
 Толщина стенки определяется по формуле

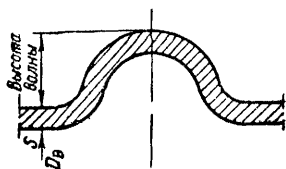
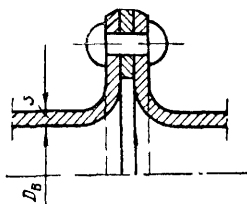


Рис. 254

$$s = \frac{pD_B}{1200} + 2 \text{ мм.} \quad (188)$$

Высота волны должна быть не менее 50  $мм$ . При диаметре труб более 1 100  $мм$  высота волны 75  $мм$ . Шаг волны не должен превышать 200  $мм$ . Длина конечных прямых участков волнистых жаровых труб не должна превышать 200  $мм$ , считая от середины последней волны.

#### Расчет плоских доннышек цилиндрических сосудов

Толщина плоских глухих доннышек или имеющих центрально расположенное отверстие определяется для доннышек по типу, изображенному на рис. 255, по формуле

$$s_1 = 0,05D_B \sqrt{\frac{p}{R}} + 1 \text{ мм,} \quad (189)$$

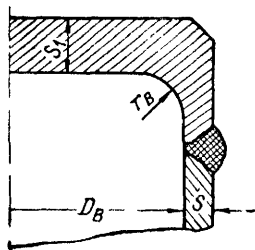


Рис. 255

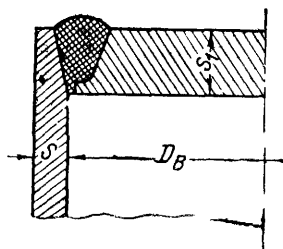


Рис. 256

для доннышек по типу рис. 256 — по формуле

$$s_1 = 0,07D_B \sqrt{\frac{p}{R}} + 1 \text{ мм,} \quad (190)$$

$R$  — допускаемое напряжение в  $кг/мм^2$ ; принимается при температуре до  $250^\circ$  равным  $\frac{\sigma_B}{2,9}$  и для температур в пределах  $250—400^\circ$  — равным  $\frac{\sigma_T}{1,25}$ ;

значения  $\sigma_B$  и  $\sigma_T$  — см. в расчете котельных барабанов.

---



# ТЕПЛОВОЙ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

## Глава XIV

## ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

## § 90. БАЛАНС ТЕПЛА

Приступая к тепловому расчету котельной установки, в первую очередь составляют ее баланс тепла. Род и сорт топлива, а также масштаб проектируемой котельной определяют систему топок; в связи с их выбором намечаются неизбежные потери топки:  $q_3$  и  $q_4$ . Потерей в окружающую среду  $q_5$  также задаются (см. гл. V «Баланс тепла котельной установки» и табл. 26).

Топливо и топки обуславливают и наименьший возможный избыток воздуха в топке  $\alpha_T$  (табл. 25).

**Присос воздуха в газоходах.** В соответствии с системами и размерами котлов и экономайзеров, учитывая предполагаемые форсировки, оценивают присос воздуха в отдельных пунктах по ходу газов.

Обычно при наличии пароперегревателя  $\alpha_K = \alpha_T + 0,15$ , причем принимают

$$\alpha'_{не} = \alpha_T; \quad \alpha''_{не} - \alpha'_{не} = 0,05; \quad \alpha_K - \alpha''_{не} = 0,1.$$

При отсутствии пароперегревателя

$$\alpha_K = \alpha_T + 0,1.$$

Присос будет увеличиваться в последних газоходах, где больше разрежение, поэтому весь присос в котле обычно относят к последним газоходам.

В борове между котлом и экономайзером присос может быть небольшим, но принимается равным нулю только в тех случаях, когда к каждому котлу устанавливается свой экономайзер и они обмуровываются в блоке. В отопительных установках водяной экономайзер часто является групповым — на несколько котлов. В таком случае присос в промежуточном борове происходит не только за счет неплотности кладки или через щели шибера, но воздух главным образом засасывается из газоходов остановленных котлов, проходя через неплотно прикрытые шиберы. Присос

в борове между экономайзером и котлами для таких установок в лучшем случае равняется  $\alpha'_9 - \alpha_k = 0,2$ , что, между прочим, подчеркивает преимущества индивидуального экономайзера, тепловые напоры в котором при одинаковых прочих условиях будут выше по сравнению с групповым.

Наконец, присос в водяном экономайзере при чугунном ребристом экономайзере  $\alpha''_{9a} - \alpha'_9$  доходит до 0,1, для трубчатого воздухоподогревателя  $\alpha''_{вп} - \alpha'_{вп} = 0,05$ .

Избыток воздуха перед дымовой трубой или дымососом оценивается при индивидуальном экономайзере или воздухоподогревателе  $\alpha_{д.тр} = \alpha'_9 + 0,2$ ; при групповом экономайзере  $\alpha_{д.тр} = \alpha'_9$ .

Если увеличивают форсировку работы котельной установки и, следовательно, начинают больше сжигать топлива, то из-за уменьшения прямой отдачи растет температура газов при входе в первый газоход. Процесс горения тогда идет в более благоприятных условиях при повышенных температурах и больших скоростях движения газов через слой топлива. В итоге удается достигнуть полного горения с меньшими избытками воздуха в топке. Увеличенное количество газов, идущих по газоходам с более высокими скоростями, требует усиления тяги и поднятия разрежений в газоходах, вследствие чего присос воздуха растет вместе с форсировкой. Можно считать, что при колебаниях нагрузки  $\pm 25\%$   $\alpha_t$  уменьшается при перегрузке или увеличивается при недогрузке от 0,05 до 0,01.

Для указанных колебаний нагрузки прямую отдачу топки ориентировочно можно оценить, умножая  $\sigma$ , полученную для нормальной нагрузки, на 0,95 при перегрузке и деля ее на 0,95 при недогрузке.

Распределив коэффициенты избытка воздуха по отдельным пунктам котельной установки, далее назначаются топочные потери баланса тепла. Потеря тепла от химической неполноты сгорания оценивается по указаниям, изложенным в гл. V «Баланс тепла котельной установки». Потерю от механической неполноты сгорания  $q_4$  следует принять по данным табл. 26.

После выбора указанных параметров подсчитываются объемы и веса отходящих газов и их теплосодержание при различных температурах. Одновременно определяются значения парциальных давлений сухих трехатомных газов и водяных паров.

Все полученные величины группируются в таблицы по типу табл. 19 и 21. По данным таблицы теплосодержаний строят графики  $I - T$  (рис. 21).

Задавшись температурой отходящих газов в соответствии с указаниями, приведенными при определении потери тепла с уходящими газами, подсчитывают  $q_2$ .

Вычисляя температуру отходящих газов по экономической формуле (130), не следует эту температуру брать ниже  $100^\circ$  при водогрейной установке, так как в противном случае будут сильно возрастать экономайзерные поверхности, а формула не учитывает дополнительных расходов на здание и тягу.

Для паровых установок, чтобы избежать излишних пересчетов, предварительно следует, хотя бы грубо ориентировочно, оценить температуру отходящих газов при наличии водяного экономайзера, когда имеется опасение возможности нагревания воды в экономайзере выше допустимых пределов. С этой целью можно воспользоваться следующими двумя выражениями:

1) для высококалорийных топлив (антрацит, каменные угли)

$$T'_9 - T''_9 \approx 3,0 (t'_9 - t''_9); \quad (191)$$

2) для низкосортных топлив (бурый уголь, дрова, торф)

$$T'_9 - T''_9 \approx 2,3 (t'_9 - t''_9); \quad (192)$$

$T'_9$  при индивидуальном экономайзере равняется  $T_k$ .

Для группового экономайзера температура газов за котлом понижается из-за присоса воздуха. В таком случае  $T'_9$  может быть подсчитана по приближительному уравнению, где игнорируется потеря в окружающую среду сборным боровом, а также приравниваются объемные теплоемкости газов и воздуха.

Приближительно считая

$$V_r \approx V_0 \alpha,$$

можно написать

$$V_0 \alpha_k c T_k + V_0 (\alpha'_9 - \alpha_k) c t_b \approx V_0 \alpha'_9 c T'_9,$$

откуда

$$\alpha_k T_k + (\alpha'_9 - \alpha_k) t_b \approx \alpha'_9 T'_9. \quad (193)$$

Зная  $T_k$  и температуру воздуха в котельной  $t_b$ , подсчитывают  $T'_9$ . Температура газов за котлом определится в результате теплового расчета котельных газоходов. Ориентировочно (после расчета эти цифры уточнятся)  $T_k$  в зависимости от типов паровых котлов может быть принята:

а) для жаротрубных котлов

$$T_k - t_n = 10,08 \frac{D}{H_{k+ne}} - 54,5; \quad (194)$$

б) для горизонтально-водотрубных котлов и вертикально-водотрубных котлов с поперечным обтеканием труб

$$T_k - t_n = 5,0 + 6,65 \frac{D}{H_{k+ne}}. \quad (195)$$

в) для вертикальных котлов системы Шухова

$$T_k = 200 + 12,6 \frac{D}{H_k}, \quad (195')$$

В формулах (194), (195) и (195'):

$D$  кг/час — расход нормального пара в кг/час;

$H_{k+ne}$  — поверхность нагрева котла и пароперегревателя в  $m^2$ ;

$t_n$  — температура насыщения при заданном давлении.

Потеря в окружающую среду оценивается по табл. (27). Ориентировочно, задаваясь  $B$  в кг/час, определяют  $q_5$  в %. После определения к. п. д. установки и нахождения  $B$  корректируется  $q_5$ .

Для определения  $q_5$  крупных котельных агрегатов можно воспользоваться графиком рис. 25. Потеря тепла в шлаках может быть подсчитана при помощи уравнения (134).

Определив, таким образом, все потери баланса тепла котельной установки, используемое тепло находят из уравнений теплового баланса (91), как единственно неизвестную величину. Коэффициент полезного действия котельной установки определяется по уравнению (92), а часовой расход топлива — по уравнению (94).

**Теоретическая температура горения и температура при входе в первый газоход.** Определив условный к. п. д. топки [формула (137)], теоретическую температуру горения подсчитывают по выражению (141). В зависимости от системы котла и топки выясняется отдача тепла излучением (см. главу «Теплопередача в топке»), в итоге определяется температура газов при входе в первый газоход  $T'_1$  далее производится тепловой расчет по газоходам котла, экономайзера и воздухоподогревателя.

## § 91. РАСЧЕТ ГАЗОХОДОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Газоходы парового котла рассчитываются по двум уравнениям: уравнению теплового баланса для данного газохода и уравнению теплопередачи.

Уравнение теплового баланса может быть написано так:

$$Q = \xi B \left[ I' - I'' + 0,31 (\alpha'' - \alpha') V_0 \left( \frac{100 - q_4}{100} \right) t_b \right] \text{ ккал/час}, \quad (196)$$

где  $Q$  — полезное тепло, переданное в газоходе, в ккал/час;

$I'$  и  $I''$  — теплосодержание газов при входе и выходе из газохода в ккал/кг;

$0,31(\alpha'' - \alpha') V_0 \left( \frac{100 - q_4}{100} \right) t_{\text{в}}$  — тепло присосанного воздуха через неплотности обмуровки, определяется из приблизительного соотношения  $V_{\text{г}} \approx \alpha V_0$ ;  
 $\xi$  — коэффициент, учитывающий потерю тепла газоходом в окружающую среду.

Считая, что в топке теряется  $\frac{Q_5}{2}$ , можно написать

$$Q_1 + \frac{Q_5}{2} = Q'_1,$$

или

$$Q_1 = \xi Q'_1. \quad (197)$$

Если сделать допущение, что потеря в окружающую среду каждым газоходом котельной установки прямо пропорциональна его тепловой нагрузке, то равенство (197) можно преобразовать так:

$$Q_1 = \xi(Q'_{1 \text{ перв. газ}} + Q'_{1 \text{ перегр.}} + Q'_{1 \text{ втор. газ}} + Q'_{1 \text{ трет. газ}} + Q'_{1 \text{ экон}} + Q'_{1 \text{ воздухопод.}}) = \xi Q'_{1 \text{ перв. газ}} + \xi Q'_{1 \text{ перегр.}} + \xi Q'_{1 \text{ втор. газ}} + \xi Q'_{1 \text{ трет. газ}} + \xi Q'_{1 \text{ экон}} + \xi Q'_{1 \text{ воздухопод.}}$$

Из равенства (197) определяется множитель, одинаковый для всех газоходов рассчитываемой котельной установки:

$$\xi = \frac{Q_1}{Q'_1} = \frac{Q_1}{Q_1 + \frac{Q_5}{2}} = \frac{1}{1 + \frac{Q_5}{2Q_1}} = \frac{1}{1 + \frac{q_5}{2\eta_{\text{у}}}}, \quad (198)$$

где  $q_5$  — потеря в окружающую среду всей установкой, оцененная при составлении баланса тепла в %;  
 $\eta_{\text{у}}$  — к. п. д. установки в %.

Далее используется уравнение теплопередачи

$$Q = KN\vartheta_{\text{ср}} \text{ ккал/час}, \quad (199)$$

где  $K$  — коэффициент теплопередачи в  $\text{ккал/м}^2 \text{ час град}$ ;

$N$  — поверхность нагрева газохода в  $\text{м}^2$ ;

$\vartheta_{\text{ср}}$  — средний температурный напор, изменение которого по газоходам паровых котлов иллюстрируется графически (рис. 257) и аналитически выражается так:

$$\vartheta_{\text{ср}} = \frac{T' - T''}{\ln \frac{T' - t_{\text{н}}}{T'' - t_{\text{н}}}}. \quad (200)$$

Объединяя уравнения (196) и (199), получаем расчетное уравнение для газоходов парового котла:

$$\begin{aligned} \varepsilon B \left[ I' - I'' + 0,31 (\alpha'' - \alpha') V_0 \left( \frac{100 - q_4}{100} \right) t_b \right] = \\ = KH \frac{T' - T''}{1,1 \frac{T - t_H}{I' - t_H}}. \end{aligned} \quad (201)$$

Температура газов, входящих в газоход, известна; например, для первого газохода она будет равняться  $T'_1$ . Искомой является температура газов по выходе из газохода  $T''_1$ .

Уравнение (201) решают подстановкой, задаваясь  $T''$  и определяя  $I''$  по графику  $I - T$  (рис. 21).

Неизвестным является также  $K$ , способы определения которого излагаются ниже. Необходимо оговориться, что методика определения коэффициентов теплопередачи по газоходам котельной установки принята по ЦКТИ в обработке д-ра техн. наук Т. Х. Маргуловой.

### Определение коэффициента теплопередачи котельных газоходов.

При чистой стенке для испарительных и водоподогревательных поверхностей нагрева коэффициент теплопередачи приравнивается к коэффициенту теплоотдачи от газа к стенке:

$$K \approx \alpha_1 = \alpha_c + \alpha_n.$$

Для расчетов принимается

$$K = \zeta (\alpha_c + \alpha_n) \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.} \quad (202)$$

$\zeta$  учитывает отклонение температуры стенки от температуры насыщения за счет неизбежных незначительных загрязнений поверхности нагрева золой, сажой и накипью, а также неполноту заполнения газохода. Степень заполнения газохода зависит от конструкции котла и расположения газоходов.

ЦКТИ дает следующие значения для  $\zeta$ , приводимые в табл. 46 и 47.

Необходимо отметить, что коэффициенты теплопередачи, определяемые по приводимым в этой главе формулам, будут получаться только при хорошей эксплуатации котельной: при наличии систематической обдувки поверхностей нагрева от золы и сажи и водоподготовки, обеспечивающей безнакипный режим котлоагрегата.

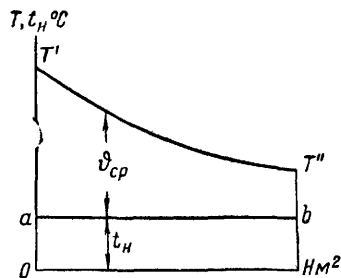


Рис. 257

Таблица 46

Завод-изготовитель и тип котла	Коэффициент $\zeta$		
	первого котельного пучка	пароперегревателя	второго котельного пучка
1	2	3	4
БКЗ Шухова—Берлина (рис. 161) . . . . .	0,85	—	0,90
КРШ (рис. 169) . . . . .	0,65	—	0,75
БКЗ, ДКВ (рис. 173) . . . . .	0,70	0,75	0,75
ТКЗ, СП и МП по типу рис. 178 . . . . .	0,50	0,80	0,75
ТКЗ, СМ по типу рис. 158 . . . . .	0,80	0,80	0,75

Примечание. В случаях сжигания древесного топлива или очищенного газа цифры столбцов 3 и 4 повышаются на 0,1.

Таблица 47

Наименование	Коэффициент $\zeta$ при различных видах топлива			
	угли в слое	торф в слое	дрова или газ	мазут при наличии обдувки
Водяной чугунный экономайзер ЦККБ и ВТИ . . . . .	0,75	0,9	1,0	0,7
Воздухоподогреватель пластинчатый или трубчатый . . . . .	От 0,8 до 1,0			0,7—0,8

Особенно сильно понижает коэффициент теплопередачи образовавшийся на поверхностях нагрева слой золы и сажи. Слой в несколько миллиметров способен понизить коэффициент теплопередачи почти в 2 раза.

Слой накипи меньше влияет на понижение коэффициента теплопередачи, так как коэффициент теплопроводности для накипи меняется в пределах 0,2—2,0, для сажи с золой 0,06—0,2 ккал/м час град. Однако уже малый слой накипи, отложившейся на поверхностях нагрева, воспринимающих излучение топки, может вызвать перегрев стенки и аварию.

**Коэффициент теплоотдачи соприкосновением от газов к стенке.** Передача тепла соприкосновением без учета излучения от газа к стенке выражается равенством

$$Q = \alpha_c H (T - t_{ст}) \text{ ккал/час.} \quad (203)$$

Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке  $\alpha_c$  является величиной весьма сложной, зависящей от ряда факторов, в том числе от весовой скорости ( $w \gamma$ ) и диаметра трубы  $d$ .

На основании многочисленных лабораторных исследований для определения коэффициента теплоотдачи предложен ряд формул, учитывающих характер омывания труб газовым потоком.

а) При поперечном омывании труб коэффициент теплоотдачи соприкосновением определяется по формуле

$$\alpha_c = 110 \frac{\lambda_r}{d} \left[ \frac{(\omega\gamma)_r d}{30000\eta_r} \right]^n c_s c_{z_r} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.} \quad (204)$$

$\alpha_c$  увеличивается с возрастанием весовой скорости газов  $(\omega\gamma)_r$  и с уменьшением диаметра труб  $d$ , так как степень  $n$  меньше единицы.

В приведенной формуле коэффициент

$$\eta_r = \mu g,$$

где  $\mu$  — динамическая вязкость;

$g$  — ускорение силы тяжести;

$\lambda_r$  — коэффициент теплопроводности газов;

$(\omega\gamma)_r$  — весовая скорость газов — определяется следующим образом:

$$(\omega\gamma)_r = \frac{BG_{cp}}{3600\Omega_r} \text{ кг/м}^2 \text{ сек.} \quad (205)$$

Определение веса газа  $G$  в кг/кг в отдельных пунктах котлоагрегата приведено в табл. 19. Среднее значение определяется по формуле

$$G_{cp} = \frac{G' + G''}{2} \text{ кг/кг,} \quad (206)$$

$\Omega_r$  — живое сечение газохода в  $\text{м}^2$ ; определяется: при поперечном омывании (в узком сечении)

$$\Omega_r = ab - ndl \text{ м}^2; \quad (207)$$

при продольном омывании

$$\Omega_r = ab - \frac{n\pi d^2}{4} \text{ м}^2; \quad (208)$$

при движении газов внутри труб

$$\Omega_r = \frac{n\pi d_{вн}^2}{4} \text{ м}^2. \quad (209)$$

Принятые обозначения:

$a$  — ширина газохода в  $\text{м}$ ;

$b$  — высота газохода в  $\text{м}$ ;

$n$  — число труб, преграждающих сечение газохода в одном ряду при поперечном потоке, и общее число труб в газоходе при продольном потоке;

$d$  — наружный диаметр трубы в  $\text{м}$ ;

$d_{вн}$  — внутренний диаметр трубы в  $\text{м}$ .



С целью ускорения расчетов вместо формулы (204) предлагается следующая:

$$\alpha_c = \alpha'_c c_d c_s c_{z_r} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град}, \quad (210)$$

где  $\alpha'_c$  определяется по номограмме (рис. 258) без учета поправок на диаметр труб  $c_d$ , число рядов труб  $c_{z_r}$  и их расположение  $c_s$ .

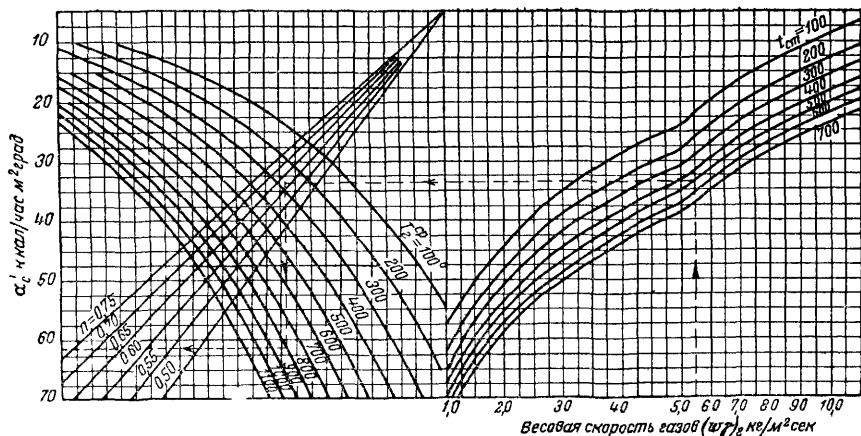


Рис. 258

Для нахождения  $\alpha'_c$  требуется знать, кроме весовой скорости  $(\omega\gamma)_r$ , температуру стенки, которая принимается равной температуре насыщения  $t_{ст} = t_n$ , среднюю температуру газов в рассматриваемом газоходе, равную  $\frac{T' + T''}{2} = T_r$  град, и наконец, показатель степени  $n$ .

Зная шаг труб в ряду по ширине  $S_1$  мм и шаг труб в глубину  $S_2$  мм, при наружном диаметре труб  $d$  мм по графику (рис. 259) можно определить показатель степени  $n$  при коридорном (рис. 259, а) или шахматном (рис. 259, б) расположении труб.

После определения  $\alpha'_c$  вычисляются поправки:

1) поправка на диаметр трубы  $c_d$  определяется по графику (рис. 260);

2) поправка на расположение труб  $c_s$  при шахматном расположении поправка находится по графику рис. 261; для коридорного расположения труб  $c_s = 1$ ;

3) поправка на число рядов труб в газоходе  $c_{z_r}$  определяется по графику рис. 262.

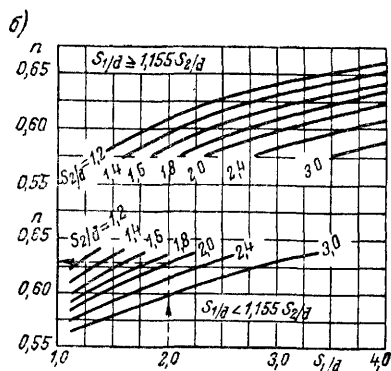
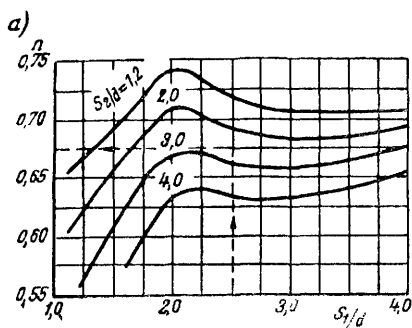


Рис. 259

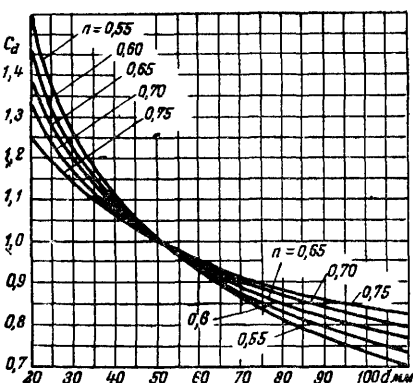


Рис. 260

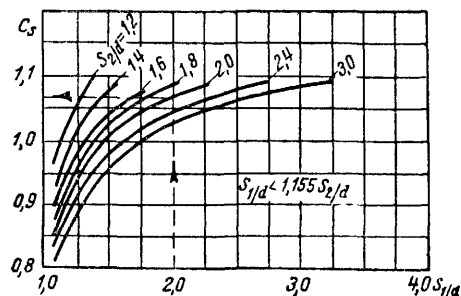
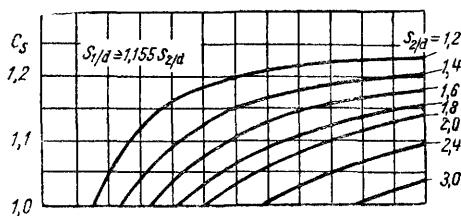


Рис. 261

Внося все поправки в формулу (210), находят коэффициент теплоотдачи соприкосновением при поперечном обтекании труб  $\alpha_c$ .

б) При продольном омывании труб коэффициент теплоотдачи соприкосновением определяется из уравнения

$$\alpha_c = \frac{100\lambda_\Gamma}{d} \left[ \frac{(\omega\gamma)_\Gamma d}{30000\tau_\Gamma} \right]^{0.8} Pr^{0.35} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град}, \quad (211)$$

причем при прохождении газов внутри труб вместо  $d$  принимается  $d_{\text{вн}}$  м. Если газы проходят вне труб, то берется внешний

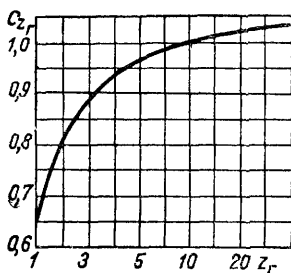


Рис. 262

диаметр  $d$  м. Для газоходов жаротрубных котлов вместо  $d$  подставляется эквивалентный диаметр [см. формулу (252) с заменой  $Y$  периметром теплообмена].

Для ускорения подсчетов уравнение (211) преобразовывается в следующее:

$$\alpha_c = A_r \frac{(\omega \gamma d)_r^{0,8}}{d} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.} \quad (212)$$

Параметр  $A_r$  может быть взят по табл. 48.

Таблица 48

Параметр  $A_r = 0,0263 \lambda_r \eta_r^{-0,8} Pr_r^{0,35}$  в зависимости от температуры газов (для продуктов горения среднего состава)

$T_r$ в град.	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100	1 200
$A_r$	3,23	3,56	3,85	4,16	4,44	4,69	4,90	5,11	5,28	5,45	5,62	5,79	5,92

Зная значение  $\omega \gamma d$ , можно определить множитель  $(\omega \gamma d)_r^{0,8}$  по графику рис. 263 и далее подсчитать  $\alpha_c$ .

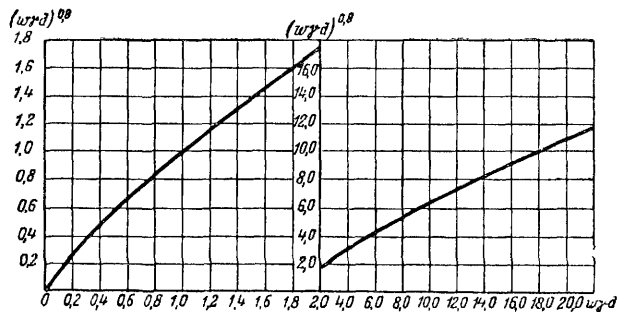
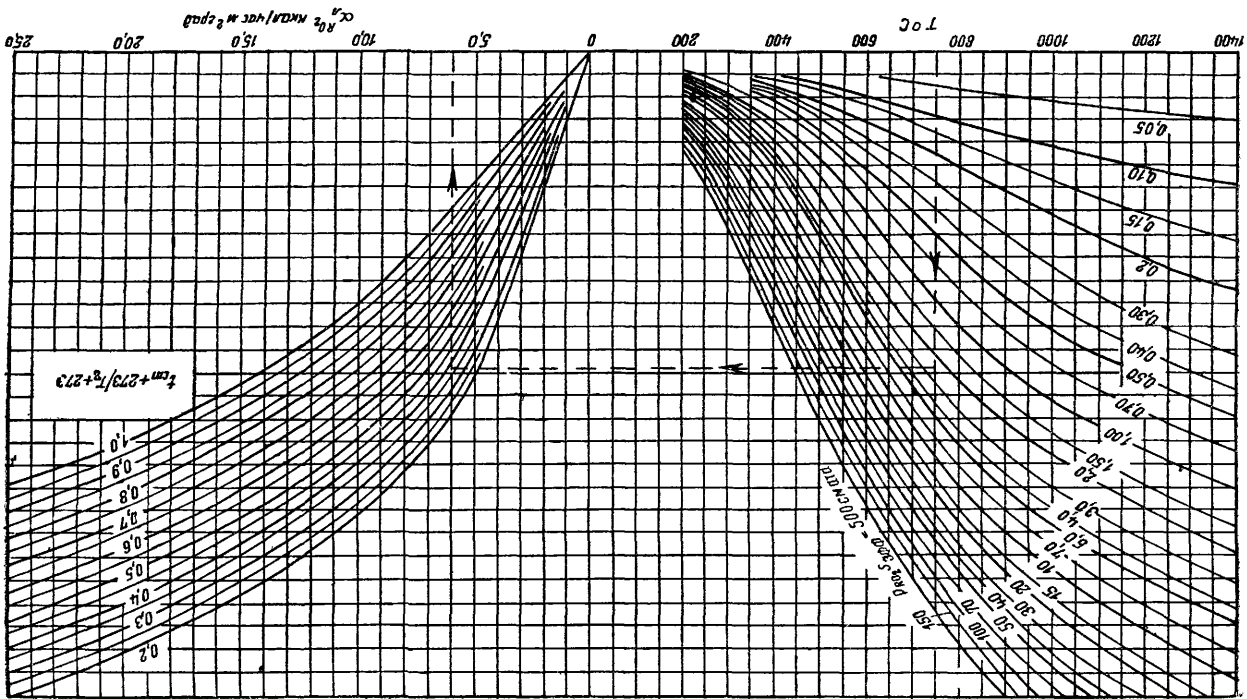


Рис. 263

Если газоход имеет такую конструкцию, что часть его поверхности нагрева омывается при поперечном потоке, а в остальной части имеется продольный поток, то коэффициент теплоотдачи соприкосновением при смешанном потоке  $\alpha_c^{см}$  может быть подсчитан так:

$$\alpha_c^{см} = \frac{\alpha_c^{поп} H_{поп} + \alpha_c^{пр} H_{пр}}{H_{поп} + H_{пр}} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.} \quad (213)$$

FIG. 264



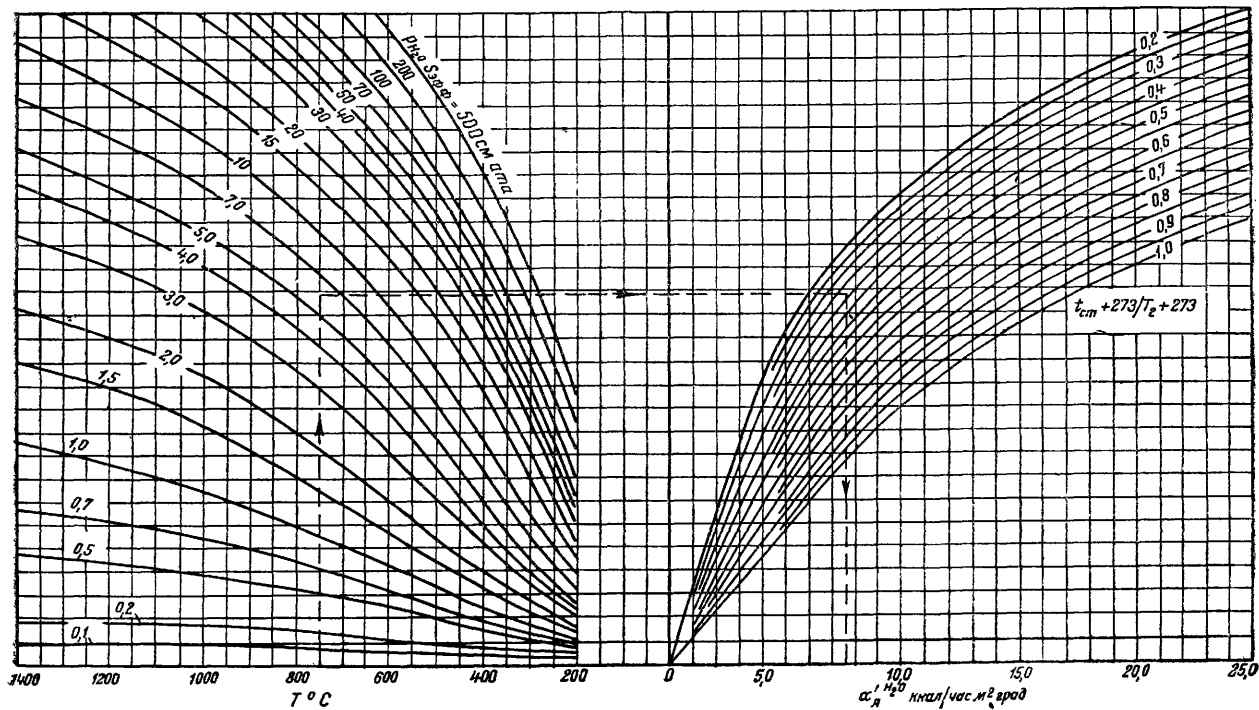


Рис. 265

**Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием от газов к стенке.**

Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием повышается с увеличением процентного содержания трехатомных газов  $RO_2$  и  $H_2O$  в составе газов, омывающих газоход, и с увеличением толщины излучающего слоя газов:

$$\alpha_n = \alpha_n^{RO_2} + \alpha_n^{H_2O}. \quad (214)$$

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется с учетом толщины газового слоя, которая для междутрубного пространства подсчитывается путем нахождения так называемой эффективной толщины  $S_{эф}$

$$S_{эф} = 1,08d \left( \frac{S_1}{d} \cdot \frac{S_2}{d} - 0,785 \right) \text{ см}, \quad (215)$$

где  $S_1$  — шаг труб в продольном направлении в см;

$S_2$  — шаг труб в глубину в см;

$d$  — внешний диаметр труб в см.

Далее, пользуясь данными таблицы, составленной по типу табл. 19, подсчитываются произведения  $p_{RO_2} S_{эф}$  и  $p_{H_2O} S_{эф}$  в см, ата, причем  $p_{RO_2}$  и  $p_{H_2O}$  принимаются как среднеарифметические для рассматриваемого газохода.

Зная температуру стенки, принимаемую  $t_{ст} = t_n$ , и среднюю температуру газов  $T_{г^{cp}} = \frac{T' + T''}{2}$  и определяют отношение абсолютных температур:

$$\frac{t_{ст} + 273}{T_{г^{cp}} + 273}. \quad (216)$$

Пользуясь полученными параметрами, определяют  $\alpha_n^{RO_2}$  по номограмме рис. 264. Соответственно по номограмме рис. 265 выясняют  $\alpha_n^{H_2O}$  без поправки на парциальное давление водяных паров. Поправочный коэффициент  $\xi_n$  находят по графику рис. 266, после чего коэффициент теплоотдачи излучением водяных паров находится из выражения

$$\alpha_n^{H_2O} = \xi_n \alpha_n'^{H_2O} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.} \quad (217)$$

Зная теперь  $\alpha_c$  и  $\alpha_n = \alpha_n^{RO_2} + \alpha_n^{H_2O}$  находят суммарный коэффициент теплопередачи рассматриваемого газохода и, оценивая степень заполнения газохода, пользуясь материалом табл. 46, — расчетный коэффициент теплопередачи:

$$K = (\alpha_n + \alpha_c) \zeta \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.} \quad (218)$$

Если рассчитывается первый газоход котла, то надо учесть, что частью поверхности нагрева уже было воспринято излучение

топки, и эту поверхность надо исключить из поверхности первого газохода при подсчете тепла, переданного излучением. В таком случае  $\alpha_1$  уменьшается в отношении поверхности, воспринимающей лучеиспускание в первом газоходе ( $H_{1(k)} - H_{p(k)}$ ), ко всей поверхности первого газохода ( $H_{1(k)}$ ) и получает новое выражение:

$$\alpha_{л}^{\text{пер. газ}} = \alpha_{л} \frac{H_{1(k)} - H_{p(k)}}{H_{1(k)}} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.} \quad (219)$$

Пользуясь указанной методикой, определяют коэффициент теплопередачи для газоходов паровых котлов. Надо только отметить, что при расчетах не учитывается дополнительное излучение обмуровки котла.

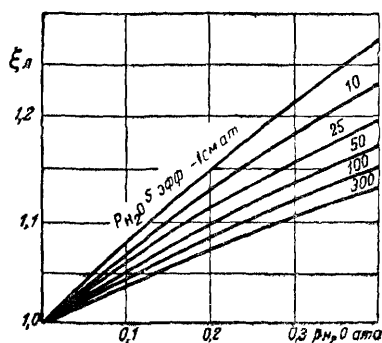


Рис. 266

Для крупных котлов теплоэлектростанций при широких газоходах это излучение должно сказываться весьма незначительно, но у мелких отопительных котлов оно уже будет оказывать большое влияние. Для примера можно отметить исследования теплопередачи в боковых газоходах жаротрубного котла, произведенные проф. К. В. Киршем. Для коэффициента теплопередачи боковых газоходов жаро-

трубных котлов проф. Кирш дает такую формулу:

$$K = 0,067 T_{ср} - 3 \text{ ккал/м}^2 \text{ час град,} \quad (220)$$

где  $T_{ср} = \frac{T' + T''}{2}$  — средняя температура газов в газоходе, равная град.

Подсчеты, производимые по формулам, не учитывающим излучение обмуровки, дают в данном случае сильно заниженные значения для  $K$ . При определении газового излучения, учитывая форму боковых газоходов жаротрубных котлов, эффективную толщину газового слоя определяют по формуле

$$S_{эф} = \frac{4V}{F}, \quad (221)$$

где  $V$  — объем сечения газохода в  $\text{м}^3$ ;  
 $F$  — площадь сечения газохода в  $\text{м}^2$ .

Аналогично может быть подсчитана передача тепла излучением от газов, находящихся в коридорах между отдельными поверхностями нагрева.

## § 92. РАСЧЕТ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ

В отличие от расчета газоходов парового котла, где температура нагреваемой среды не изменяется и равна температуре насыщения, в пароперегревателе изменяется температура перегреваемого пара. Таким образом, в системе уравнений, по которым производится расчет пароперегревателя, появляется еще одна неизвестная величина — поверхность нагрева пароперегревателя, обеспечивающая требуемый перегрев, или при известной поверхности — температура пара на выходе.

Тепловой расчет пароперегревателя производится по следующим трем уравнениям.

а) Уравнение теплового баланса для газохода пароперегревателя, аналогичное уравнению (196):

$$Q_{\text{пе}} = \xi B \left[ I'_{\text{пе}} - I''_{\text{пе}} + 0,31 (\alpha''_{\text{пе}} - \alpha'_{\text{пе}}) V_0 \times \right. \\ \left. \times \left( \frac{100 - q_4}{100} \right) t_b \right] \text{ ккал/час.} \quad (222)$$

б) Уравнение, связывающее количество переданного тепла с расходом пара и его теплосодержанием:

$$Q_{\text{пе}} = D \Delta i_{\text{пе}} \text{ ккал/час,} \quad (223)$$

где  $D$  — часовой расход пара в  $\text{кг/час}$ ;

$\Delta i_{\text{пе}}$  — теплосодержание, переданное пару в пароперегревателе, в  $\text{ккал/кг}$ .

В разделе баланса тепла котельной установки для  $\Delta i_{\text{пе}}$  приводилось выражение (97), из которого можно выделить

$$\Delta i_{\text{пе}} = (1 - x)r + c_{\text{пе}} (t_{\text{пе}} - t_{\text{н}}). \quad (224)$$

Влагосодержание насыщенного пара зависит от водного режима, конструкции котла и его сепарирующих устройств. Для стационарных котлов влагосодержание должно приближаться к нулю, так как с водой заносятся в пароперегреватель соли жесткости и при высоком перегреве пара могут перегореть трубки пароперегревателя; кроме того, очень опасен вынос капелек воды в паровую турбину. В отопительно-производственных котельных при наличии в них пароперегревателя влажность пара не должна превышать 0,5%. Однако в практических условиях она иногда доходит до 1,0% и более. Влажность пара вредна и ее надо снижать должным развитием парового объема и правильным размещением сепарирующих устройств. Для отопительно-производственных котельных предельное весовое напряжение парового объема  $\frac{D}{V}$   $\text{кг/м}^3 \text{ час}$  не должно превышать 2000  $\text{кг/м}^3 \text{ час}$  при



1 ати, 8 000 кг/м<sup>3</sup> час при 8 ати и 12 000 кг/м<sup>3</sup> час при 13 ати, а при давлениях порядка 40 ати — 20 000 кг/м<sup>3</sup> час.

в) Уравнение теплопередачи для пароперегревателя:

$$Q_{пе} = K_{пе} H_{пе} \vartheta_{ср}. \quad (225)$$

Изменение температурного напора по пароперегревателю дано на рис. 267 и 268.

Аналитически средняя разность температур подсчитывается по выражению

$$\vartheta_{ср} = \frac{\vartheta' - \vartheta''}{\ln \frac{\vartheta'}{\vartheta''}}. \quad (226)$$

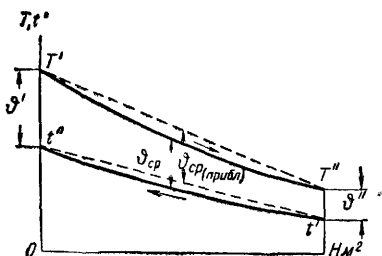


Рис. 267

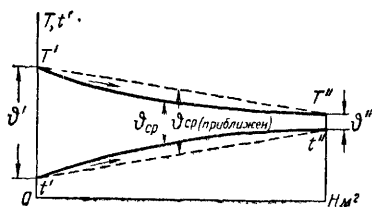


Рис. 268

При вычислении  $\vartheta'$  обозначает наибольшую разность между  $T$  и  $t$ , а  $\vartheta''$  — наименьшую; неизвестными при решении этих трех уравнений являются:  $\vartheta_{ср}$ ,  $T''_{пе}$  и  $H_{пе}$ .

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$  вычисляется аналогично, как и для газоходов паровых котлов, только средняя температура стенки подсчитывается по формуле

$$t_{ст} = \frac{t_n + t_{пе}}{2} + 25^\circ. \quad (227)$$

При расчете пароперегревателя нельзя пренебрегать значением  $\alpha_2$  — коэффициентом теплоотдачи от стенки к пару.  $\alpha_2$  определяется по уравнению

$$\alpha_2 = 100 \frac{\lambda_{пе}}{d_{вн}} \left[ \frac{(w\gamma)_{пе} d_{вн}}{40\,000 \gamma_{пе}} \right]^{0,8} R\Gamma_{пе}^{0,45} \text{ ккал, м}^2 \text{ час град}. \quad (228)$$

После преобразований с целью ускорения расчетов пользуются выражением:

$$\alpha_2 = A_{пе} \frac{(w\gamma d_{вн})_{пе}^{0,8}}{d_{вн}} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град}, \quad (229)$$

где параметр

$$A_{\text{пе}} = 0,0209 \frac{\lambda_{\text{пе}}}{\gamma_{\text{пе}}^{0,8}} P_{\text{пе}}^{0,45} \quad (230)$$

берется по табл. 49.

Таблица 49

Значения параметра  $A_{\text{пе}}$  в зависимости от температуры и давления перегретого пара

$t_{\text{пе}}$ в град.	Давление пара $p_{\text{пе}}$ в кг/см <sup>2</sup> (абс.)	
	1,0	20
100	3,73	—
200	4,00	—
250	4,15	4,80
300	4,32	4,71
350	4,50	4,79
400	4,68	4,88

Величина  $(\omega \gamma d_{\text{вн}})^{0,8}$  находится по графику рис. 263; величина  $\omega \gamma$  — по уравнению, аналогичному (205), путем замены  $BG$  на  $D$ . Определив  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , находят  $K$  по формуле

$$K = \zeta \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \zeta \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (231)$$

Значение  $\zeta$  берется из табл. 46.

### § 93. РАСЧЕТ ВОДЯНЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ

Аналогично с пароперегревателем экономайзер также рассчитывается по трем уравнениям:

а)

$$Q_3 = \xi B \left[ I'_3 - I''_3 + 0,31 (\alpha''_3 - \alpha'_3) V_0 \left( \frac{100 - q_4}{100} \right) t_b \right] \text{ ккал/час.} \quad (232)$$

б)

$$Q_3 = D \Delta i_3 \text{ ккал/час,} \quad (233)$$

где  $\Delta i_3$  может быть принято как разность температур  $t''_3 - t'_3$ .

в)

$$Q_3 = K_3 H_3 \vartheta_{\text{ср}} \text{ ккал/час.} \quad (234)$$

Когда водяной экономайзер является последним, считая по ходу газов, элементом котельной установки, то искомыми величинами будут  $Q_3$ ;  $H_3$  и  $t'_3$ .

Температурный напор определяется по формуле (226). Если в этой формуле  $\frac{\vartheta'}{\vartheta''} \leq 1,5$ , то средняя разность температур может быть принята как средняя арифметическая:

$$\vartheta_{\text{ср}} \approx \frac{\vartheta' + \vartheta''}{2} = \frac{T'_3 + T''_3}{2} - \frac{t'_3 + t''_3}{2}. \quad (235)$$

Коэффициент теплопередачи гладкотрубного водяного экономайзера из-за незначительности остальных термических сопротив-

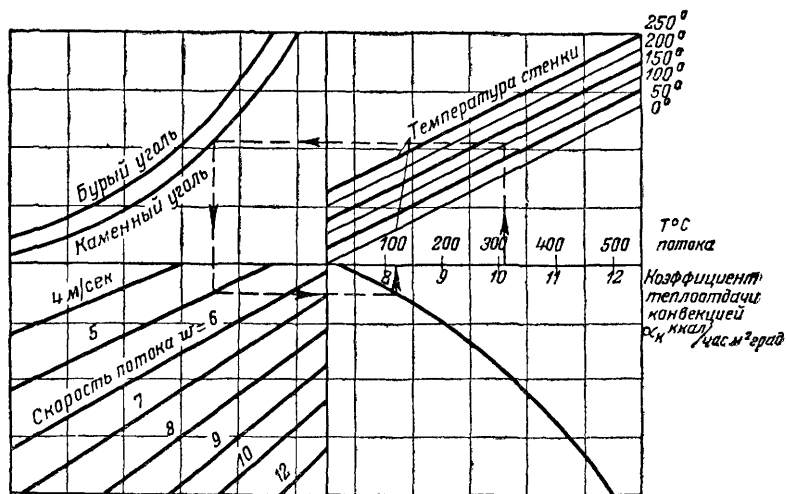


Рис. 269

лений приравняется к коэффициенту теплоотдачи от газа к стенке  $K_3 = \alpha_{1(3)}$ . Для гладкотрубного водяного экономайзера  $\alpha_1$  определяется так же, как и для газоходов парового котла, только температура стенки подсчитывается следующим образом:

$$t_{\text{ст}} = \frac{t'_3 + t''_3}{2}. \quad (236)$$

Для чугунного ребристого экономайзера ЦККБ значение  $K$  определяется по графику рис. 269, а для экономайзера ВТИ — по рис. 270.

Скорость газового потока по экономайзеру вычисляется по формуле

$$w_r = \frac{BV_r^{\text{ср}} (T_{\text{пот}} + 273)}{273 \cdot 3600 \Omega_r} \text{ м/сек}, \quad (237)$$

где  $V_{г\text{cp}} = \frac{V'_г + V''_г}{2}$   $\text{нм}^3/\text{кг}$  — средний объем газа; подсчитывается

по данным таблицы типа 19:

$T_{\text{пот}}$  — температура потока в град, которую для экономайзера можно определить как среднее арифметическое из значения температур газа на входе и выходе;

$B$  — часовой расход топлива в  $\text{кг}/\text{час}$ ;

$\Omega_{г}$  — живое сечение экономайзерного газохода в  $\text{м}^2$ .

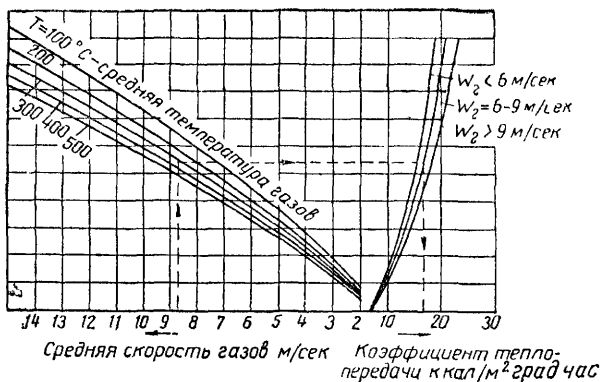


Рис. 270

Расчетный коэффициент теплопередачи для экономайзера определяется по формуле

$$K_{э} = \zeta K \text{ ккал}/\text{м}^2 \text{ час град}. \quad (238)$$

Коэффициент  $\zeta$  берется по табл. 47.

#### § 94. РАСЧЕТ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Расчет ведется по трем уравнениям:

$$\begin{aligned} \text{а) } Q_{\text{вп}} = \xi B \left[ I'_{\text{вп}} - I''_{\text{вп}} + 0,31 (\alpha''_{\text{вп}} - \alpha'_{\text{вп}}) V_0 \times \right. \\ \left. \times \frac{100 - q_4}{100} t_b \right] \text{ ккал}/\text{час}. \end{aligned} \quad (239)$$

$$\text{б) } Q_{\text{вп}} = B V_0 \frac{100 - q_4}{100} \alpha_{г.в(\text{вп})} \cdot 0,31 (t''_{\text{вп}} - t'_{\text{вп}}) \text{ ккал}/\text{час}, \quad (240)$$

$V_0$  — объем теоретически необходимого воздуха для горения 1  $\text{кг}$  топлива в  $\text{нм}^3$ ; подсчитывается по типу табл. 19;

$\alpha_{г.в(\text{вп})}$  — средний коэффициент избытка воздуха в воздухоподогревателе;

$$\alpha_{г.в(вп)} = \left( \alpha_{г.} - \Delta\alpha_{г.} + \frac{\Delta\alpha_{г.в}}{2} \right), \quad (241)$$

где  $\Delta\alpha_{г.}$  — присос воздуха в топочной камере и в системе пыле-приготовления;

$\Delta\alpha_{г.в}$  — присос воздуха в воздухоподогревателе; принимается для трубчатого воздухоподогревателя 0,05.

в)

$$Q_{вп} = K_{вп} H_{вп} \vartheta_{ср} \text{ ккал./час.} \quad (242)$$

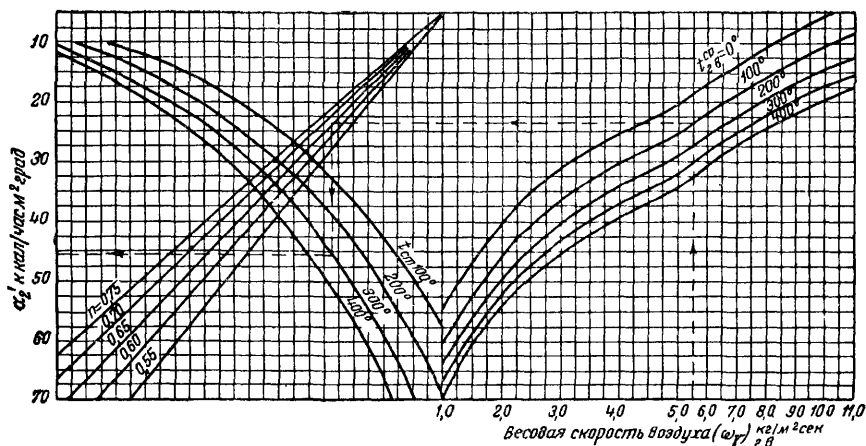


Рис. 271. Номограмма для определения  $\alpha_2 t_{г.в}^{ср}$  — средняя температура воздуха в воздухоподогревателе

Средний температурный напор определяется по уравнению (226) или при условии, если  $\frac{\vartheta'}{\vartheta''} \leq 1,5$ ;

$$\vartheta_{ср} = \frac{T'_{вп} + T''_{вп}}{2} - \frac{t'_{вп} + t''_{вп}}{2} \text{ град.} \quad (243)$$

Температура стенки

$$t_{ст} = \frac{1}{2} \left( \frac{T'_{вп} + T''_{вп}}{2} + \frac{t'_{вп} + t''_{вп}}{2} \right) \text{ град.} \quad (244)$$

Коэффициент теплопередачи воздухоподогревателя рассчитывается по уравнению (231), при этом  $\zeta$  — степень заполнения газохода — берется по табл. 47, а  $\alpha_1$  приравнивается  $\alpha_с$ , так как в трубчатых воздухоподогревателях газ идет внутри труб и излучение газа в заданных условиях ничтожно мало.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху  $\alpha_2$  при трубчатом воздухоподогревателе и шахматном расположении труб, как это обычно и бывает, может быть найден по уравнению

$$\alpha_2 = 110 \frac{\lambda_{г.в}}{d} \left[ -\frac{(\omega\gamma)_{г.в} d}{30\,000 \gamma_{г.в}} \right]^n c_s c_{z_r} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.} \quad (245)$$

Для ускорения расчетов уравнение (245) преобразовывается:

$$\alpha_2 = \alpha'_2 c_d c_s c_{z_r} \text{ ккал/м}^2 \text{ час град,} \quad (246)$$

где  $\alpha'_2$  — коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху без учета поправок на диаметр, расположение и число рядов труб; может быть определен по номограмме (рис. 271);

$n$  — показатель степени; берется по графику (рис. 259);  
 $(\omega\gamma)_{г.в}$  — весовая скорость воздуха; подсчитывается по формуле

$$(\omega\gamma)_{г.в} = \frac{B_{г.в(вп)} V_o \left( \frac{100 - q_4}{100} \right)^{1,293}}{3\,600 \Omega_{г.в(вп)}} \text{ кг/м}^2 \text{ сек;} \quad (247)$$

$\Omega_{г.в(вп)}$  — свободное проходное сечение для воздуха в  $\text{м}^2$ .

Поправочные коэффициенты:

$c_d$ ,  $c_s$  и  $c_{z_r}$  определяются по графикам (рис. 260, 261 и 262).

При решении уравнений «а», «б» и «в» обычно определяют  $Q_{вп}$ ,  $H_{вп}$  и  $t'_{вп}$ .

Подбирая поверхность нагрева воздухоподогревателя из отдельных элементов, изготовляемых на заводах, следует стремиться к сближению значений  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

При повышении скорости газов по газоходу воздухоподогревателя достигается самообдувка его поверхностей нагрева, однако при сжигании многозольных топлив скорость газов, превышающая 13 м/сек, может вызвать истирание его стенок золой (эрозию).

В обязанности инженеров, оканчивающих курс по специальности тепло-газоснабжения и вентиляции, не входит проектирование котлов, а также элементов экономайзеров и воздухоподогревателей. Требуется с технико-экономической точки зрения умело скомпоновать эти отдельные части в одно целое — котельную установку.

Тепловой расчет котельной установки изложен применительно к указанным требованиям.

При расчете котла по газоходам считается, что поверхности нагрева отдельных газоходов заданы, и определяется температура газов за каждым газоходом.

В тепловом расчете пароперегревателя по заданной температуре перегретого пара определяют температуру газов за пароперегревателем и его поверхность нагрева, предполагая проектирование пароперегревателя применительно к заданным условиям. Если поверхность нагрева пароперегревателя задана, то определяют температуру газов за пароперегревателем и температуру перегретого пара.

Составляемая из чугунных ребристых труб поверхность нагрева водяного экономайзера подсчитывается при заданной температуре отходящих газов.

Группировка труб в горизонтальном и вертикальном направлениях производится таким образом, чтобы при достаточно высокой скорости газов, обеспечивающей высокий коэффициент теплопередачи, одновременно не чрезмерно возросло газовое сопротивление.

Учитывая эти два требования, оптимальную скорость газов по экономайзеру принимают около 10 м/сек.

Проверяя работу уже запроектированной котельной установки при перегрузке и недогрузке, приходится сначала ориентировочно оценить температуру отходящих газов.

Проведя последовательно тепловой расчет по газходам котельной установки, в последнюю очередь определяют температуру отходящих газов и проверяют, насколько удачно она была предварительно выбрана.

При поверочном расчете уже сконструированного воздухоподогревателя определяют выходящие температуры воздуха и газов.

## § 95. РАСЧЕТ ГАЗОХОДОВ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

Теплопередача по газходам в водогрейных котлах отличается от передачи тепла в водяных экономайзерах тем, что водогрейный котел имеет самостоятельную топку.

Расчет иногда слишком осложняется, если, как это делается в водяном экономайзере, одновременно с нахождением температуры газов за газходом определять и температуру воды по выходе из газхода. Например, для котла по рис. 219 пришлось бы вести расчет 42 газходов, к тому же в большинстве случаев предварительно, ориентировочно оценивая температуру воды, входящей в каждый газход, затем ее исправляя. Однако подобный кропотливый расчет не всегда необходим. Разность температур между горячей и обратной водой в водогрейном котле обычно остается в пределах 25–60°, и поэтому погрешность будет незначительна, если тепловой расчет по газходам в водогрейном котле условно вести по методу расчета парового котла с температурой насыщения, равной средней температуре от температур воды,

входящей и выходящей из водогрейного котла. В этом случае температура стенки определяется по выражению

$$t_{\text{ст. в. к}} = \frac{t'_{\text{в. к}} + t_{\text{в. к}}}{2}. \quad (248)$$

Если за стальным водогрейным котлом далее устанавливается чугунный водяной экономайзер, то, рассчитывая стальную часть котла, пользуясь методом для парового котла, придется сначала оценить температуру воды, выходящей из чугунного экономайзера и направляющейся в котел. В дальнейшем, после проведения расчета чугунного экономайзера, температура воды, выходящей из чугунного экономайзера, будет определена. При значительном расхождении последней цифры с ранее принятой, расчет придется проделать снова. Следует заметить, что обычно нагревание воды в чугунном экономайзере водогрейной установки, вследствие большого количества проходящей воды, происходит на 2—3°.

## Глава XV

# АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

## § 96. ТЯГОВЫЕ УСТРОЙСТВА

Для котельных применяют естественную и искусственную тягу.

В котельных, располагаемых в подвальных этажах здания или в непосредственной близости к зданию, труба может проходить, примыкая к стене здания; к этому часто прибегают из соображений архитектурного порядка.

Центральные отопительные котельные в большинстве случаев строятся в центре, окруженном рабочими и жилыми помещениями. Подобные условия в целях гигиены побуждают возможно выше отводить отходящие газы, и высота 30 м является желательным в этом отношении минимумом. Многоэтажные здания, находящиеся рядом с котельной, часто заставляют повышать этот размер.

Дымовая труба высотой 30—50 м уже будет хорошим тяговым устройством, часто достаточным, чтобы осуществить требующиеся форсировки, в особенности если толки снабжены дутьем под решетку. Стальные трубы применяют редко, главным образом при временных установках, и их не делают выше 30—35 мм, иначе они получаются слишком громоздкими. Их долговечность тесно связана с составом сжигаемого топлива. При таком влажном и сернистом топливе, каковым является, например, подмосковный



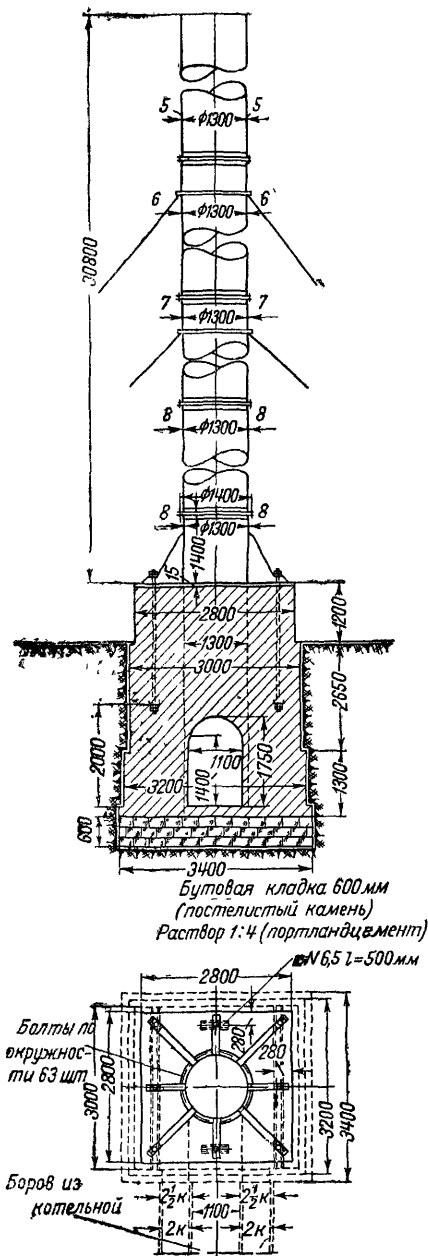


Рис. 272

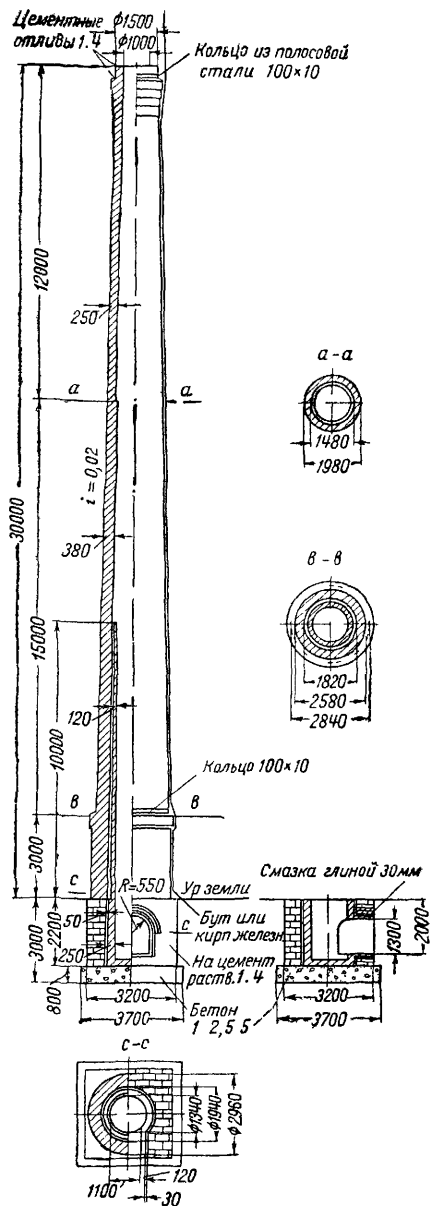


Рис. 273

уголь, стальные трубы изнашиваются в 3—4 года. Кирпичные или железобетонные трубы строятся высотой до 100 м и выше. На рис. 272 и 273 приводятся чертежи стальной и кирпичной труб.

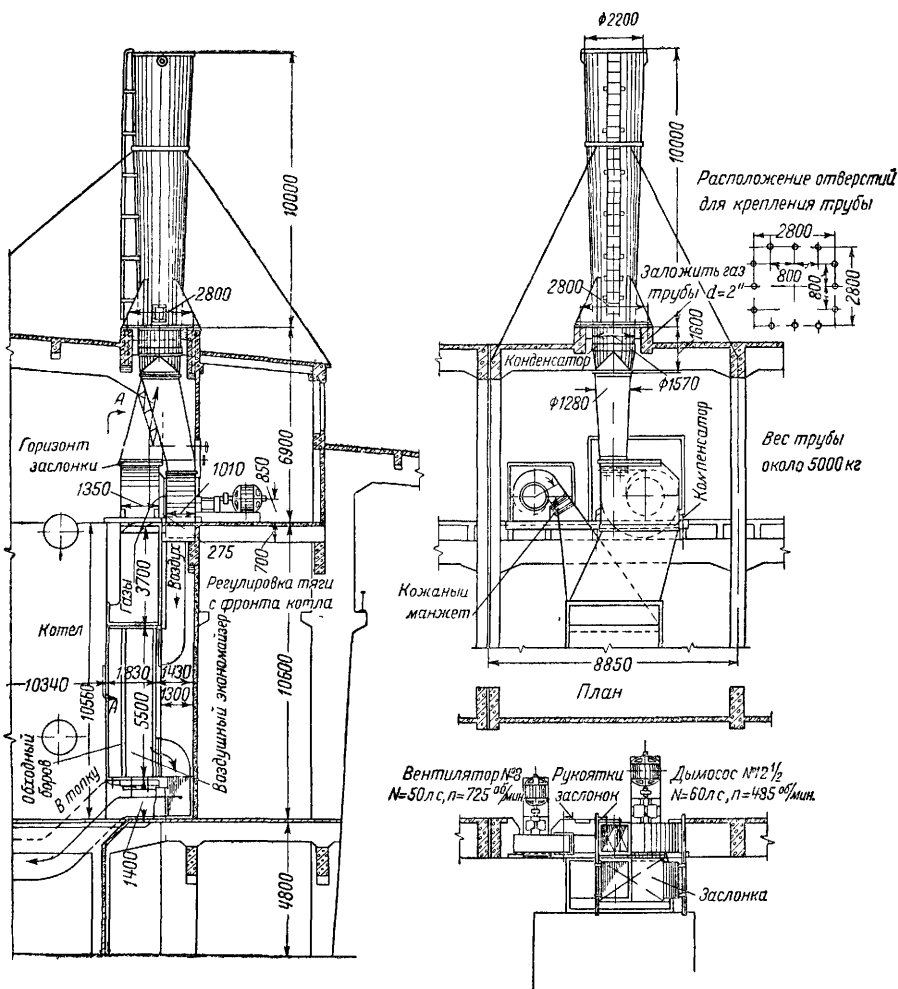


Рис. 274

На крупных установках газовые сопротивления котлоагрегатов настолько возрастают, что ограничиться только естественной тягой не представляется возможным. В таких случаях установку, кроме трубы, снабжают искусственной тягой.

Искусственная тяга может быть прямого действия, тогда все отходящие газы засасываются дымососом; дымосос — это тот же

центробежный вентилятор, но с более массивными лопатками и охлаждающимися водой подшипниками.

Искусственная тяга непрямого действия состоит в том, что отходящие газы эжектируются воздухом, газом или паром (на паровозах), нагнетаемым в сопло, находящееся в центре расширяющегося диффузора у основания дымовой трубы.

Наибольшим распространением пользуется тяга прямого действия дымососами как создающая более высокие разрежения и расходующая меньше электроэнергии. К тяге непрямого действия прибегают в случаях, когда отсасываются газы с температурами, превышающими  $350^{\circ}$ , или по своему составу могущие разъесть лопатки дымососа. При искусственной тяге труба могла бы быть произвольно малой высоты. В установках с расположением дымососа в верхней части котельного здания эти трубы получаются невысокими, так как их назначение только отвести газы в атмосферу. На рис. 274 показано крепление трубы к железобетонной кровле здания. Если тяговое устройство помещается на уровне земли, а такое размещение имеет некоторые преимущества при общей компоновке котельного помещения, высоту ее приходится принимать по санитарно-гигиеническим соображениям.

В отопительно-производственных котельных установках в настоящее время требуется установка золоуловителей. Газовое сопротивление последних настолько значительно, что искусственная тяга является типичной и для установок этого характера.

Оборудуя центральную, общую на несколько котлов дымососную установку, требуется к основному добавить резервный дымосос. Иногда при максимальной нагрузке допускается параллельная работа двух установленных дымососов. В таких случаях требуется знать характеристику дымососов и путем построения их суммарной характеристики выяснить надежность такой работы. Подробности о подборе и работе дымососов и вентиляторов излагаются в курсе насосов и вентиляторов.

## § 97. ГАЗОВЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАНОВКИ

Для расчета тягового устройства требуется знать часовое или секундное количество отходящих газов и газовое сопротивление установки, которое придется преодолевать тяговому устройству. Расчет тяги выполняется на максимальную нагрузку.

Суммарное газовое сопротивление установки составляется из отдельных сопротивлений: топки, котла, промежуточных боровов, экономайзера, воздухоподогревателя и сопротивления дымовой трубы, включая потерю на создание скоростного напора по выходе газов из трубы.

Методика определения сопротивлений по отдельным элементам установки излагается ниже. Более подробные сведения по

расчету тяго-дутьевых устройств можно найти в труде ЦКТИ «Нормы аэродинамического расчета котельного агрегата», издание 1949 г.

**Газовое сопротивление топок.** Сопротивление топки зависит от ее конструкции и способа сжигания топлива. При значительных сопротивлениях топки в помощь тяговому устройству добавляется дутье под решетку, тогда в задачу тягового устройства входит только поддержание разрежения в топке примерно равным 3 мм вод. ст., чтобы исключить выбивание газов и пламени из дверок и лючков топки.

При шлакующей золе топлива газовое сопротивление слоя все время возрастает по мере накапливания шлака на колосниковой решетке. Поэтому, сжигая подобное топливо на простых колосниковых решетках с ручным обслуживанием, необходимо так рассчитать дутьевое устройство, чтобы всегда имелась возможность повышения давления в поддувале примерно до 80—100 мм вод. ст. Периоды между чистками топок тогда удлиняются до 4—6 час. даже для таких многозольных топлив, как подмосковный уголь.

В качестве дутьевых приборов обыкновенно используются центробежные вентиляторы среднего давления. Скорость воздуха в воздуховодах берется от 6 до 10 м/сек.

Объем расходуемого воздуха находится по количеству сжигаемого в час топлива, теоретическому объему воздуха, требующегося для сжигания 1 кг топлива, и избытку воздуха в топке. На покрытие неизбежных утечек воздуха через неплотности воздуховодов набавляют 10%.

Расчетный секундный расход воздуха будет равен

$$V_{\text{сек}} = \frac{1,1 \alpha_T V_0 B (273 + t_R)}{273 \cdot 3600} \text{ м}^3/\text{сек.} \quad (249)$$

Не касаясь методов выбора вентилятора, а также расчета воздуховодов, так как эти вопросы рассматриваются в специальных курсах, следует только указать на желательность установки двух вентиляторов, из которых один был бы запасным. Это бывает особенно важно при круглосуточной работе и обслуживании одним вентилятором всей котельной. Вентилятор рассчитывают на максимальную нагрузку. Для того чтобы при средней эксплуатационной нагрузке вентилятор мог работать с наибольшим к. п. д., часто устанавливают в котельной два вентилятора производительностью 0,7 от максимальной нагрузки каждый.

В подобных случаях расположение вентиляторов и их присоединение к воздуховодам надо производить так, чтобы избежать параллельной работы вентиляторов.

При перегрузках в случаях работы двух вентиляторов желательно, чтобы каждый из них обслуживал свой участок воздушного тракта, отъединенный от соседнего заслонкой.

Регулирование производительности напора при постоянном числе оборотов электродвигателя в большинстве случаев осуществляется путем дросселирования заслонкой.

Более экономичным по расходу электроэнергии является регулирование изменением числа оборотов или установкой на всасывающей патрубке направляющих аппаратов с поворотными лопатками. Для изменения числа оборотов на крупных станциях устанавливают многоскоростные электродвигатели или иногда специальные гидравлические муфты; последние позволяют плавно изменять число оборотов дымососа.

**Сопротивление по газовому тракту поверхностей нагрева.** Сопротивление движению газов, создаваемое поверхностями нагрева, условно разбивается на две части: а) сопротивление от трения и б) местные сопротивления.

Это можно записать в виде следующей формулы:

$$\Sigma \Delta h_{\text{пн}} = \Sigma \Delta h_{\text{тр}} + \Sigma \Delta h_{\text{м.с}} \text{ мм вод. ст.}, \quad (250)$$

где  $\Sigma \Delta h_{\text{тр}}$  — суммарное сопротивление на трение при прохождении газов по каналам или при продольном обтекании труб;

$\Sigma \Delta h_{\text{м.с}}$  — суммарные местные сопротивления: потеря тяги при входе и выходе из каналов, при поворотах, в заслонках и т. п. Сюда же условно включаются и гидравлические сопротивления при поперечном обтекании пучков труб.

Сопротивление от трения в условиях одновременного теплообмена выражается уравнением

$$\Delta h_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_3} \cdot \frac{w^3}{2g} \gamma_{\text{пот}} \left( \frac{T_{\text{пот}} + 273}{t_{\text{ст}} + 273} \right)^{0,589} \text{ мм вод. ст.}, \quad (251)$$

где  $\lambda$  — коэффициент трения газов о стенки канала;

$l$  — длина газохода в м;

$w$  — скорость газов по газоходу в м/сек;

$g$  — ускорение силы тяжести в м/сек<sup>2</sup>;

$\gamma_{\text{пот}}$  — удельный вес газов при температуре потока в кг/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{ст}}$  — температура стенки в град.;

$T_{\text{пот}}$  — температура потока в град., причем при расчетах можно

$$\text{принимать } T_{\text{пот}} = \frac{T' + T''}{2};$$

$d_3$  — внутренний диаметр трубы или для некруглого сечения эквивалентный (гидравлический) диаметр в м;

$$d_3 = \frac{4\Omega}{U}, \quad (252)$$

$\Omega$  — живое сечение канала в  $\text{м}^2$ ;

$U$  — полный периметр сечения в  $\text{м}$ , омываемый текущей средой.

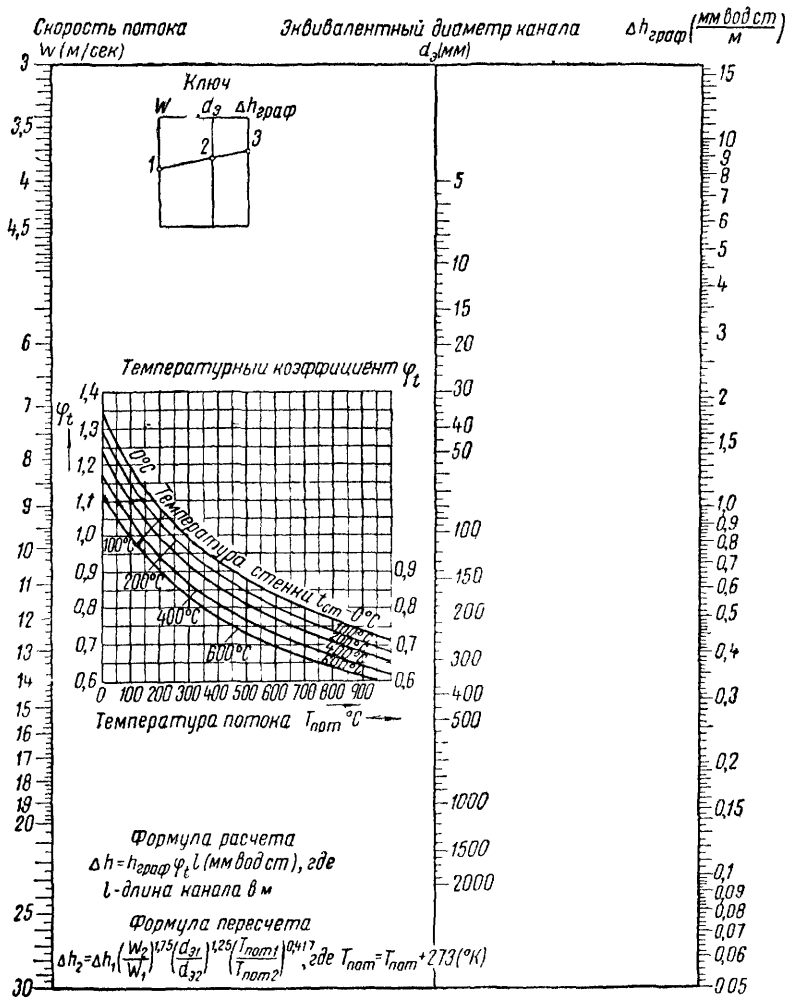


Рис. 275

Эквивалентный диаметр для каналов прямоугольного сечения со сторонами  $a$  и  $b$  вычисляется по выражению

$$d_3 = \frac{2ab}{a+b} \text{ м.} \quad (253)$$

Эквивалентный диаметр для газохода прямоугольного сечения с расположенным внутри пучком труб, омываемых продольным потоком газов, подсчитывается так:

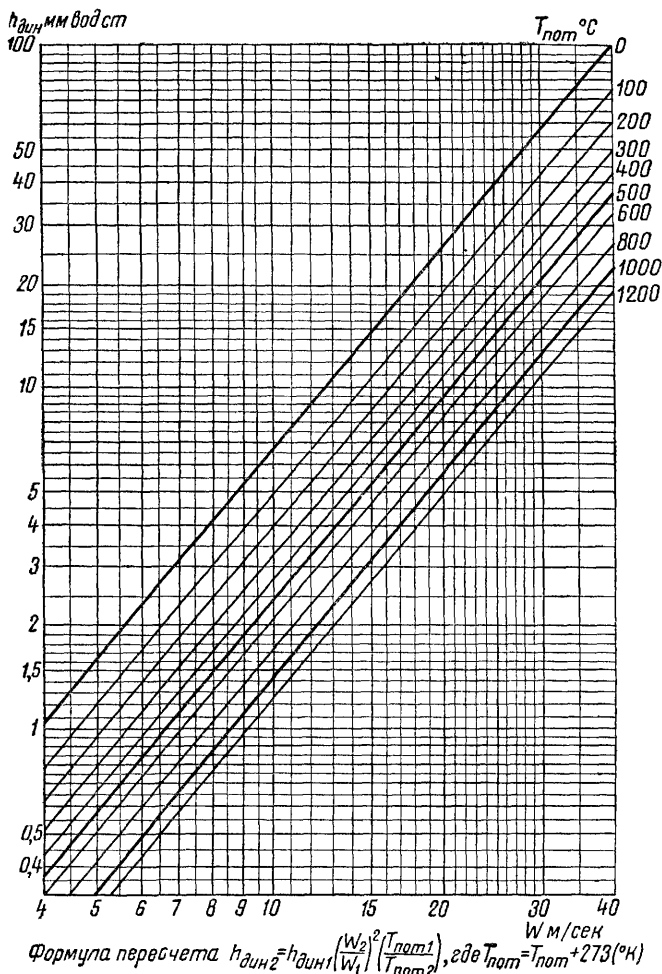


Рис. 276

$$d_3 = \frac{4 \left( ab - \frac{n\pi d^2}{4} \right)}{2(a+b) + n\pi d} \text{ м,} \quad (254)$$

где  $d$  — наружный диаметр труб в м;  
 $n$  — число труб в газоходу.

Соппротивление от трения  $\Delta h_{\text{тр}}$ , считая на 1 пог. м длины газохода, можно определить, пользуясь номограммой рис. 275.

Определение по номограмме проводится следующим образом:

$$\Delta h_{\text{тр}} = \Delta h_{\text{граф}} \varphi_t l, \quad (255)$$

где  $\varphi_t$  — температурный коэффициент;  
 $l$  — длина газохода в м.

Сначала определяют  $\Delta h_{\text{граф}}$ , затем по графику находят  $\varphi_t$ .

Номограмма рис. 275 и все последующие построены для воздуха; поправки на отличие удельного веса дымовых газов по сравнению с воздухом делаются в конце аэродинамического расчета всей котельной установки.

Местные сопротивления рассчитываются по формулам

$$\Delta h_{\text{м. с}} = \zeta \frac{w^2}{2g} \gamma_{\text{пот}}; \quad (256)$$

$$\Delta h_{\text{м. с}} = \zeta h_{\text{дин}} \text{ мм вод. ст.}, \quad (257)$$

где динамический напор  $h_{\text{дин}} = \frac{w^2}{2g} \gamma_{\text{пот}}$  мм вод. ст. определяют по графику (рис. 276).

Коэффициент  $\zeta$  зависит от характера местных сопротивлений.

При обтекании косых пучков скорость потока  $w$  определяют для сечения газохода по осевой плоскости труб  $\Omega = l(b - nd)$  (рис. 277). Если угол  $\beta \leq 75^\circ$ , то гидравлическое сопротивление пучка труб должно быть увеличено на 10%.

При поперечном обтекании пучков труб  $\zeta$  определяется в зависимости от характера обтекания и расположения труб в пучке.

а) Коридорные пучки

$$\zeta = \zeta_0 n, \quad (258)$$

где  $n$  — количество рядов труб в глубину пучка;

$\zeta_0$  — коэффициент сопротивления на один ряд пучка.

Сопротивление при поперечном обтекании пучков с коридорным расположением труб также может быть выражено так:

$$\Delta h = \Delta h_{\text{граф}} \varphi_s n \text{ мм вод. ст.}$$

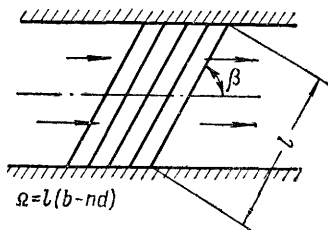
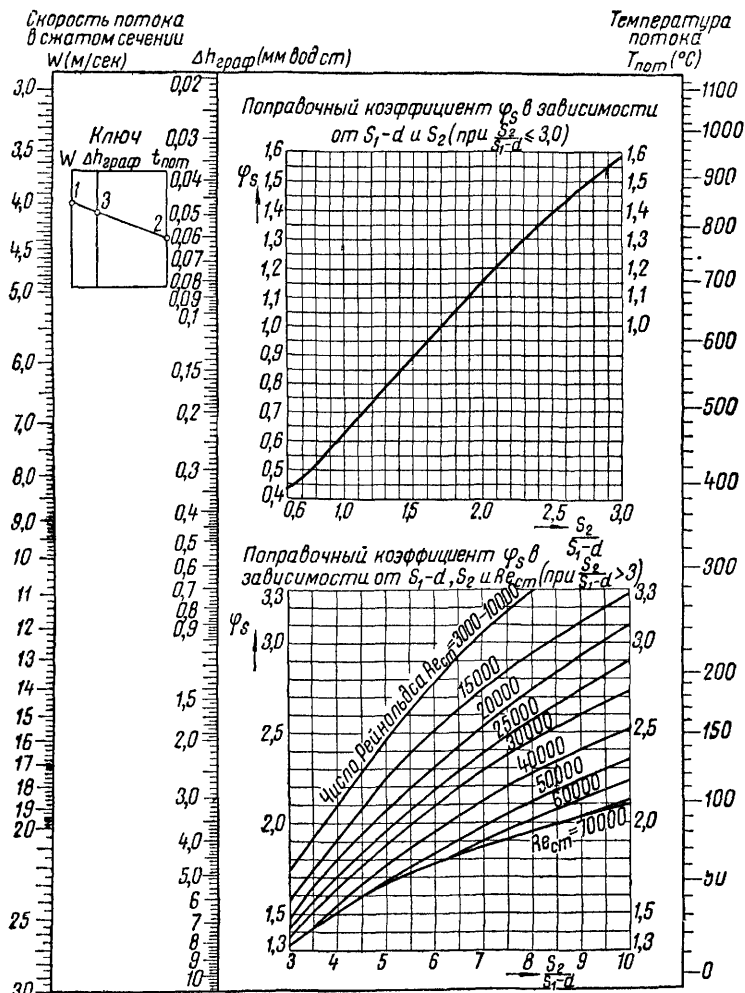


Рис. 277





Формула расчета:  $\Delta h = \Delta h_{\text{граф}} \varphi_s n$  (мм вод ст), где  $n$  — количество рядов труб по глубине пучка

Формула пересчета:  $\Delta h_2 = \Delta h_1 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^2 \left( \frac{T_{\text{пот}1}}{T_{\text{пот}2}} \right)$ , где  $T_{\text{пот}} = T_{\text{пот}} + 273$  ( $^{\circ}\text{K}$ )

Рис. 278

$\Delta h_{\text{граф}}$  и  $\varphi_s$  — находят по номограмме (рис. 278). Если отношение шага труб в глубину  $S_2$  к разности между шагом труб по ширине пучка  $S_1$  за вычетом внешнего диаметра труб  $d$  больше трех  $\left( \frac{S_2}{S_1-d} > 3 \right)$ , то для нахождения  $\varphi_s$  требуется

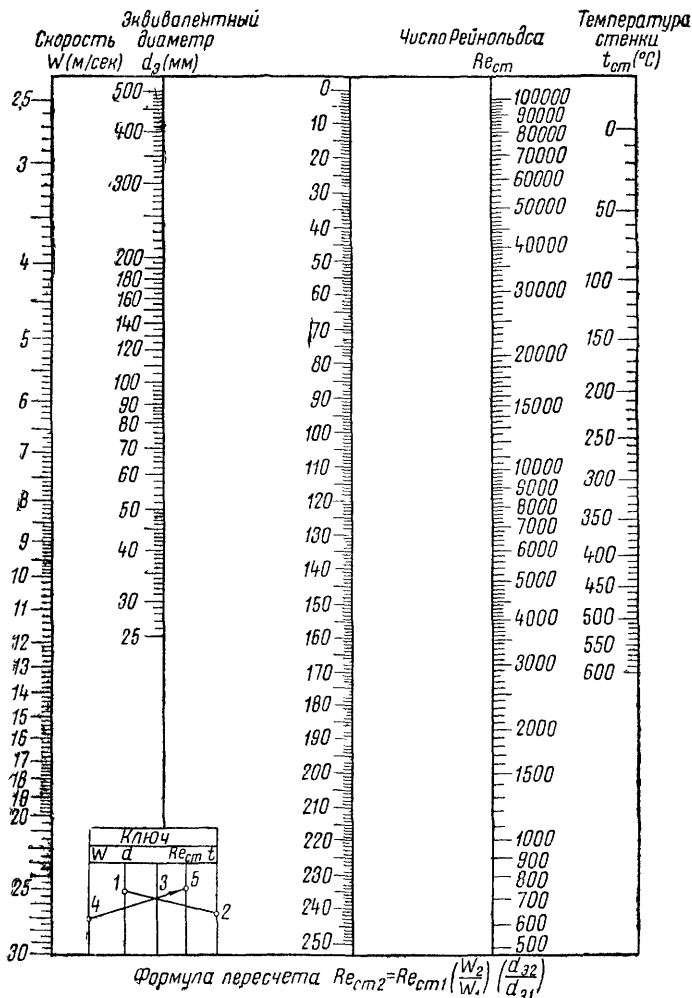


Рис. 279

знание числа Рейнольдса, взятого при температуре стенки труб.  $Re_{ст}$  может быть определено по номограмме рис. 279.

### б) Шахматные пучки

$$\zeta = c_1 c_2 (n + 1) Re_{ст}^{-0,27}, \quad (259)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  — коэффициенты, зависящие от отношения  $\frac{S_1}{d}$  и  $\frac{S_2}{d}$  (рис. 280);

$n$  — количество рядов труб в глубину пучка.

Сопротивление при поперечном обтекании пучков с шахматным расположением труб также может быть выражено так:

$$\Delta h = \Delta h_{\text{граф}} \varphi_s \varphi_t (n + 1) \text{ мм вод. ст.}, \quad (260)$$

причем  $h_{\text{граф}}$ ,  $\varphi_s$  и  $\varphi_t$  определяются по номограмме рис. 281.

### в) Чугунные ребристые экономайзеры

Конструкции ЦККБ:  $\zeta = 0,33n$ ; конструкции ВТИ:  $\zeta = 0,5n$ , где  $n$  — число рядов труб в глубину пучка.

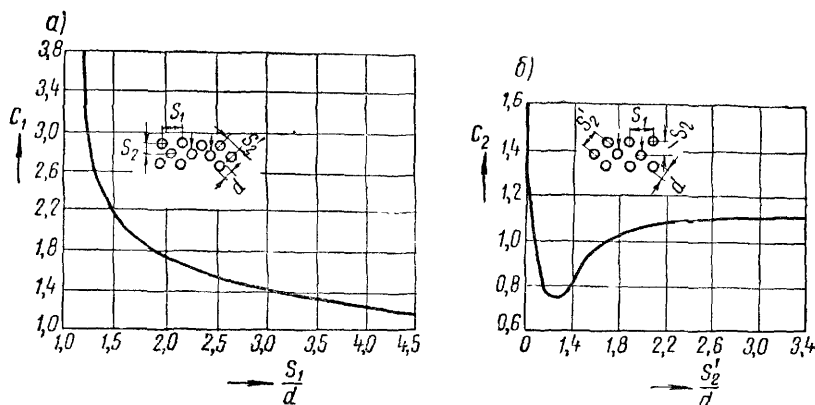


Рис. 280

Сопротивления при входе в пучок и при выходе из него отдельно не учитывают, так как они уже включены во все формулы сопротивления при поперечном обтекании как гладких труб, так и ребристых.

### г) Трубчатые воздухоподогреватели

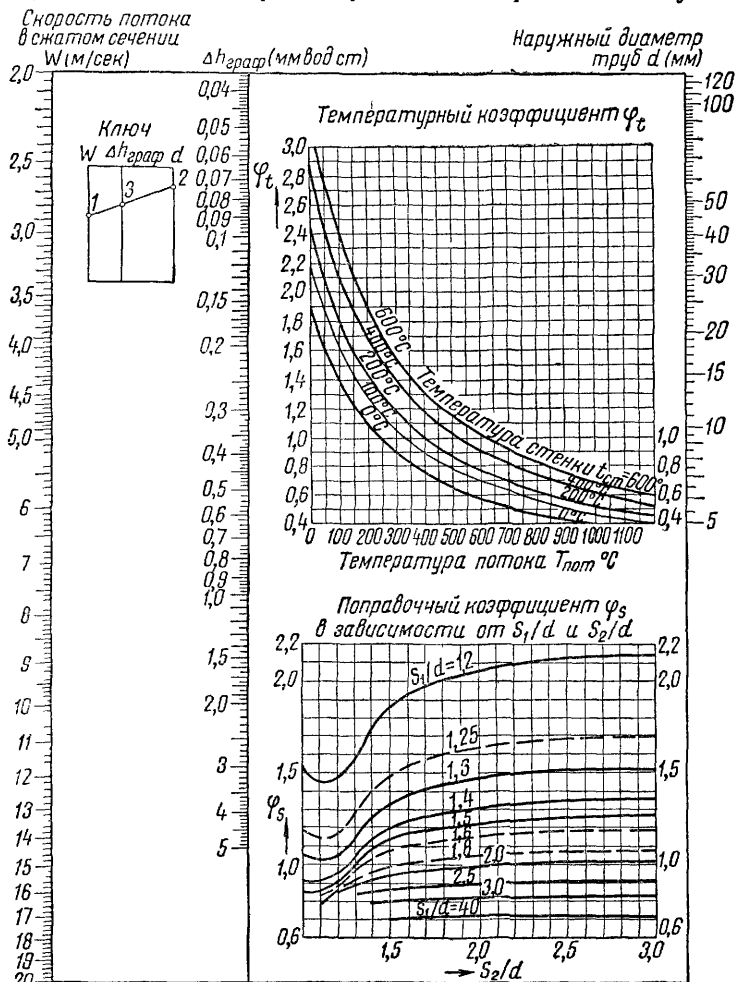
Сопротивление по газовому тракту подсчитывается по номограмме рис. 275 для продольного обтекания пучка труб при движении газов внутри труб. Сюда надо добавить два сопротивления: от внезапного сужения при входе в газоход и при внезапном изменении сечения при выходе из газохода.

Пользуясь формулой (256), динамический напор определяют по графику рис. 276, а ( $\zeta_{вг} + \zeta_{выг}$ ) в зависимости от изменения сечений  $\frac{Q_{1р}}{Q'_g}$  — по графику рис. 282.

Отношение живого сечения в трубах к сечению борова может быть подсчитано по следующей приблизительной формуле:

$$\frac{\Omega_{\text{тр}}}{\Omega_6} = \frac{0,785d^2_{\text{вн}}}{S_1 S_2}, \quad (261)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  — шаги труб в пучке по ширине и в глубину.



Формула расчета  $\Delta h = \Delta h_{\text{граф}} \varphi_s \cdot \varphi_t (n+1)$  (мм вод ст), где  $n$  — количество рядов труб по глубине пучка

Формула пересчета:  $\Delta h_2 = \Delta h_1 \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1,73} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{0,27} \left(\frac{T_{\text{пот}1}}{T_{\text{пот}2}}\right)$ , где  $T_{\text{пот}} = T_{\text{пот}} + 273$  (°K)

Рис. 281

Сопротивление по воздушному тракту при поперечном омывании воздухом трубчатого пучка определяется

так же, как это указывалось для газового потока. Сопротивление от поворота на  $180^\circ$  подсчитывают по формуле (256), принимая  $\zeta = 2,5$ . Расчетное сечение в перепускном коробе принимается по формуле (264); только входное и выходное сечения принимаются без загромождения их трубами.

#### д) Повороты газов

Если при движении газов через пучок труб газы одновременно и поворачиваются, то местные сопротивления от таких поворотов принимаются:

при повороте на $180^\circ$	.....	$\zeta = 2,0$	
" " "	$90^\circ$	.....	$\zeta = 1,0$
" " "	$45^\circ$	.....	$\zeta = 0,65$

причем сопротивление пучка рассчитывается независимо от поворота, а влияние последнего входит как дополнительное слагаемое, выражающееся через  $\zeta \frac{\omega^2}{2g} \gamma_{\text{лот}}$ . Величина динамического напора  $\frac{\omega^2}{2g} \gamma_{\text{лот}}$  определяется по графику (рис. 276).

Если при движении газов по газоходу, не включающему трубы котла, газовый поток поворачивается на угол в  $90^\circ$ , то  $\zeta = 1,2$ .

#### е) Изменение сечений и сопротивление золоуловителей

При резком изменении сечения газохода коэффициенты сопротивления определяются по графику рис. 282.

Гидравлическое сопротивление золоуловителей рассчитывается по формуле

$$\Delta h = \zeta \frac{\omega^2}{2g} \gamma \text{ мм вод. ст.}; \quad (262)$$

таким образом, весь золоуловитель рассматривается как местное сопротивление, причем коэффициент  $\zeta$  определяется путем проведения серии испытаний;  $\gamma$ , как и в предыдущих формулах, берется по воздуху; поправка на  $\gamma$  газа будет сделана в дальнейшем.

Для батарейных циклонов (рис. 233)  $\zeta = 85$ . Расчетная скорость ( $\omega$  м/сек) условно принимается по отношению к суммарной площади сечения всех циклонов в плане

$$\Omega_0 = \frac{n\pi d^2}{4} \text{ м}^2, \quad (263)$$

где  $n$  — число параллельно работающих циклонов.

Рекомендуется принимать  $\Delta h$  при максимальной нагрузке  $60 \div 80$  мм вод. ст.

Для жалюзийных золоуловителей ВТИ (рис. 241) коэффициент сопротивления золоуловителя, включая циклон,  $\zeta = 5,0$ . Расчетная скорость определяется для живого сечения газохода в начале решеток.

$\Delta h$  рекомендуется принимать при максимальной нагрузке равным 20 — 50 мм вод. ст.

Сопротивление газопроводов и воздухопроводов. При скоростях газов меньше 12 м/сек сопротивлением трения можно пренебрегать и учитывать только местные сопротивления. Если же сопротивления от трения также будут подсчитываться, то коэффициент сопротивления трения для стальных газопроводов может быть принят равным  $\lambda = 0,02$ , а для кирпичных — 0,04

Следует заметить, что сборные боровы, расположенные за котлами, затруднительно очищать от золы. Чтобы в боровы проникнуть, надо его охладить, а для этого приходится на несколько суток остановить котельную.

Такие чистки при работе котельной в течение всего года

удается производить не чаще одного-двух раз в год. Следовательно, сборный боров должен быть настолько вместительным, чтобы накопившаяся в нем зола не влияла сколько-нибудь заметно на повышение его газового сопротивления

При естественной тяге скорость в борове следует принимать равной 3—4 м/сек; искусственная тяга позволяет увеличить эти цифры до 6 м/сек и иногда выше, если только к этому побуждают чисто конструктивные соображения.

Газовое сопротивление боровов по большей части не превышает нескольких миллиметров водяного столба.

Подробности, касающиеся местных сопротивлений в газозвоухопроводах, в курсе не приводятся, так как эта часть полно освещается в курсе «Отопление и вентиляция».

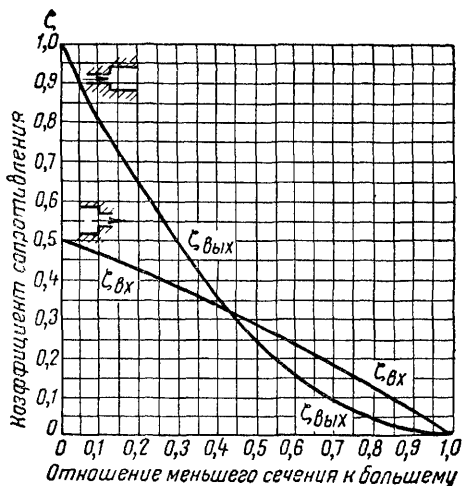


Рис. 282

## § 98 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И ПОПРАВКИ К РАСЧЕТАМ

В газоходах котлов часто приходится наблюдать различное омывание труб: поперечное омывание сменяется продольным и

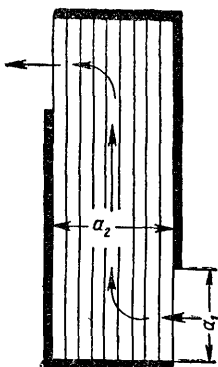


Рис. 283

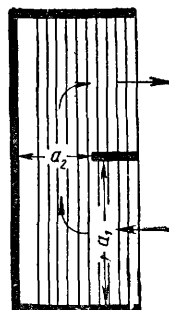
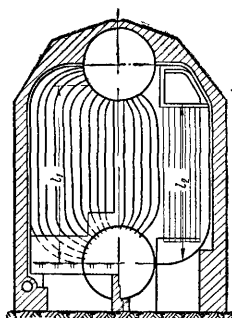


Рис. 284



Два пучка по \$L\_1\$  
 I пучок по  

$$H_1 \frac{a_1 + a_2}{2} + H_2 a_2$$

$$\frac{H_1 + H_2}{H_3 + H_6}$$
 Пароперегреватель  

$$H_3 \frac{a_4 + a_5}{2} + H_4 \frac{a_5 + a_6}{2}$$

$$\frac{H_3 + H_6}{H_5 + H_6}$$
 II пучок по  

$$H_5 a_7 + H_6 \frac{a_8 + a_9}{2}$$

$$H_5 + H_6$$

ДКВ

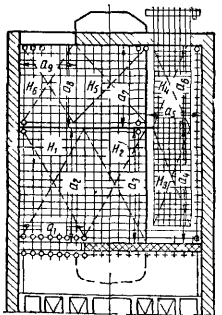
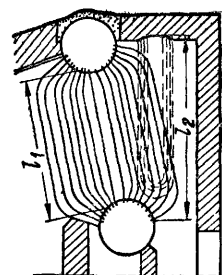
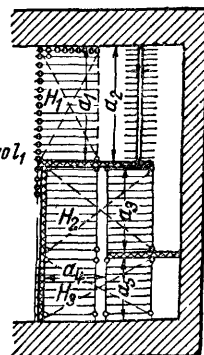


Рис. 285



КРШ



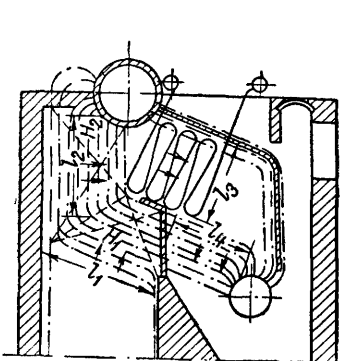
Два кольцевых пучка по \$L\_1\$  
 Второй пучок по  

$$\frac{H_2 \frac{a_3 + a_4}{2} + H_3 \frac{a_4 + a_5}{2}}{H_2 + H_3}$$

Рис. 286

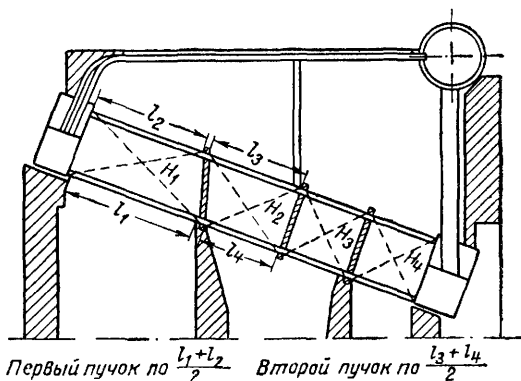
наоборот. В подобных случаях рекомендуется вести подсчеты по схемам, приведенным на рис. 283—288. Из схемы движения (рис. 283) видно, что газы сначала идут, омывая трубы поперечным потоком. Затем поток приобретает продольное направление, после чего трубы опять оmyваются поперечным потоком. В таком случае считается, что поперечным потоком оmyвается только половина имеющихся труб как при входе в газоход, так и при выходе из него.

На рис. 284 приводится другое характерное движение газового потока, когда имеется разделяющая перегородка.



Для котлов СП; МП; ТП.

Рис. 287



Первый пучок по  $\frac{l_1+l_2}{2}$  Второй пучок по  $\frac{l_3+l_4}{2}$

Рис. 288

В подобном случае считается, что, начиная от конца перегородки, поперечным потоком оmyвается только половина труб. Живое сечение при поворачивании газов берется как среднее между  $a_1$  и  $a_2$ . Типовая формула для подсчета среднего живого сечения приводится ниже (см. форм. 264).

Примеры подсчетов живого сечения при расчетах сопротивлений первого газохода котла, пароперегревателя и второго газохода приведены на рис. 285 для котла ДВК.

На рис. 286 расчеты даются для котла КРШ и на рис. 287— для СП, МП, ТП.

Сопротивления, возникающие при поворотах газов, подсчитываются по указаниям, приведенным ранее.

Если поворот газов происходит вне пучков труб (рис. 288), то скорость, по которой подсчитывается сопротивление поворота, принимается с учетом трех живых сечений: в конце предыдущего пучка в газоходе, при отсутствии загромождающего пучка и при входе в последующий пучок.



Расчетная площадь живого сечения, по которому в дальнейшем устанавливается и расчетная скорость, определяется по уравнению

$$\Omega = \frac{3}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2} + \frac{1}{\Omega_3}}, \quad (264)$$

где  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  и  $\Omega_3$  — сечения в начале, середине и в конце поворота.

Если поворот происходит в самом пучке, то расчет ведется аналогично, только в среднем сечении учитывается его заполнение трубами.

Газовые сопротивления, подсчитанные по приведенным ранее формулам, являются теоретическими и не учитывают влияния загрязнений и различие удельного веса газов и воздуха. Полученные расчетные данные подлежат исправлению путем умножения на коэффициент  $K$ , учитывающий реальные условия эксплуатации. Значения коэффициента  $K$  даны в табл. 50.

Таблица 50

Значения поправочных коэффициентов к теоретическим формулам, определяющим газовое сопротивление газопроводов

Название элемента котельной установки	Коэффициент $K$
1. Секционные котлы Шухова—Берлина и др.:	
а) при работе на газе, мазуте и древесном топливе . . .	1,05
б) при слоевом или камерном сжигании угля и торфа . . .	1,15
2. Вертикально-водотрубные котлы:	
а) при работе на газе, мазуте и древесном топливе . . .	0,90
б) при слоевом и камерном сжигании угля и торфа . . .	1,00
3. Пароперегреватели . . . . .	1,30
4. Чугунные ребристые водяные экономайзеры ЦККБ . . . . .	2,00
5. То же, ВТИ . . . . .	1,00
6. Трубчатые воздухоподогреватели:	
а) газовый тракт . . . . .	1,25
б) воздушный тракт . . . . .	1,00

Поправка на удельный вес и барометрическое давление. После подсчета и суммирования сопротивлений по газовому тракту в конце расчета вводится общая поправка на различие удельного веса газа и воздуха.

Поправка вносится в виде общего множителя

$$\frac{\gamma_0}{1,293} \cdot \frac{760}{h_{бар}},$$

при этом удельный вес газов  $\gamma_0$  определяется по уравнению (266).

### Самотяга в газоходах

Физическое объяснение явления самотяги дано в § 42. Здесь приводится формула для подсчета самотяги в отдельных газоходах котлоагрегата:

$$h_0 = \pm H \left( 1,2 - \gamma_0 \frac{273}{273 + T_{\text{пот}}^{\text{ср}}} \right) \text{ мм вод. ст.} \quad (265)$$

При подъемном газоходе самотяга имеет положительное значение, при опускном — отрицательное. Приведенный удельный вес дымовых газов подсчитывается по выражению

$$\gamma_0 = \frac{1 - 0,01A^p + 1,293\alpha V_0 \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) + 0,001\alpha V_0 \times}{\Sigma V} \times \frac{\left(1 - \frac{q_4}{100}\right) d}{\Sigma V} \text{ кг/н.м}^3, \quad (266)$$

где  $A^p$  — зольность рабочего топлива в %;

$V_0$  — теоретически необходимое количество воздуха, требующееся для сжигания 1 кг топлива, в  $\text{н.м}^3/\text{кг}$  (см. табл. 19);

$\left(1 - \frac{q_4}{100}\right)$  — поправка на механический недожог;

$d$  — влажность воздуха, обычно принимаемая равной 8—10 г/н.м<sup>3</sup>;

$\Sigma V$  — объем продуктов сгорания в  $\text{н.м}^3/\text{кг}$  для принятого избытка воздуха  $\alpha$  может приниматься в любом месте котельной установки, так как  $\gamma_0$  изменяется незначительно.

Для примера, приведенного в табл. 19:

$$\gamma_0 = \frac{1 - 0,01 \cdot 16,9 + 1,293 \cdot 1,6 \cdot 6,75 \left(1 - \frac{9}{100}\right) + 0,001 \times}{10,16} \times \frac{1,6 \cdot 6,75 \left(1 - \frac{9}{100}\right) 10}{10,16} = 1,34 \text{ кг/н.м}^3.$$

При сравнительно невысоких котельных агрегатах, используемых для отопительных целей, величиной самотяги по котлоагрегату можно пренебречь, считая, что она создает небольшой запас к величине тяги, развиваемой тяговыми устройствами.

## § 99. РАСЧЕТ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ

Элементарное объяснение явления тяги было дано в гл. IV. Если обозначить разность давлений наружного воздуха и горячих газов у корня трубы через  $\Delta p$ , последнее будет равно разности веса двух столбов газа с разными температурами и одинаковой высотой, т. е.

$$\Delta p = \left( H \frac{\gamma_b}{1 + \frac{t_b}{273}} - H \frac{\gamma_r}{1 + \frac{T_{тр}}{273}} \right) \frac{b}{760} \text{ кг/м}^2. \quad (267)$$

В этой формуле удельный вес воздуха и газов  $\gamma_b$  и  $\gamma_r$  принят при  $0^\circ$  и 760 мм и сделаны пересчеты, учитывая расчетные температуры и принятое барометрическое давление.

Упрощая в дальнейшем уравнение (267) (приравниваем  $\gamma_r = \gamma_b = 1,3 \text{ кг/м}^3$ , ошибка получается ничтожной), получают

$$\begin{aligned} \Delta p &= S_{тр}^T = H \cdot 273 \cdot 1,3 \left( \frac{1}{273 + t_b} - \frac{1}{273 + T_{тр}} \right) \frac{b}{760} = \\ &= 0,47H \left( \frac{1}{273 + t_b} - \frac{1}{273 + T_{тр}} \right) \text{ мм вод. ст.}, \end{aligned} \quad (268)$$

где  $H$  — высота трубы в м;

$t_b$  и  $T_{тр}$  — температуры наружного воздуха и газов в трубе;

$S_{тр}^T$  — теоретическая тяга дымовой трубы или разрежение при закрытой задвижке в мм вод. ст.

Когда задвижка открыта и по трубе проходят газы, то на создание выходной скорости, на преодоление сопротивления трения о стенки трубы, а также в связи с охлаждением ствола трубы придется израсходовать часть теоретической тяги, и у основания трубы будет наблюдаться разрежение меньшее, равное

$$S_{тр}^д = S_{тр}^T - S_w - S_c - S_{охл} \text{ мм вод. ст.} \quad (269)$$

По табл. 51 можно определить величину теоретической тяги, зная температуру отходящих газов у основания трубы, а также задаваясь температурой наружного воздуха. Барометрическое давление и влажность воздуха приняты в таблице отвечающими средним условиям  $b = 750 \text{ мм рт. ст.}$  и  $\varphi = 70\%$ .

Охлаждение газов в трубе, считая на 1 м высоты, может быть подсчитано по следующим эмпирическим формулам:

а) для железных нефутерованных труб

$$\Delta T = \frac{2}{\sqrt{D}} \text{ град/м;} \quad (270)$$

$S_{гр}^T$  — теоретическая тяга в мм вод. ст. на 1 м высоты трубы

Средняя температура газов в дымовой трубе в град.	Удельный вес воздуха при относительной влажности $\varphi=70\%$ и давлении 750 мм рт. ст.										
	1,420	1,375	1,327	1,300	1,276	1,252	1,228	1,206	1,182	1,160	1,137
	Температура воздуха в град.										
	-30	-20	-10	-5	+0	+5	+10	+15	+20	+25	+30
140	0,565	0,515	0,470	0,442	0,415	0,391	0,368	0,345	0,320	0,300	0,277
160	0,597	0,550	0,502	0,475	0,451	0,427	0,403	0,381	0,357	0,335	0,312
180	0,631	0,585	0,537	0,510	0,486	0,462	0,438	0,416	0,392	0,370	0,347
200	0,665	0,620	0,572	0,545	0,521	0,497	0,473	0,451	0,427	0,405	0,382
220	0,698	0,650	0,602	0,575	0,551	0,527	0,503	0,481	0,457	0,435	0,412
240	0,728	0,678	0,630	0,603	0,579	0,555	0,531	0,509	0,485	0,463	0,440
260	0,755	0,705	0,657	0,630	0,606	0,582	0,558	0,536	0,512	0,490	0,467
280	0,780	0,728	0,680	0,653	0,629	0,605	0,581	0,559	0,535	0,513	0,490
300	0,800	0,751	0,703	0,676	0,652	0,628	0,605	0,582	0,558	0,536	0,513
320	0,820	0,772	0,724	0,697	0,673	0,649	0,625	0,603	0,579	0,557	0,534
340	0,842	0,792	0,744	0,717	0,693	0,669	0,645	0,623	0,599	0,577	0,554
360	0,862	0,810	0,762	0,735	0,711	0,687	0,663	0,641	0,617	0,595	0,572
380	0,880	0,827	0,779	0,752	0,728	0,704	0,680	0,658	0,634	0,612	0,589

б) для железных футерованных труб

$$\Delta T = \frac{0,8}{\sqrt{D}} \text{ град/м}; \quad (271)$$

в) для малых кирпичных труб (средняя толщина кладки  $\leq 0,5$  м)

$$\Delta T = \frac{0,4}{\sqrt{D}} \text{ град/м}; \quad (272)$$

г) для больших кирпичных труб (средняя толщина кладки  $> 0,5$  м).

$$\Delta T = \frac{0,2}{\sqrt{D}} \text{ град/м}, \quad (273)$$

где  $D$  — суммарная максимальная паропроизводительность всех котлов, присоединенных к трубе, в *т/час*.

Определив таким образом  $\Delta T$ , можно в формуле (268) заменить  $T_{\text{тр}}$  значением  $(T_{\text{тр}} - \frac{\Delta TH}{2})$ , тогда поправка в формуле (269) на охлаждение трубы исключается.

Обыкновенно в трубах небольшого диаметра скорость по выходе газов из трубы принимается равной 4—6 *м/сек*, при больших диаметрах (2 м и более) скорость повышается, доходя до 8—10 *м/сек*. При дымососах скорость газов по трубе может доходить до 10—15 *м/сек*, лишь бы обеспечить разрежение в выхлопных газоходах после дымососа во избежание выбивания из них газов.

Площадь выходного сечения трубы подсчитывают, задаваясь скоростями выхода газов:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{BV_{\text{г}}(T_{\text{тр}} - H\Delta T + 273)}{3600 \cdot 273w} \text{ м}^2, \quad (274)$$

откуда определяется верхний внутренний диаметр трубы.

Потеря тяги, связанная с наличием выходной скорости, подсчитывается по формуле

$$S_w = \zeta \frac{w^2}{2g} \gamma_{\text{пот}} \text{ мм вод. ст.}, \quad (275)$$

$\zeta$  принимается равным единице;

$\gamma_{\text{пот}}$  принимается при температуре  $(T_{\text{тр}} - H\Delta T)$  град.,  
а  $\gamma_0 = 1,3 \text{ кг/м}^3$ .

Сопротивление трения определяется по приближенной формуле:

$$S_c = \Delta h = \lambda \frac{H_{\text{тр}}}{d_{\text{ср}}} \cdot \frac{w_{\text{ср}}^2}{2g} \gamma_{\text{пот}} \text{ мм вод. ст.}, \quad (276)$$

где  $\lambda$  — коэффициент трения; принимается равным 0,04 как для кирпичных, так и стальных труб, учитывая в последних местные сопротивления в местах стыка внахлестку обечаек;

$\gamma_{\text{пот}}$  — удельный вес, определенный при температуре

$$\left( T_{\text{тр}} - \frac{\Delta TH}{2} \right) \text{град.}$$

Скорость газов определяется из выражения

$$w = \frac{BV_{\text{г}} \left( T_{\text{тр}} - \frac{\Delta TH}{2} + 273 \right)^4}{3600 \cdot 273 \pi d_{\text{ср}}^2} \text{ м/сек.} \quad (277)$$

Средний расчетный диаметр трубы определяется по уравнению

$$d_{\text{ср}} = \frac{2d_1 d_2}{d_1 + d_2} \text{ м,} \quad (278)$$

где  $d_1$  — верхний внутренний диаметр трубы в м;  
 $d_2$  — нижний внутренний диаметр трубы в м.

При изготовлении стальных труб обычно диаметр не меняется:  $d_1 = d_2$ .

Для кирпичных труб можно пользоваться следующим соотношением:

$$d_2 \geq d_1 + 0,01H \text{ м,} \quad (279)$$

где  $H$  — высота трубы в м.

Дымовую трубу, так же как и дымосос, рассчитывают на максимальную нагрузку. В отопительно-производственных котельных максимальная нагрузка совпадает с хорошими условиями тяги (морозные дни). Поэтому, рассчитав трубу по максимальной нагрузке при зимней температуре наружного воздуха, надо произвести проверку для условий летней работы при  $t_{\text{в}} = 20-30^\circ$ , когда из-за понижений нагрузки будут меньше газовые сопротивления газоходов, но зато и ухудшится тяга.

Для возможности регулирования тяги в дымовой трубе должен создаваться запас тяги; поэтому сумма газовых сопротивлений обычно увеличивается на 20%.

В соответствии с санитарными нормами проектирования промышленных предприятий, утвержденными Советом Министров СССР 6 января 1951 г., высота дымовых труб принимается по табл. 52.

Таблица 52

Среднесуточный расход топлива в <i>т/час</i>	Высота трубы в <i>м</i>
До 5	30
От 5 до 15	45
„ 15 „ 50	60

Примечание. При расположении в радиусе 200 м от котельной соседних зданий выше 15 м минимальная высота дымовой трубы принимается равной 45 м.

Радиус санитарно-защитных зон в метрах для промышленных котельных с расходом топлива от 3 *т/час* и более дан в табл. 53.

Таблица 53

Зольность топлива в % в рабочей массе	Промышленные котельные при улавливании 50% золы и расходах топлива	
	3-12,5 <i>т/час</i>	более 12,5 до 25 <i>т/час</i>
До 10	100	300
Более 10 до 15	100	300
„ 15 „ 20	100	500
„ 20 „ 25	300	500
„ 25 „ 30	300	500
„ 30 „ 45	500	1 000

Примечание. Указания данных таблиц не распространяются на котельные, работающие на древесном топливе и газе, для которых размеры санитарно-защитных зон устанавливаются по характеру основного производства.

ПОДСОБНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЕЛЬНЫХ  
УСТАНОВОК

## Глава XVI

## ТОПЛИВОПОДАЧА И ЗОЛУДАЛЕНИЕ

## § 100. СКЛАДЫ ТОПЛИВА

Для обслуживания мелких отопительных котельных, находящихся в подвальном этаже здания или под двором, склад топлива должен находиться также в подвале и примыкать непосредственно

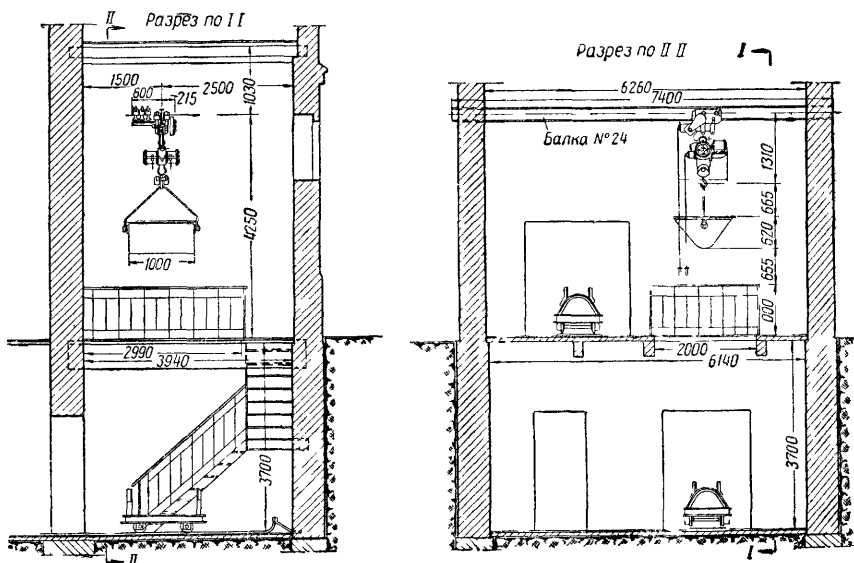


Рис. 289

к котельной. Топливо на склад подвозится автотранспортом и сыпается в помещение склада через особые люки. Со склада кочегар на вагонетках доставляет топливо к котлам. Зола и шлаки свозятся и накапливаются в отдельных огороженных местах склада топлива, откуда и удаляются наружу при помощи довольно про-



стых устройств; к этим устройствам относятся, в частности, тельфер (рис. 289) и ковшевой вертикальный транспортер (рис. 290).

Под жилыми зданиями допускаются к установке паровые котлы с давлением не выше 0,7 атм и водогрейные — при нагревании воды до 115°. Паровые котлы более высоких давлений и водогрей-

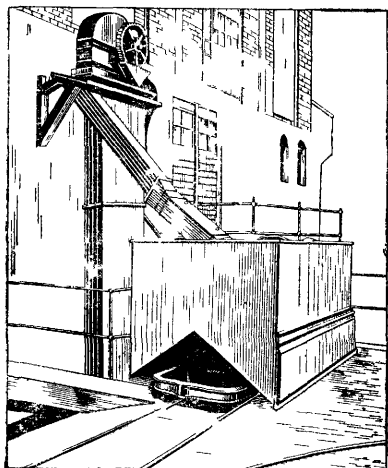


Рис. 290

ные с перегревом воды выше 115° должны иметь котельную, вынесенную в особое здание. Обыкновенно такая котельная обслуживает несколько зданий и является уже более укрупненной. Тогда склад топлива по большей части делают открытым, на некотором расстоянии от котельной, на месте, удобном для подвоза топлива.

При построении как самого здания выносной котельной, так и топливного склада при ней следует считаться с направлением ветров, господствующих в данной местности, стремясь оградить жилые здания от попадания в них угольной пыли и отходящих газов. Размеры потребления топлива отопитель-

ными котельными настолько велики, что применение каких-либо механических устройств для разгрузки топлива на складе будет нецелесообразно.

Обыкновенно ограничиваются узкоколейной железной дорогой, по которой подвозится со склада в котельную топливо, по ней же отвозят шлак и золу на специальный открытый склад, находящийся рядом с топливным. Вагонетки передвигают вручную.

Для таких перемещений топлива и шлака желательно применение электрокар, пока еще не получивших большого распространения.

Разгрузка топлива, поступающего на склад отопительно-производственных котельных, производится при помощи механических приспособлений, из которых наибольшим распространением пользуется передвижной ленточный транспортер, при помощи которого топливо разгружается из вагонов на штабель.

При назначении высоты штабеля угля необходимо считаться с его родом и сортом, так как мелкие угли с повышенным выходом летучих обладают свойством выветривания и самовозгорания. Чем короче срок хранения угля на складе, тем меньше опасность

самовозгорания. Обыкновенно на складе хранится 1—2-месячный запас топлива. Запасы на целый отопительный сезон делают в мелких отопительных установках или в случаях доставки топлива водным транспортом.

При появлении самовозгорания тлеющие места в штабелях нужно отделить от остальной массы угля и затем направлять на сжигание и в крайних случаях тушить песком или землей, избегая применения воды. Охлаждая горячие места, вода испаряется и водяные пары, конденсируясь на холодной массе остального угля, будут выделять скрытое тепло парообразования, тем разогревая уголь и способствуя продолжению самовозгорания. Ширина угольных штабелей берется не более 20 м, а длина — по местным условиям. Для антрацита и тощих углей высота, ширина и длина штабелей не ограничиваются. Высота штабелей торфа берется равной 5 м при ширине 8 м. Ввиду большой самовозгораемости торфа, в особенности фрезерного, необходим тщательный контроль за температурой в штабелях. Максимально допускаемый штабель дров из условий погрузки и разгрузки может иметь высоту 4 м при ширине 8 м и длине 30 м.

### § 101. СХЕМЫ ПОДАЧИ ТОПЛИВА И УДАЛЕНИЯ ЗОЛЫ

Отопительно-производственная котельная установка, как правило, должна иметь не менее двух этажей. На второй этаж подают топливо, с первого этажа удаляют шлак и золу. Оба этажа — наземные. Располагать золовой этаж в подвале допускается только по особому разрешению Котлонадзора, например, при сжигании дров в шахтных топках и при наличии низкого уровня грунтовых вод. Незначительное количество дровяной золы можно в таких случаях поднимать наверх путем примитивных подъемных сооружений, дрова же направляют к топкам без подъема. Таким образом, в первую очередь встает вопрос о подаче топлива на второй этаж котельного здания. Простым способом подачи топлива является подъем вагонетки канатом по наклонной плоскости, располагаемой около котельной. Электролебедка с реверсивным ходом устанавливается в противоположном конце котельной, и таким образом осуществляется подъем и опускание вагонеток при их движении по наклонной эстакаде. Здание котельной совместно с эстакадой занимает много места и неудачно komponуется в архитектурном отношении.

Более совершенным способом является подача топлива при помощи шахтного грузового подъемника (лифта). Вагонетка, поднятая на второй этаж, далее в горизонтальном направлении передвигается по рельсовому пути вручную, и уголь сваливается перед фронтом котлов. С целью обеспечения бесперебойности подачи топлива следует устанавливать два подъемника.

Требования о расположении первого и второго этажа котельного здания выше уровня земли изложены только в последнем издании правил Котлонадзора (1950 г.). Поэтому еще много имеется котельных с золовым подвалом. В таких случаях подъем шлаков и золы на первый этаж для небольших котельных часто осуществляется путем использования электротельфера (рис. 289).

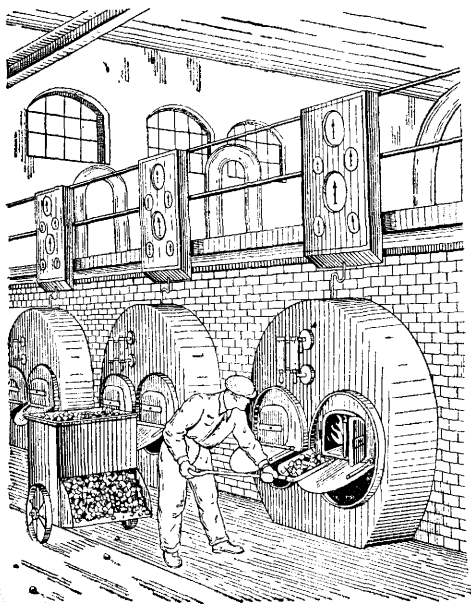


Рис. 291

Кузов вагонетки, нагруженной шлаком, поднимается тельфером вверх; далее тельфер передвигается по монорельсу в горизонтальном направлении, а кузов вагонетки опускается на базу, передвигающуюся по рельсовому пути, проложенному на уровне земли и используемому для подачи топлива. Это устройство может быть применено и при подаче топлива на второй этаж. Располагая в таких случаях рельсовый путь в пределах котельного здания, ближе к стене последнего, перед фронтом котлов остается не загроможденная сваливаемым из вагонеток углем площадь, достаточная для удобной работы кочегара.

Расстояние от фронта котлов до противоположной стены здания по правилам Котлонадзора должно быть не менее 3 м. При отоплении нефтяными остатками или газом часто такое расстояние и оставляется, если под котлами не предполагается сжигания твердого топлива, а также если это расстояние достаточно по условиям монтажа котла. Вставляя в водотрубный котел трубы при его монтаже или ремонте, их приходится заносить с фронта, и размеры помещения должны допускать подобные мероприятия.

При отоплении кусковым топливом с провозом его по рельсам вдоль фронта и сбрасыванием вбок перед котлами расстояние от фронта котлов до стены здания надо делать равным около 5—6 м, чтобы обеспечить кочегару рабочее место.

В мелких котельных (2—3 котла по 100 м<sup>2</sup>) это расстояние возможно снизить до 4 м за счет использования для расположения

топлива части площади пола, находящейся против промежутков между котлами.

Чтобы сократить расстояние от фронта котлов до стены здания (или, вернее, от фронта топок, потому что при выносных топках, например, к жаротрубным котлам, все эти расстояния приходится отмерять от фронта топок), следует воспользоваться безрельсовыми вагонетками типа приведенного на рис. 291. В таком случае при одноэтажном здании котельной необходимо иметь рядом рас-

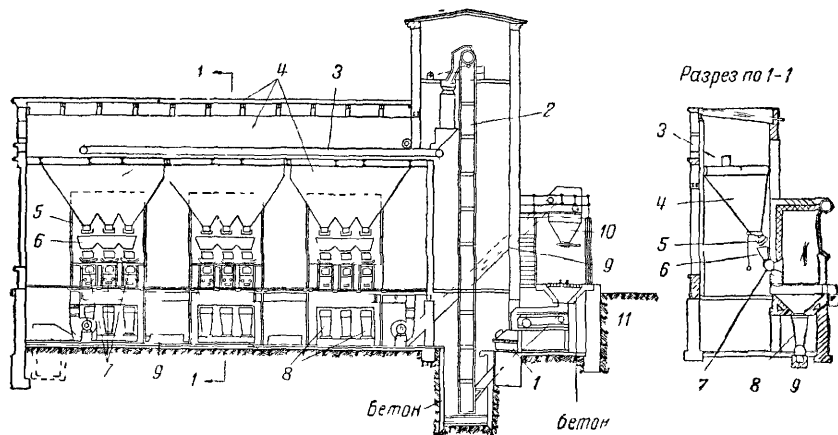


Рис. 292. Компоновка топливоподачи и золоудаления в котельной

1—дробилка; 2—элеватор; 3—ленточный транспортер; 4—бункеры; 5—секторные затворы; 6—приемные воронки топок; 7—механические забрасыватели топлива; 8—спускные шлаковые рукава; 9—шлаковый скребковый транспортер; 10—бункер удаленного шлака; 11—узкая колея

положенный крытый склад топлива, так как перемещение вагонеток без рельсов допускается только по гладкому полу.

Если загрузка топлива в топку производится со второго этажа, то также можно воспользоваться безрельсовыми вагонетками. Тогда топливо подается тем или иным подъемным сооружением в бункер, находящийся в пределах котельной. К бункеру подают вагонетки для наполнения их топливом, и далее вагонетки размещают у топочных дверок, как указано на рис. 291.

С первого этажа котельной шлак и золу удаляют при помощи вагонеток.

Наличие золового этажа позволяет при чистке топки отъединять коридор с вагонеткой, в которую сыпаются шлак и зола, от остального помещения дверью (рис. 159), что улучшает условия работы. Отъединяемое помещение можно вентилировать; открывать дверь следует только после того, как мелкая пыль частично осядет, а частично будет удалена.

Из нижних частей котельных газоходов при отсутствии золowego этажа золу выгребают, при наличии золowego этажа зола высыпается в вагонетку под действием силы тяжести. Необходимо обращать внимание на должную герметичность золовых затворов, иначе чрезмерно возрастет присос воздуха.

Если чистка золы из газохода производится через специально предусмотренные в обмуровке лазы периодически, то рекомендуется для лучшей их герметичности, кроме прикрывания чугунной дверки, одновременно отверстия лаза закладывать двумя кирпичными перегородками по  $\frac{1}{2}$  кирпича, выкладываемыми на глине. Дверка в таких случаях может и отсутствовать (рис. 145)

В крупных отопительно-производственных котельных, котлы которых снабжаются механическими или полумеханическими топками, подача топлива и удаление золы полностью механизуются.

На рис. 292 показана схема механизации топливоподачи и золоудаления.

Подвозимый со склада в вагонетках по узкоколейной железной дороге уголь после опрокидывания кузова вагонетки направляют питателем в дробилку, где он размельчается до размера кусков 35—40 мм, после чего уголь при помощи ковшевого элеватора поднимается вверх. Далее уголь перегружается на ленточный транспортер и, перемещаясь

в горизонтальном направлении особым сбрасывателем, засыпается в один из бункеров.

Шлак и золу из топочных бункеров периодически через спускные рукава направляют в канал, по которому при помощи скребкового транспортера перемещают в шлаковый бункер, находящийся снаружи. В дальнейшем под бункер подают порожние вагонетки, при помощи которых шлак и золу отвозят на склад.

Расположение оборудования топливоподачи и золоудаления по рис. 292 предполагает покатый профиль местности. При ровном месте элеватор удлиняют, а оборудование топливоподачи, включая дробилку, соответственно размещают ниже.

На рис. 293 показан другой вариант топливоподачи, когда дробилка перемещена вверх. Подачу топлива в вертикальном направлении в таком случае лучше производить не ковшовым эле-

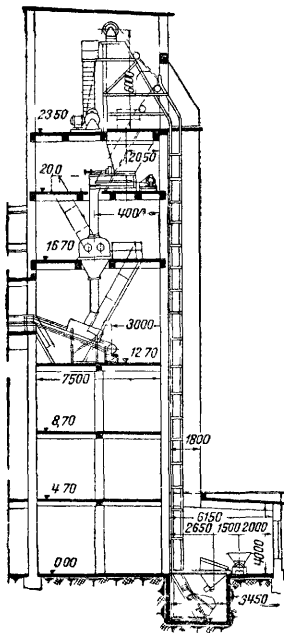


Рис. 293

ватором, а скиповым подъемником. Крупных размеров ковш скипового подъемника перемещается вверх и вниз, двигаясь в особых направляющих. После подъема ковш поворачивается и сбра-

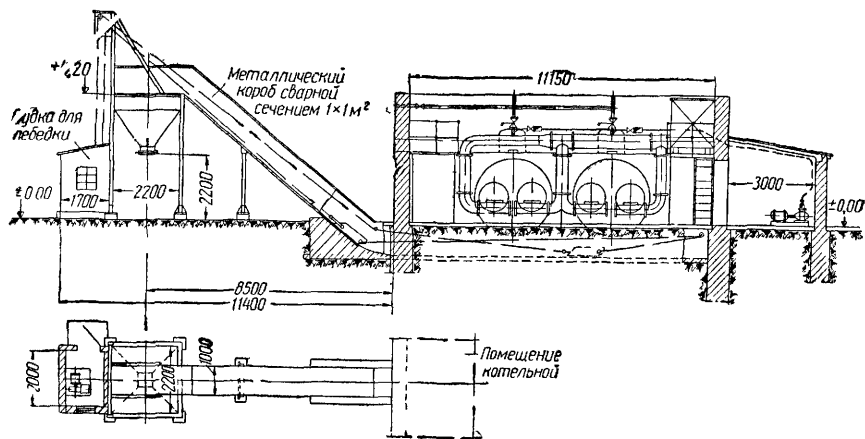


Рис. 294

сывает уголь в приемный бункер, откуда при помощи питателя уголь попадает в дробилку.

При механизации шлако-золоудаления хорошим решением является использование скрепера. На рис. 294 показана схема

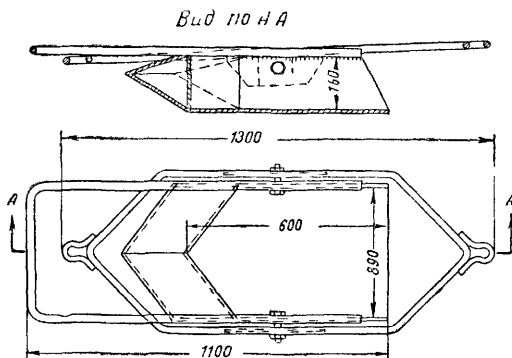


Рис. 295

расположения скреперного устройства для транспортирования шлака и золы, удаленных из топков жаротрубных котлов, спущенных в канал, где ходит взад и вперед ковш скрепера. Шлак и зола,

перемещаемые скрепером не только в горизонтальном, но и в наклонном направлениях, попадают в бункер, откуда аналогично предыдущей схеме их вагонетками отвозят на склад. Рядом со шлаковым бункером устраивают будку, в которой размещают электролебедку с реверсивным ходом (рис. 294).

На рис. 295 приведена конструкция скреперного ковша-лопаты. Ковш может свободно поворачиваться около оси, которая присоединена к тяговой раме. Когда ковш перемещается в горизонтальном направлении, то при захватывании шлака его задний конец поднимается кверху, однако, подходя к наклонной плоскости, упорная рама, жестко связанная с ковшом, упирается в направляющие (рис. 296), приводя таким образом ковш в горизонтальное положение и тем облегчая его движение по наклонной части канала.



Рис. 296

Скрепер можно использовать и для подачи топлива в котельную.

С целью придания надежности в отношении бесперебойной подачи топлива к топкам было бы желательно дублировать элеваторы, ленты и т. п., однако в сравнительно некрупных отопительно-производственных котельных это было бы слишком дорого. Наличие бункеров с запасом топлива на 8 час. и более дает возможность произвести необходимый ремонт оборудования. Хорошим решением следует признать дополнительную, в виде резерва, установку электротельфера по рис. 289.

Удаление золы и шлаков из котельных теплоэлектростанций часто производится при помощи воды. Из современных систем гидрозолоудаления выделяется система напорного гидрозолоудаления лауреата Сталинской премии инж. Б. А. Москалькова. После выгрузки из топок и газоходов шлак и зола смываются водой в каналы и выносятся по ним к центральному пункту; отсюда мощным гидроэлеватором, струя которого идет под давлением 25 ат, шлак и зола нагнетаются в отводящую к отвалам сеть золопроводов. Шлак, проходя через гидроэлеватор, раздробляется, и таким образом, гидроэлеватор совмещает функции дробилки и транспортера.

## Глава XVII

ТРУБОПРОВОДЫ КОТЕЛЬНЫХ И ПИТАТЕЛЬНЫЕ  
УСТРОЙСТВА

## § 102 ПАРОПРОВОДЫ

При проектировании паропровода следует руководствоваться такими соображениями.

Паропровод должен быть прост. Всякое нагромождение дополнительных линий будет удорожать установку и усложнять ее эксплуатацию.

Надо стремиться устанавливать на паропроводе как можно меньше фланцев, так как они обычно и являются местами аварий (свищ в прокладке, ослабление болтовых креплений и пр.). Замена фланцевых соединений сваркой дает повышение надежности паропровода при эксплуатации. С целью уменьшения числа фланцев надо избегать установки тройников, вместо этого прямо вваривая штуцер в соответствующем пункте паропровода. Также не рекомендуется ставить специально изготовленных колен, а по мере надобности следует изгибать прокладываемую трубу.

При разогревании паропровод расширяется, поэтому, проектируя паропровод, нужно так расставить мертвые точки, т. е. места жесткого крепления труб к опорам, чтобы отдельные участки паропровода могли свободно расширяться за счет компенсирующей способности изогнутых частей.

В котельных с небольшим числом котлов установки компенсаторов в котельной следует избегать, что при удачном расположении мертвых точек и соответствующих изгибов труб вполне возможно.

В крайних случаях допускается установка П-образных компенсаторов из труб.

Магистральный паропровод отопительной котельной обычно выполняют одинарным (не двойным и не кольцевым), так как из всех случаев аварий в котельной на долю магистрального паропровода падает ничтожный процент. Чтобы при случайном выбрасывании воды из котла в трубопроводы не заносить ее далее к потребителю пара, на паровых магистралях устанавливают специальные водоотделители (рис. 297 или 298). Часто роль водоотделителя выполняет так называемая паровая гребенка — увеличенного размера труба с расположенными на ней сверху патрубками, раздающими пар к отдельным потребителям.

Для давления пара выше 0,7 *ати* все трубопроводы должны быть стальные бесшовные или сварные. Применение газовых труб допускается на вспомогательных линиях при диаметрах не более 50 *мм*.



Дренаж паропровода разделяется на постоянно действующий и дренаж при прогреве включаемого в работу участка. Первый производится при помощи конденсационных горшков, присоединяемых к ограниченному числу мест, например, к нижним пунктам водоотделителей. Конденсационный горшок работает при наличии давления в паропроводе, а в момент прогрева линии давления еще нет, следовательно, и конденсационный горшок не выпустит из паропровода скопившуюся вследствие конденсации пара воду. Поэтому при прогревании паропровода следует иметь особые дре-

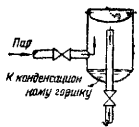


Рис. 297

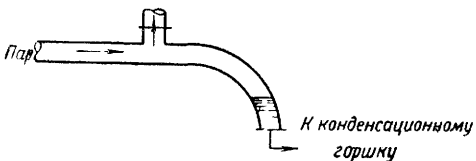
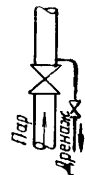


Рис. 298



нажные линии из всех пунктов возможного скопления конденсата: открывая вентили, можно выпустить воду в сборный водяной бак (рис. 298).

Дренируются паропроводы как насыщенного, так и перегретого пара. Скорость пара в линиях насыщенного пара обыкновенно принимают не выше 30 м/сек. В крупных магистралях перегретого пара скорости пара доводят до 50—80 м/сек, только при таких скоростях уже нельзя ставить вентили, так как они создают большие сопротивления, а надо переходить на задвижки.

Задавая скорость пара, можно определить диаметр паропровода из формулы

$$\frac{\pi d^2}{4} w \gamma = \frac{D}{3600}. \quad (280)$$

где  $\gamma$  — удельный вес пара в кг/м<sup>3</sup>;  
 $D$  — его часовой расход в кг/час;  
 $w$  — скорость в м/сек.

При увеличении скорости пара повышаются сопротивления его отдельных участков и арматуры. Чтобы в таком случае не снизить давление пара у потребителя, надо будет поднять давление на котле, а это скажется на толщине его стенок. С другой стороны, при повышении скорости пара уменьшаются диаметр паропровода и, следовательно, расход металла на трубы, кроме того, снижается потеря тепла паропроводом в окружающую среду.

Приведенные выше значения скоростей пара, применяемых на практике, установлены как наиболее экономически выгодные.

Связь между падением давления и скоростью пара определяется следующей приближенной формулой, применяемой при небольших перепадах давления:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \gamma \text{ кг/м}^2, \quad (281)$$

где  $\Delta p$  — падение давления в  $\text{кг/м}^2$ ;

$l$  — длина паропровода в  $\text{м}$ ;

$d$  — диаметр паропровода в  $\text{м}$ ;

$\gamma$  — удельный вес пара в  $\text{кг/м}^3$ ;

$g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ .

Для сравнительно коротких трубопроводов значение  $\lambda$  может быть принято равным 0,02.

Падение давления в вентилях, коленах и тройниках может быть выражено следующей формулой:

$$\Delta p = \zeta \frac{w^2}{2g} \gamma \text{ кг/м}^2, \quad (282)$$

где  $\zeta$  — коэффициент сопротивления.

Для вентилях коэффициент сопротивления изменяется в зависимости от размера вентиля (табл. 54).

Таблица 54

Диаметр прохода в мм	25	50	70	100	200	300	350
Коэффициент сопротивления $\zeta$ . . . . .	4,3	4,60	5,0	5,4	6,4	7,1	7,5

При ориентировочных подсчетах можно принимать коэффициенты сопротивлений для гнутых колен  $90^\circ$  — около 0,3, для тройников при сходящемся потоке — 2,0, при встречном — 3,0, обратных клапанов — 1,8 и водоотделителей — 10.

Для уменьшения тепловых потерь паропроводы изолируют. Выбор типа изоляции и соответствующие технико-экономические соображения подробно излагаются в курсе «Теплоснабжение».

При рассмотрении конструкций пароперегревателей уже указывалось на желательность регулирования перегрева пара вне котла. Если имеются потребители как перегретого пара, так и насыщенного, то не следует делать двух самостоятельных линий перегретого и насыщенного пара, а надо ограничиться одной линией перегретого пара, с установкой на тех ответвлениях, где требуется насыщенный пар увлажнителей (рис. 200 и 201).

### § 103. ПИТАНИЕ ПАРОВЫХ КОТЛОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

Паровые котлы низкого давления и водогрейные котлы. В паровой котельной установке, предназначенной для отопления паром низкого давления (до 0,7 атм), иногда обходятся без насосов, располагая котлы ниже сети и побуждая таким образом конденсат возвращаться в котел самотеком. Неизбежные потери конденсата пополняются водой из водопровода. На случай перебоя в работе водопровода следует иметь ручной насос для возможности подкачивания воды.

Обычное расположение питательных линий паровых котлов низкого давления приводится на рис. 299. Конденсат стекает в сборный бак, откуда центробежным насосом, приводимым в движение от электродвигателя, конденсат перекачивается в котлы.

На рис. 299 изображена схема переключений, позволяющая пользоваться ручным насосом для подкачивания добавочной воды в котлы, а также для удаления воды из котлов.

В соответствии с требованиями котлонадзора к каждому котлу присоединяется свое выкидное приспособление (см. также рис. 127), общей является только труба, объединяющая выход пара, которая введена в данном случае прямо в дымовой бороз.

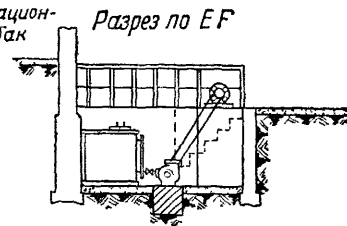
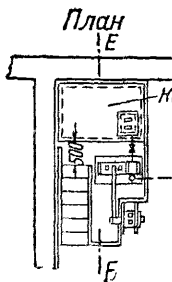
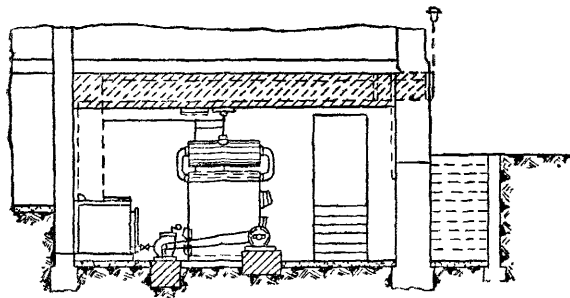
На рис. 299 приведена паровая установка низкого давления с чугунными секционными котлами; схема в части питательных и паровых линий не изменится и при котлах других систем.

Схема питания водогрейных котлов весьма несложная. Питание осуществляется за счет обратной воды, идущей из системы. Вместо отключающих вентилей здесь ставят задвижки как имеющие меньшие гидравлические сопротивления. Задвижки желательно ставить и на паровых линиях низкого давления. В обратную линию включают циркуляционные насосы — центробежные с приводом от электродвигателей в количестве не менее двух, из которых один резервный.

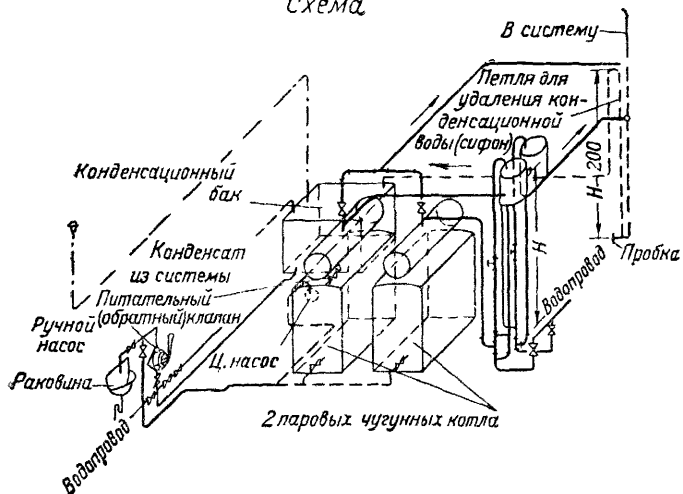
Подбор насосов зависит от конструкции сети и поэтому должен быть отнесен к задачам курсов «Отопление и вентиляция» и «Насосы и вентиляторы».

Пополнение убыли воды из системы, т. е. подпитка, производится или непосредственно из водопровода, или посредством ручного насоса. В крупных котельных подпитка осуществляется электроцентробежными насосами. Если подпитка производится непосредственно из водопровода, то в месте присоединения водопровода устанавливают вентиль и обратный клапан, предупреждающий возможность перетекания воды из сети в водопровод в случае понижения давления в последнем.

У водогрейных котлов с искусственной циркуляцией необходимо иметь аварийную линию диаметром не менее 50 мм. В мо-



Схема



Вариант отвода конденсационной воды из главного стояка при установке одного котла

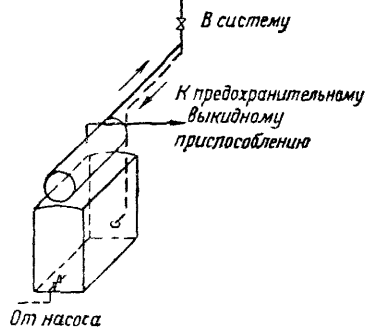


Рис. 299

менты случайного выключения тока и остановки насосов скорость циркулирующих потоков воды резко упадет и вода в котлах может перегреться выше расчетных пределов, что недопустимо. Поэтому при остановке питательных насосов, если кочегар увидит, что температура воды повышается, и можно опасаться, что она перейдет допустимый предел, надо выгребать жар из топок и одновременно открывать вентиль на обратной линии, производя обмен воды в котле.

#### § 104. ПИТАНИЕ ПАРОВЫХ КОТЛОВ С ДАВЛЕНИЕМ БОЛЕЕ 0,7 *атм*

Требуемая правилами Котлонадзора питательная и паровая арматура рассматривалась в специальной главе. Здесь следует остановиться на питательных насосах и питательной сети.

Водяное питание котельных выполняется особенно надежно. Незначительное снижение уровня воды ниже допустимых пределов способно, например, в жаротрубном котле вызвать оголение жаровой трубы, ее перегрев, разрушение и взрыв котла. Поэтому устанавливается питательный насос с производительностью не менее 120% от требуемой при максимальной нагрузке. Кроме того, дополнительно добавляется еще такой же производительности резервный насос, паровой или с приводом от электродвигателя.

При установке трех и более питательных насосов требуется, чтобы в случае выхода из строя одного из них и к тому же самого мощного остальные могли бы обеспечить производительность в 120% от максимальной паропроизводительности котельной. Суммарная производительность паровых насосов должна быть не менее 120% от максимальной паропроизводительности котельной.

Насосы забирают воду из сборного бака, куда стекает, или в случаях, не обеспечивающих собирания конденсата самотеком, подкачивается обратный конденсат и добавляется свежая вода, пополняющая потерю конденсата.

В установках крупных тепловых станций питание котлов производится непрерывно, особые автоматы регулируют подачу воды в котлы. Объемы сборных баков на крупных станциях принимаются с расчетом обеспечения питания котлов в течение 30 мин.

В отопительных установках регулировка питания по большей части производится вручную кочегаром или в крупных котельных — специальным работником по водосмотру. Котлы с большим водяным объемом часто питают периодически. Поэтому для отопительных котельных необходимо в сборном питательном баке иметь запас воды не меньший, чем соответствующий часовому расходу пара. Водяных баков следует устанавливать два или, что менее желательно, делить один перегородкой на две части. Это

дает возможность в случае непрерывной работы котельной в течение года производить осмотр и ремонт баков.

Вода в сборном баке по большей части горячая — с температурой выше  $50^{\circ}$ . Это надо учитывать и устанавливать насосы под заливку (рис. 299), иначе могут получаться перебои в работе насоса, так как во всасывающей линии насоса будет происходить разрежение, и вода может закипеть. В случаях применения термической деаэрации питательной воды, когда насосом приходится перекачивать воду, имеющую температуру  $100^{\circ}$ , питательные баки

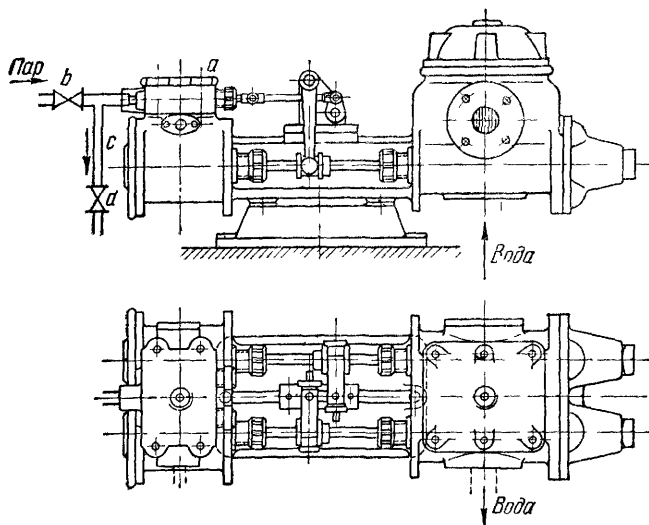


Рис. 300

устанавливают в верхних пунктах котельного здания, а насосы — внизу.

Из паровых насосов наибольшим распространением в отопительных установках пользуются поршневые прямодействующие насосы (рис. 300). Часовой расход прокачиваемой ими питательной воды регулируется путем мяття пара, поступающего в насос. Насос допускает большие колебания в количестве подаваемой воды, но берет много пара — от 50 до 100 кг на гидравлическую силу-час, или от 3 до 5% от выработанного пара. Поэтому для установок, в которых большая часть конденсата возвращается назад, вследствие чего температура питательной воды в сборном баке получается высокой, лучше использовать в качестве основного питательного устройства электроцентробежный насос и иметь паровой в резерве

Если же этого сделать не удастся при отсутствии электрического тока и т. п. и все устанавливаемые насосы будут паровыми, то на выхлопной линии насосов надо устанавливать водяные подогреватели поверхностного типа, использующие скрытую теплоту парообразования для подогревания воды, идущей на питание котлов. Повышение температуры питательной воды в подогревателе, работающем на выхлопном паре, колеблется в пределах от 15 до 25°.

Конденсат из подогревателей выбрасывается наружу и ни в каком случае не направляется в бак, так как конденсат прямодействующего насоса загрязнен маслом

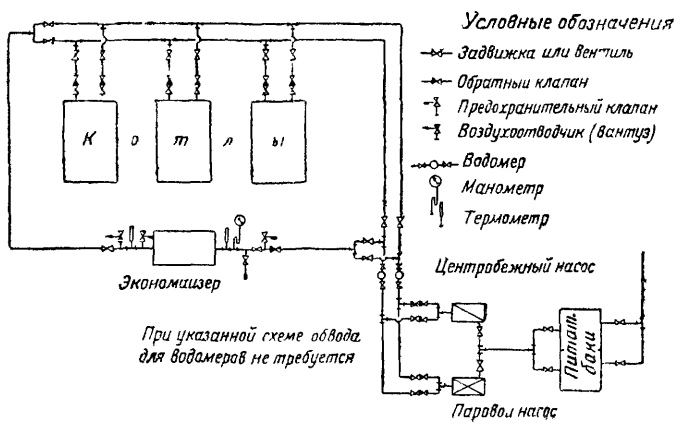


Рис. 301

В установках с расходом пара порядка 20—30 т/час можно устанавливать паротурбонасосы; их конденсат маслом не загрязняется и поэтому может направляться в питательный бак. Подобное возвращение тепла отработанного пара обратно в котел получается при пользовании для питания инжектором, однако он применения в отопительных установках не получает, так как плохо засасывает горячую воду.

Подсчет мощности питательного насоса производится по формуле

$$N_{\text{гидр}} = \frac{D_{\text{п}} \cdot 10 (p + 1 \text{ до } 5)}{367 \cdot 200} \text{ квт}, \tag{283}$$

где  $p$  — избыточное давление пара в кг/см<sup>2</sup> в котле; к нему добавляется от 1 до 5 ат на сопротивление трубопроводов и экономайзера;

$D_{\text{п}}$  — часовой расход питательной воды в л/час.

Нагрузка двигателя определяется так:

$$N = \frac{N_{\text{гидр}}}{\eta_{\text{н}}} \text{ кВт}, \quad (284)$$

где  $\eta_{\text{н}}$  — к. п. д. насоса; для центробежного насоса колеблется в зависимости от величины подачи от 0,5 до 0,7.

Иногда пар, расходуемый на цели производства, целиком теряет свой конденсат. Тогда питательную воду требуется подогреть в сборном баке, так как питание котла холодной водой может расстроить швы, в результате чего появится течь; если же котельная имеет водяной экономайзер, то холодная вода при значительном количестве паров в отходящих газах вызовет его потение и разъедание.

В подобных случаях целесообразно устанавливать в котельной только паровые питательные насосы, добавляя к ним подогреватель на линии мягого пара. Если же этого окажется мало и вода не нагреется до температуры, превышающей точку росы, то в бак придется добавлять острый пар. Регулирование подачи острого пара удобно осуществляется по схеме рис. 300, где  $a$  — поршневой прямодействующий насос;  $b$  — вентиль, регулирующий подачу пара,  $c$  — ответвление, выводящее острый пар в бак,  $d$  — вентиль для начальной регулировки температуры питательной воды.

К выполнению сети трубопроводов, подводящих воду к котлоагрегатам, предъявляются повышенные требования в отношении надежности их эксплуатации. Если паровая магистраль по большей части бывает одипарной, то водяное питание необходимо обеспечить двойной линией, чтобы в случаях неполадок во фланце или вентиле можно было немедленно переключить питание на другую линию. Двойной линией объединяются питательные насосы и питательная арматура котла. Если в котельной имеется экономайзер, то к нему можно и не вести двойной линии, так как при нарушении водяного питания экономайзера поток газов пропускают по обходному борову. На рис. 301 дана схема питания при групповом экономайзере, соответствующая положениям, выказанным выше.

На рис. 302 приведена схема питательных трубопроводов для котлов, снабженных индивидуальными экономайзерами.

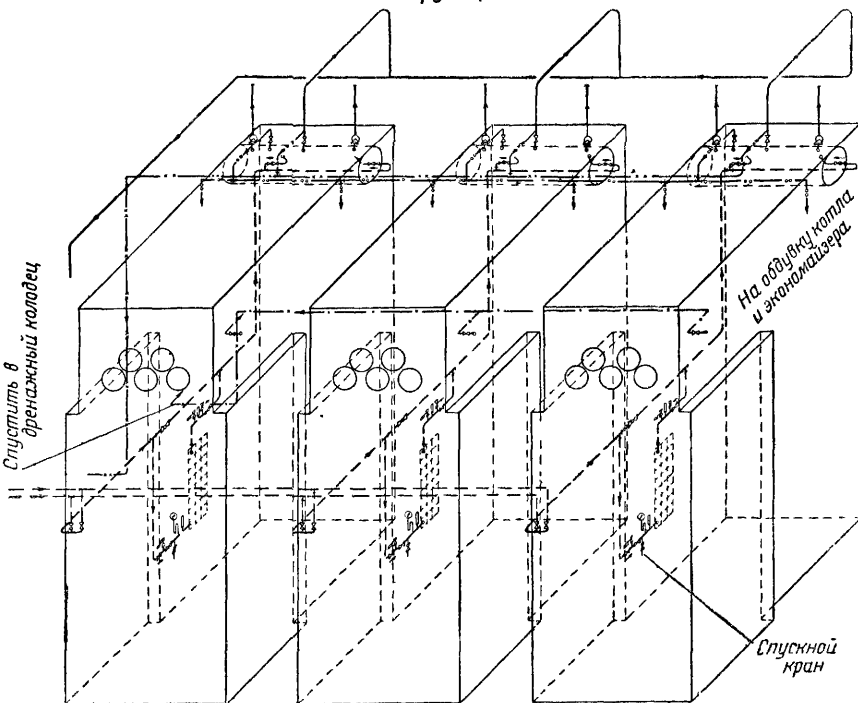
Трубы для питательных линий должны удовлетворять тем же требованиям, что и для паропроводов.

Вопросы компенсации разрешаются так же, как и в паропроводах. Скорость воды по нагнетательным магистральным линиям



берется в пределах  $1,0-2,0$  м/сек, в ответвлениях к котлам во всасывающих линиях и пр. —  $0,5-1,0$  м/сек. Если питательные магистрали проводятся так, что вода сначала поднимается, а за-

Схема трубопроводов котельной



Условные обозначения:

— Пар	— Предохранительный клапан
- - - - - Конденсат	— Запломбированный вентиль
- · - · - Спускная	— Манометр
- · - - - Дренажная	— Термометр
- · - · - Обдувочная	— Вантуз
— Вентиль	— Обратный клапан

Рис. 302

тем опускается вниз, то в местах наибольшего подъема устанавливаются автоматические воздухоотводчики (вантузы) или простые воздухоотборники.

## Глава XVIII

## ВОДОПОДГОТОВКА

## § 105. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Отложение накипи на стенках паровых котлов ведет к перерасходу топлива за счет понижения коэффициентов теплопередачи, кроме того, в местах, наиболее напряженных по сообщению тепла, например, в топочной части, слой накипи способен вызвать перегрев стенки и аварию котла.

Накипь образуется преимущественно растворенными в воде солями кальция и магния.

Качество питательной воды измеряется градусами жесткости.

В СССР принято считать за 1° жесткости раствор CaO в количестве 10 мг/л.

Остальные соли — Ca и Mg — пересчитывают в эквивалентное количество CaO, учитывая атомные веса и валентность.

**Пример.** Сколько по весу требуется израсходовать CaSO<sub>4</sub> (гипс), чтобы получить жесткость воды, равную 1°.

Молекулярный вес CaSO<sub>4</sub> равняется 136,13 Молекулярный вес CaO — 56,07. Количество CaSO<sub>4</sub>, эквивалентное 1°, равняется

$$\frac{10 \cdot 136,13}{56,07} = 24,28 \text{ мг/л град.}$$

Вывод основывается на законе Вант-Гоффа, по которому «разведенные растворы различных веществ содержат в равных объемах, при одинаковой температуре, одинаковое количество молекул».

Различают общую жесткость воды  $H$ , состоящую из суммы  $H_k$  — карбонатной жесткости (временной) и  $H_n$  — некарбонатной жесткости (постоянной):

$$H = H_k + H_n \quad (285)$$

Карбонатная жесткость определяется количеством бикарбонатов кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и магния Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Эта жесткость также называется временной, так как она уничтожается при нагревании воды, когда указанные соли распадаются.

В некарбонатную жесткость входят остальные соли — Ca и Mg, так называемые сульфаты — CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> и хлориды — CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>.

**В тех же градусах жесткости измеряется щелочность воды.**

Щелочность воды  $A$  характеризует количество находящихся в ней щелочных соединений. Сюда относятся гидраты (например, NaOH — едкий натр), карбонаты (в частности Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> — кальцинированная сода), бикарбонаты NaHCO<sub>3</sub> и др.

Растворенные в воде соли Ca и Mg, как уже указывалось, создают в котле накипь. Щелочность котловой воды в известных

пределах полезна, так как парализует вредное, корродирующее воздействие на металлическую стенку растворенных в воде газов: кислорода и углекислоты. Чрезмерная щелочность воды вызывает вспенивание воды и частичное ее выбрасывание вместе с паром; в подобных случаях также опять возникают условия, благоприятствующие корродированию стенок.

В настоящее время в СССР утверждена новая единица для измерения жесткости и щелочности воды: миллиграмм-эквивалент на литр (*мг-экв/л*) (ГОСТ 6055-51).

Для перевода градусов жесткости или щелочности в миллиграмм-эквиваленты на литр надо число градусов разделить на 2,8.

### § 106. НОРМЫ КАЧЕСТВА КОТЛОВОЙ ВОДЫ

Влияние щелочности в составе котловой воды уже было отмечено.

На отложение накипи, а также на возможность появления вспенивания и выноса растворенных в воде солей вместе с паром оказывает большое влияние общее солесодержание в котловой воде.

Вода в паровом котле выпаривается, а растворенные в ней соли по мере работы котла все более концентрируются. Объем воды в котле является как бы аккумулятором этих солей: чем он больше, тем медленнее будет происходить их концентрация.

Подходя в процессе эксплуатации котла к достижению предельных значений щелочности и концентрации солей, требуется обмен воды в котле, его продувка.

С целью получения чистого пара в котловой воде должна поддерживаться определенная концентрация солей и щелочности.

При слишком высокой концентрации солей и щелочности повышается влажность пара.

Тут значительную роль играют: конструкция котла, площадь зеркала испарения и объем парового пространства. Чем последние два размера относительно больше, тем спокойнее паровыделение, и можно допускать повышенную концентрацию солей.

При слишком высокой щелочности котловой воды последняя вспенивается и пена выносится вместе с паром в паропроводы.

В дальнейшем будут указаны нормы котловой воды, поддержание которых достигается путем непрерывной продувки. Соли и щелочи, поступающие с питательной водой, удаляются при продувке, чем и достигается известное равновесие.

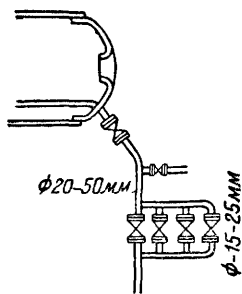


Рис. 303

Продувочная вода берется из верхнего барабана котла, где наблюдается наибольшая концентрация солей, затем, проходя через дроссельную шайбу, поступает в расширитель и далее в поверхностный теплообменник, после чего выбрасывается.

На рис. 303 показано, как при помощи установки ряда шайб, имеющих разные отверстия, можно регулировать продувку.

В отопительно-производственные котельные непрерывная продувка еще только начинает внедряться. В большинстве случаев ограничиваются периодической продувкой, при которой гораздо труднее выдержать нормы котловой воды, что и сказывается на ухудшении качества получаемого пара.

Величина продувки может быть определена из следующего уравнения баланса солей при непрерывной продувке.

1) По щелочности

$$(D_k + D_{пр}) a_{щ} = D_{пр} A_{щ} + D_k a_n, \quad (286)$$

где  $D_k$  — часовой расход пара в кг/час;

$D_{пр}$  — часовой расход продуваемой воды в кг/час;

$A_{щ}$  — допускаемая щелочность котловой воды в град.;

$a_{щ}$  — щелочность питательной воды в град.;

$a_n$  — щелочность в уносе с паром в град.

Аналогично может быть написано уравнение баланса по общему количеству растворенных в воде веществ (сухой остаток):

$$(D_k + D_{пр}) a_{с.о} = D_{пр} A_{с.о} + D_k a_{с.о}^n, \quad (287)$$

где  $A_{с.о}$  — допускаемое общее количество растворенных в котловой воде веществ (сухой остаток в мг/л)<sup>1</sup>;

$a_{с.о}$  — общее количество растворенных в питательной воде веществ (сухой остаток) в мг/л;

$a_{с.о}^n$  — сухой остаток в уносе с паром.

Если пренебречь уносом солей с паром, то формула (287) видоизменяется так:

$$(D_k + D_{пр}) a_{с.о} = D_{пр} A_{с.о}, \quad (288)$$

откуда

$$D_{пр} = \frac{D_k a_{с.о}}{A_{с.о} - a_{с.о}}. \quad (289)$$

Величина продувки в процентах от общего расхода пара  $D_k$  может быть выражена:

<sup>1</sup> Содержание в воде растворенных в ней веществ (кроме газов) определяется путем выпаривания и последующего высушивания осадка при  $t = 110^\circ$ .

Количество веществ в миллиграммах, считая на 1 л воды, называется сухим остатком.

1) по щелочности

$$P_{щ} = \frac{a_{щ}}{A_{щ} - a_{щ}} 100\% ; \quad (290)$$

2) по сухому остатку

$$P_{с.о} = \frac{a_{с.о}}{A_{с.о} - a_{с.о}} 100\% . \quad (291)$$

Процент продувки принимается наибольший из двух подсчитываемых.

Необходимо стремиться к понижению количества продувочной воды, так как с продувкой связаны тепловые потери. В этом отношении полезна предварительная подготовка питательной воды, а также ступенчатое испарение, о которых говорится в дальнейшем. В табл. 55 даются нормы котловой воды в зависимости от давления пара и конструкции котлов.

Таблица 55

Нормы котловой воды

Давление пара в <i>ати</i>	Конструкция котла	Общее количество растворенных в котловой воде веществ (сухой остаток) в мг/л	Щелочность котловой воды в град.
10	Жаротрубные котлы . . . . .	12 000	60
15	Котлы с дымогарными трубами — локомотивные и др. . . . .	4 000	30—40
15	Водотрубные котлы с грязевиками . . . . .	4 500	35—40
15	Водотрубные котлы с нижним барабаном . . . . .	4 000	30—40
15	Водотрубные котлы без нижних барабанов и грязевиков—типа Шухова — Берлина . . . . .	2 000	25
33	Котлы с естественной циркуляцией . . . . .	1 500—3 000	15—35
60	То же	1 000—1 500	15—20
100	"	500—1 000	5—10
30 до 140	Прямоточные котлы Л. К. Рамзина (питательная вода) . . .	0,2—0,5	0,01—0,02

§ 107. СОДОВО-ИЗВЕСТКОВЫЙ СПОСОБ ВОДОПОДГОТОВКИ

Этот способ пользовался до последнего времени наибольшим распространением как обеспечивающий хорошие качества пита-

тельной воды, понижая ее жесткость до  $0,5—1,0^{\circ}$  при щелочности порядка  $4—5^{\circ}$  вне зависимости от того, в каких соотношениях находились в исходной воде карбонатная и некарбонатная жесткость.

Однако применение этого способа умягчения воды вызывает ряд затруднений, особенно в сравнительно небольших по теплопроизводительности отопительно-производственных котельных. Способ требует громоздкого оборудования, состоящего из ряда резервуаров: сатуратора, отстойника, бака умягченной воды и др. Все сложное оборудование обычно располагается в значительном по объему отдельном помещении и должно обслуживаться квалифицированным персоналом, так как требуется подсчитывать дозировку реактивов в зависимости от изменяющегося качества исходной воды, ведя постоянный химический контроль за работой устройства в целом.

При применении содово-известкового метода, как и большинства других методов химической водоподготовки, соли жесткости, имеющиеся в питательной воде, путем воздействия на них реактивов переводят в соли с ничтожно малой степенью растворимости; в таком случае последние будут выпадать в осадок еще в пределах водоочистителя. Правда, указанные соли будут насыщать питательную воду и, следовательно, по мере выпаривания выпадать в осадок и в самом котле, но их абсолютное количество будет весьма незначительно, а следовательно, накипь или грязь (шлам), от них образующиеся, также будут малы.

Таким образом, химическая водоподготовка не избавляет котел полностью от образования шлама или накипи, но доводит их количество до незначительных размеров, а при правильно организованной продувке котлов накипь на них и вовсе не будет отлагаться.

Воздействуя на воду химическими реагентами, не удается так видоизменить ее состав, чтобы в ней остались только соли с ничтожно-малой степенью растворимости. Надо стремиться, чтобы остальные соли, наоборот, имели очень большую степень растворимости, и, таким образом, даже при большом их количестве в составе котловой воды, они не будут доходить в растворе до состояния насыщения и, следовательно, выпадать кристаллами накипи на стенках котла. В табл. 56 приводится характеристика в отношении растворимости главнейших солей, вызывающих накипобразование. Как видно из таблицы, ничтожно малую степень растворимости имеют соли карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  и гидрат окиси магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , все же натриевые соли обладают весьма высокой степенью растворимости.

Основываясь на только что изложенных положениях, при содово-известковом методе воздействуют на соли карбонатной жест-

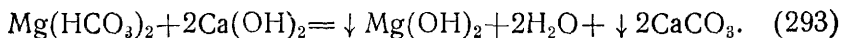
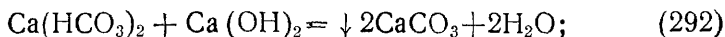
Растворимость вещества в грамм-молекулах на 1 *m* воды при 20°

Элементы	Cl <sub>2</sub>	(OH) <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Ca	6 710	23	15	6,3	0,13
Mg	5 720	0,15	3 030	9,2	1,15
Na <sub>2</sub>	6 120	2 730	1 360	1 140	2 020

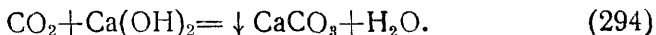
кости (бикарбонаты кальция и магния) гашеной известью Ca(OH)<sub>2</sub>.

Гашение извести, приготовление известкового молока и затем насыщение известью подвергающейся умягчению питательной воды производятся в особых резервуарах, причем воду не подогревают, так как с повышением температуры падает степень растворимости извести. Для лучшего растворения соды воду подогревают обычно острым паром до температуры порядка 80°.

Реакция между бикарбонатами и известью проходит по уравнениям

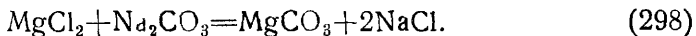
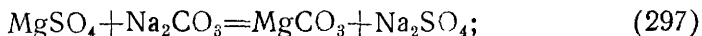
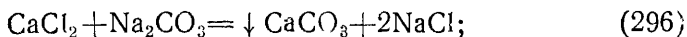
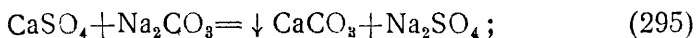


Находящаяся в воде углекислота CO<sub>2</sub> уничтожается путем реагирования с известью

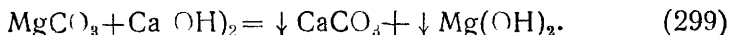


В дальнейшем в формулах стрелкой, направленной вниз, будет обозначаться соль, выпадающая в осадок, а стрелкой, направленной вверх, — удаляющийся газ.

На некарбонатные соли жесткости, сульфаты и хлориды производится воздействие кальцинированной содой Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:



На образовавшуюся в результате реакции MgCO<sub>3</sub> воздействует известь



В итоге соли жесткости переводятся в соли с ничтожно малой степенью растворимости CaCO<sub>3</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub> и в соли с высокой растворимостью — Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NaCl. Качество умягченной этим способом воды, как уже указывалось, может характеризоваться

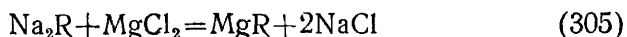
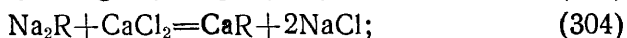
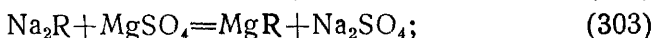
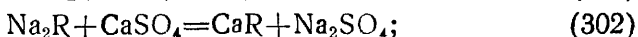
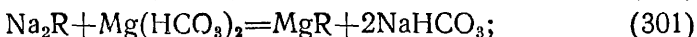
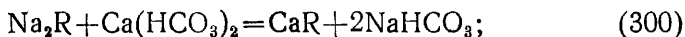
жесткостью 0,5—1,0° и щелочностью 4—5°, что является вполне приемлемым для большинства отопительно-производственных котельных установок.

### § 108. ВОДОУМЯГЧЕНИЕ МЕТОДОМ КАТИОНИРОВАНИЯ

По теории электролитической диссоциации молекулы некоторых веществ из находящихся в водном растворе распадаются на положительно и отрицательно заряженные ионы — катионы и анионы.

При прохождении такого раствора через фильтр, содержащий трудно растворимый материал (катионит), способный к поглощению катионов раствора, в том числе Ca и Mg, и выделяющий вместо них из своего состава катионы Na или H, происходит водоумягчение. Вода почти полностью освобождается от Ca и Mg, и ее жесткость понижается до 0,1°.

**Na-катионирование.** При этом способе растворенные в воде соли кальция и магния при фильтрации через катионитовый материал обменивают Ca и Mg на Na; в итоге получают только натриевые соли, обладающие (см. табл. 56) большой растворимостью. Изменение солевого состава воды происходит согласно следующим уравнениям:



Сложная формула катионитового материала условно обозначается буквой *R*.

Катионитовыми материалами являются: глауконит, сульфуголь и синтетические смолы. Наибольшим распространением в настоящее время пользуется сульфуголь, который получается после обработки бурого или каменного угля дымящейся серной кислотой.

Сульфуголь имеет следующую характеристику:

Диаметр зерна в мм . . . . .	0,3—1,2
Насыпной вес в воздушно-сухом виде в т/м <sup>3</sup> . . . . .	0,55
Емкость поглощения при Na-катионировании в т град/м <sup>3</sup> . . . . .	800—1 000
Верхний предел температурной стойкости в град. . . . .	70
Годовой износ в % . . . . .	10—15

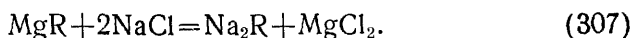
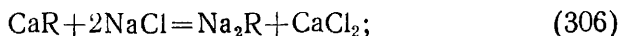


Емкостью катионитового материала называется предел его обменной способности, после чего в результате израсходования катионов Na их требуется восстанавливать путем регенерации.

Емкость измеряется тонно-градусами (*т-град*) накипеобразователей, считая на 1 м<sup>3</sup> катионитового материала. Тонно-градусы получаются в результате перемножения расхода очищаемой воды, выраженного в тоннах, на жесткость этой воды в градусах жесткости.

Регенерация производится 5—10% -ным раствором поваренной соли, пропускаемым через катионитовый материал.

В результате указанной регенерации действие сульфогля восстанавливается. Реакции идут по уравнениям



Концентрированные водные растворы хлоридов кальция, магния, а также избытка соляного раствора выбрасываются.

Характерной особенностью Na-катионирования является отсутствие солей, выпадающих в осадок. Анионы солей жесткости целиком направляются в котел. Это обстоятельство вызывает необходимость повышения количества продувочной воды. Умягчение воды при Na-катионировании получается достаточно глубокое, жесткость питательной воды может доводиться до 0° (практически 0,05—0,1°), щелочность же не отличается от карбонатной жесткости исходной воды.

К недостаткам Na-катионирования следует отнести получение повышенной щелочности в тех случаях, когда имеется значительное количество солей временной жесткости в исходной воде.

Щелочность питательной воды, как уже указывалось, полезна только до известных пределов, иначе образующаяся в результате катионного обмена бикарбонатов кальция и магния соль NaHCO<sub>3</sub> будет в значительных количествах разлагаться в котловой воде на NaOH и CO<sub>2</sub>. Едкий натр начнет вызывать вспенивание и выбрасывание воды с зеркала испарения котла вместе с паром в паропроводы. CO<sub>2</sub>, находясь в свободном виде в котловой воде, будет содействовать коррозированию металла.

Щелочность котловой воды не должна превышать 40°, и только для котлов с большим водяным объемом (жаротрубные) эту цифру можно повысить до 60°.

Ограничиваться одним Na-катионированием возможно при карбонатной жесткости воды, не превышающей 3—6°. В противном случае приходится значительно увеличивать количество продувочной воды, что будет создавать уже большие тепловые потери. Обычно количество продувочной воды не превышает 5—10% от

общего ее расхода, идущего на питание котлов. На рис. 304 приводится конструкция катионитового фильтра.

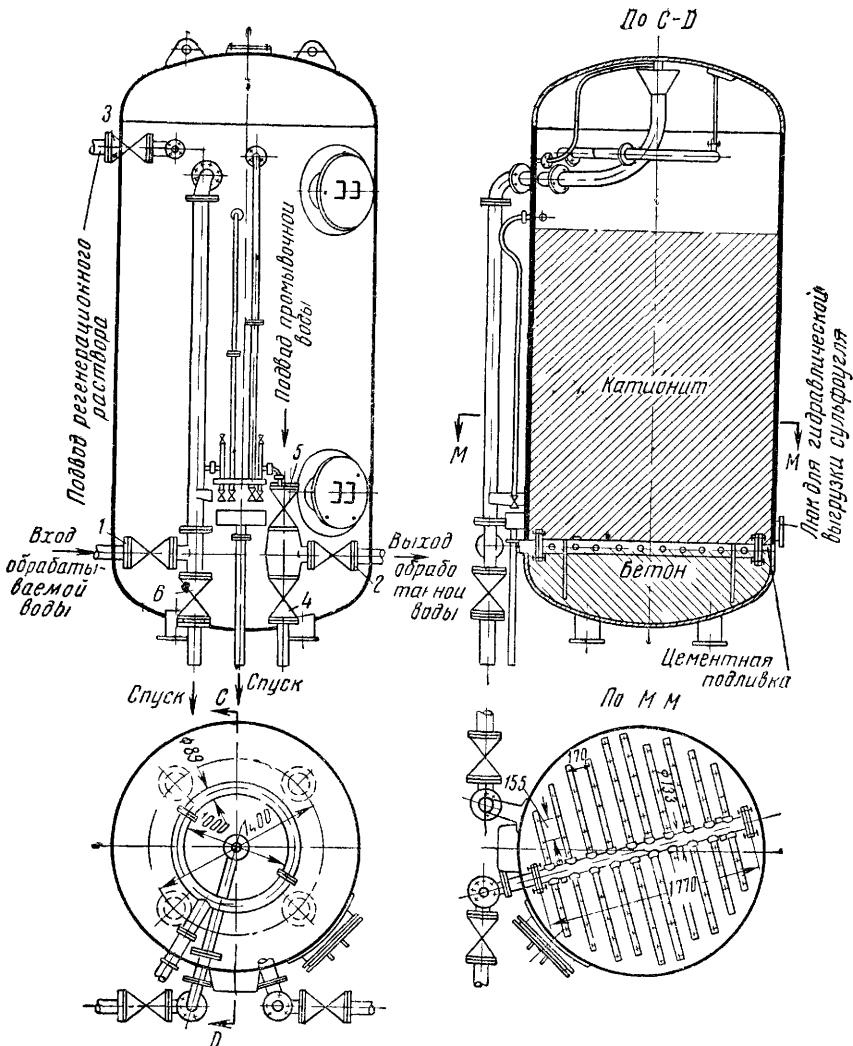


Рис. 304

При работе фильтра открыты задвижки 1 и 2, остальные закрыты. При необходимости произвести регенерирование сначала производят промывку и разрыхление фильтрующего материала путем открывания задвижек 5 и 6. Далее в фильтр подается раствор поваренной соли, открываются задвижки 3 и 4. После

окончания процесса регенерации фильтр надо промыть водой спустив в дренаж остатки хлоридов Ca и Mg и избыток раствора поваренной соли (открыты задвижки 1 и 4). Регенерация катионитового фильтра обычно производится 2—3 раза в сутки и занимает время в сумме на все операции от 1 до 1,5 часа, что при одном рабочем фильтре побуждает иметь один резервный.

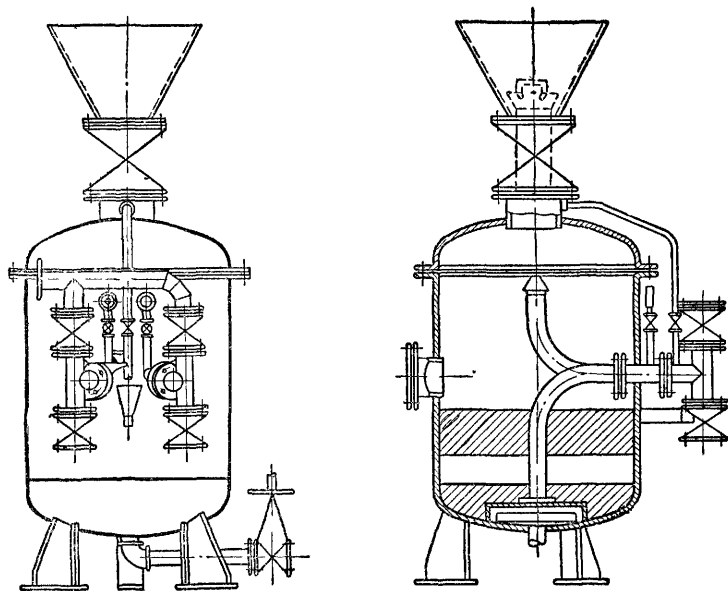


Рис. 305

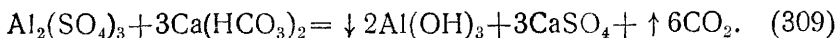
Конструкция соле-растворителя (рис. 305) также выполняется в виде вертикально расположенного цилиндра, но значительно меньших размеров по сравнению с фильтром.

Соль засыпается сверху на слой гравия, являющегося подстилкой и фильтром-осветлителем. С целью получения раствора соли вода через соле-растворитель проводится сверху вниз. Один соле-растворитель, как правило, обслуживает несколько катионитовых фильтров.

Если в результате расчета продувки окажется, что процент ее слишком велик — больше 5—10% — из-за высокой карбонатной жесткости, то процесс катионирования осложняется путем включения дополнительной аппаратуры для предварительного известкования очищаемой воды с целью предельного снижения карбонатной жесткости. Если предварительного известкования не делается, то в подобных случаях прибегают к подкислению очищенной воды путем подмешивания к ней раствора серной кислоты.

В тех случаях, когда для очистки используется не водопроводная вода, а вода, взятая непосредственно из реки, или грунтовая, то в такой воде обычно находятся примеси или в виде мелких взвешенных частиц, или в коллоидном состоянии, причем последние не поддаются фильтрации.

Умеренное количество подобных загрязнений допустимо при содово-известковом методе водоподготовки, но не допускается при катионитовом. Тогда приходится прибегать к предварительному пропусканию воды через фильтры с гравием, и в дальнейшем с целью уничтожения веществ, находящихся в коллоидном состоянии, воду подвергают коагуляции, сущность которой заключается в следующем. На воду воздействуют раствором глинозема  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , который вступает в реакцию с солями карбонатной жесткости по уравнению



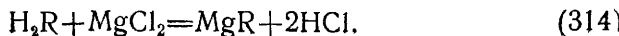
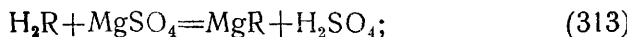
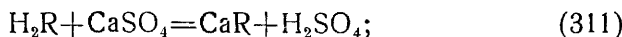
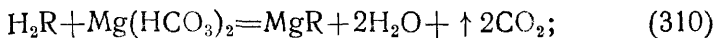
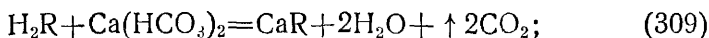
Образовавшийся в результате реакции гидрат окиси алюминия имеет хлопьеобразный вид и в процессе отстаивания, опускаясь вниз, захватывает с собою мелкодисперсные частицы веществ, находящихся во взвешенном состоянии в воде.

Как видно из формулы, карбонатная жесткость частично переходит в некарбонатную.

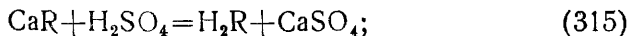
Метод катионирования требует весьма простого обслуживания и доступен обычно персоналу котельной без дополнительного привлечения химика. Для подготовки воды, имеющей повышенную карбонатную жесткость, питающей паровые котлы, в большинстве случаев катионитовый метод сильно усложняется, не отличаясь в этом отношении от содово-известкового.

То же можно сказать и про способ  $H - Na$ -катионирования, предложенный ВТИ.

**$H - Na$ -катионирование.** Если катионитовый фильтр, наполненный сульфоглем, регенерировать не раствором поваренной соли, а раствором серной кислоты, то обмен будет происходить между катионами  $Ca$  и  $Mg$ , находящимися в очищаемой воде, и катионами  $H$  сульфогля по следующим уравнениям:



Регенерация, как уже указывалось, производится раствором серной кислоты по уравнениям



Вода, подготовленная таким образом, также имея ничтожно малую жесткость, одновременно получает кислую реакцию и, таким образом, непригодна для питания паровых котлов, причем кислотность воды равна некарбонатной жесткости воды.

Комбинируя совместно Na- и H-катионитовое водоумягчение, можно получить хорошие результаты; опять приходится упомянуть о необходимости постоянного химического контроля исходной воды в смысле выявления соотношений между карбонатной и некарбонатной жесткостью с целью определения требующихся для регенерации расходов поваренной соли и серной кислоты. Жесткость воды, приготовленной H — Na-катионитовым способом, не превышает  $0,1^\circ$  при щелочности 4—5°.

### §. 109. ФОСФАТИРОВАНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ И КОТЛОВОЙ ВОДЫ

Для котлов высокого давления, работающих с естественной или искусственной циркуляцией, и при концентрированных тепловых потоках, проходящих по трубам этих котлов и их экранов, методы водоподготовки питательной воды: содово-известковый, катионитовый и их комбинации допускаются при обязательном условии дополнительного фосфатирования. При этом преследуются цели: жесткость воды должна быть ниже  $0,1^\circ$ , причем образующие накипь сульфаты, преимущественно Ca и Mg, реагируя с фосфатами, заменяются солями, включающими  $\text{PO}_4$ , имеющими в большинстве случаев более низкую по сравнению с первыми степень растворимости и выпадающими в толще водяного объема котла в виде легко удаляемого при продувке шлама.

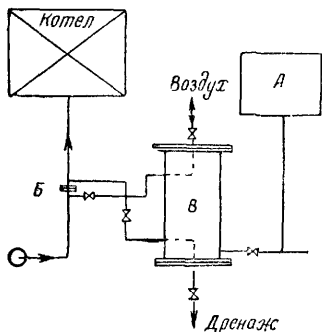


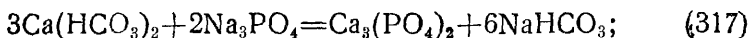
Рис. 306. Схема фосфатирования котловой воды

А — бак для приготовления раствора фосфатов; В — дроссельная шайба; В — индивидуальный дозатор-вытеснитель; Г — питательный насос

условия, обеспечивающие отсутствие накипеобразования.

Обычно для этих целей используется тринатрийфосфат  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

Реакции идут по следующим схемам:



Для фосфатирования котловой воды тринатрийфосфат вводился во всасывающую линию питательных насосов. В дальнейшем эта схема была оставлена, так как наблюдалось загрязнение накипью труб экономайзера. Наиболее целесообразная схема введения тринатрийфосфата приведена на рис. 306, где реактив поступает непосредственно в паровой котел.

### § 110. ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Совершенным способом водоподготовки является получение дистиллированной воды, почти лишенной накипеобразователей. Однако этот способ не получил большого распространения вследствие дороговизны, а также из-за затруднений, вызываемых необходимостью конденсирования значительного количества пара, полученного в дистилляторах. Испарительные установки необходимы при организации питания прямоточных котлов, не имеющих продувки и поэтому не допускающих сколько-нибудь значительного загрязнения питательной воды солями жесткости. Общее солесодержание в питательной воде для прямоточных котлов не должно превосходить 0,5 мг/л.

Испаритель (дистиллятор) обычно имеет конструкцию, состоящую из цилиндра, наполненного водой до известного уровня. В водяной части цилиндра располагают трубы, по которым пропускается первичный пар. Пар побуждает кипеть воду — вторичный пар отводят для дальнейшего конденсирования и пополнения утечек возвращающегося в котел обратного конденсата.

С целью экономии первичного пара ряд испарителей присоединяют друг к другу последовательно.

Расход первичного пара, считая на 1 т дистиллята, составляет (в т):

для одноступенчатой установки . . . . .	1,0—1,2
„ двухступенчатой „ . . . . .	0,6—0,7
„ трехступенчатой „ . . . . .	0,45—0,5

Паропроизводительность испарителя резко ухудшается после образования на поверхностях змеевиков накипи. Чтобы избежать частых чисток испарителей от накипи, воду, расходуемую на испарение, следует предварительно умягчить одним из способов, описанных выше. Периодическая или непрерывная продувка

испарителей производится так же, как продувка паровых котлов. Чтобы вместе с паром из испарителя не заносились соли накипеобразователей, напряжение зеркала испарения не следует брать выше 1 500—2 500 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> час.

### § 111. ДЕАЭРАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Растворенные в питательной воде кислород и углекислота вызывают коррозию стенок котлов, причем коррозия усиливается по мере повышения давления пара.

В настоящее время химическая водоподготовка широко внедряется в отопительно-производственные котельные установки; котлы подобно агрегатам теплоэлектростанций начинают работать при безнакипном режиме. В таких случаях необходимо озаботиться о сохранности от коррозии чистых стенок котельных поверхностей нагрева и питательную воду требуется деаэрировать.

Наиболее простым, не требующим реактивов является метод термической деаэрации. Термическая деаэрация основывается на свойстве кислорода и углекислоты снижать степень растворимости по мере повышения температуры вплоть до кипения, когда при нулевых парциальных давлениях углекислоты и кислорода вне воды их растворимость падает до нуля.

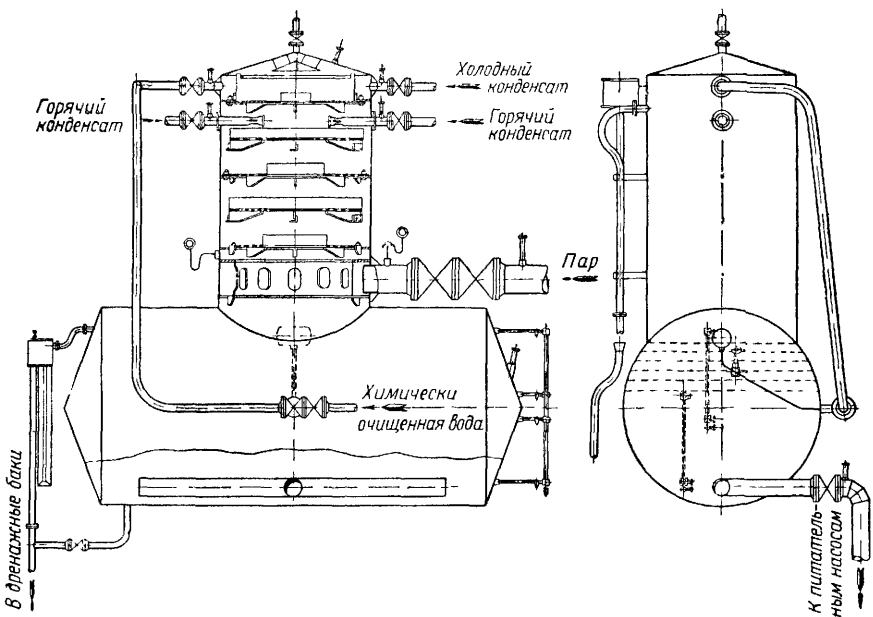
Схема работы деаэратора заключается в том, что вода, разбиваясь на мелкие струи, одновременно подогревается до температуры кипения. В таких случаях удается довести количество свободного кислорода в питательной воде до 0,01 мг/л и ниже, а свободной углекислоты до 2 мг/л.

На рис. 307 приводится смешивающий деаэратор атмосферного типа, изготовляемый Барнаульским котельным заводом.

Деаэратор состоит из деаэрационной колонки, привариваемой к закрытому питательному баку. Питательную воду подают в верхнюю часть колонки, откуда, проходя последовательно через дырчатые противни, она струйками сливается в бак. Пар подается снизу колонки и, направляясь вверх, подогревает воду до состояния кипения, сам одновременно конденсируясь. Выделившиеся из воды газы вместе с остатком пара выбрасываются в атмосферу. Уровень воды в баке поддерживается поплавковым механизмом, воздействующим на задвижку трубопровода питательной воды. На рис. 307 указано раздельное поступление обратного конденсата и пополняющей его убыль химически очищенной воды, поступление которой и регулируется. Если смешение конденсата с добавочной водой произошло до деаэратора, то вся вода поступает через линию химически очищенной воды. Колонка снабжается водяным гидравлическим затвором, не допускающим повышения или понижения в ней давления более допу-

скаемых пределов. Бак также имеет гидравлический затвор и сливную трубу.

Давление в колонке измеряется мановакуумметром и должно находиться в пределах 1,05—1,1 ата. Температура воды в баке должна быть не ниже 101°. Температура смеси выбрасываемых



Фиг. 307

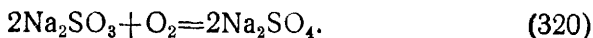
газов и несконденсировавшихся остатков пара колеблется около 95°.

В последнее время начинают получать значительное распространение фильтры, наполненные стальными стружками. Пропуская через эти фильтры воду, уже подвергшуюся термической деаэрации, достигается снижение величины остаточного кислорода, а главное — в значительной степени ликвидируются случайные проскоки кислорода в питательную воду после термической деаэрации. Скорость фильтрации в среднем колеблется около 50 м/час при длительности контакта воды со стружками до 1,5 мин., гидравлическое сопротивление фильтра — 1,5—2 м вод. ст.

В установках высокого давления желательно еще сильнее понизить величину остаточного кислорода. В таких случаях воду подвергают дополнительному воздействию химических реагентов.



Например, в питательную воду вводят раствор сернистокислого натрия с целью поглощения кислорода при образовании сернокислого натрия (сульфатирование) по выражению



## § 112. СТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

При описании способов водоподготовки в большинстве случаев, исключая испарители, щелочность питательной воды получалась при правильном ведении процессов водоподготовки равной 4—5°.

Щелочность котловой воды для котлов низкого давления допускается до 40°, а для котлов повышенных давлений — до 10—15°

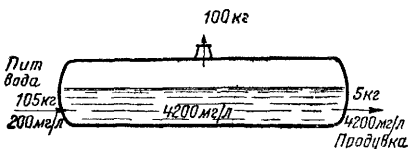


Рис. 308

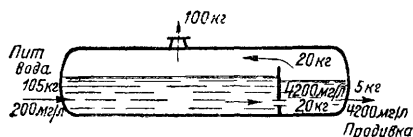


Рис. 309

(см. табл. 55). При подсчетах в подобных условиях по формуле (290) процентов от общего расхода пара воды, идущей на продувку, получаются недопустимо высокие цифры. Например, принимая щелочность питательной воды в 3° при учете, что в питательный бак поступает часть обратного конденсата, а щелочность котловой воды 15°, процент продувки определяется равным

$$\Pi = \frac{3 \cdot 100}{15 - 3} = 25\%.$$

Расходование столь значительного количества воды на продувку явно невыгодно, так как сопряжено также с значительными тепловыми потерями. На станциях высокого давления обычно допускается продувка в пределах до 3%.

Лауреат Сталинской премии проф. Э. И. Ромм предложил способ ступенчатого испарения, позволяющий снизить процент продувки и повысить щелочность и сухой остаток в продувочной воде без ухудшения качества выдаваемого пара.

Сущность предложения заключается в следующем.

Если сравнить работу водотрубного котла, верхний барабан которого изображен на рис. 308, с таким же котлом, но со встроенной в барабан вертикальной перегородкой, делящей барабан на две неравные части и имеющей отверстие, то получается возможность при одинаковых прочих условиях резко сократить количе-

ство продувочной воды. Перегородкой паровой котел как бы разбивается на два котла (рис. 309) или три — при трехступенчатом испарении, причем каждый котел имеет собственный циркуляционный контур.

Питательная вода подводится в первую ступень испарения — левый котел, правая же ступень питается через отверстие в перегородке, и, таким образом, продувочная вода первой ступени является питающей для второй.

На цифровом примере достаточно наглядно демонстрируется снижение солевого состава котловой воды в первой ступени испарения по сравнению со второй.

**Пример.** Расход пара в определенное время равняется 100 кг, за то же время расход воды на продувку —  $d$  кг. Солеосодержание питательной воды (сухой остаток)  $a_{с.о}$  мг/л.

По равенству (288) для обычного типа котла без устройства перегородок можно написать

$$(100 + d) a_{с.о} = d A_{с.о}$$

откуда

$$d = \frac{100 a_{с.о}}{A_{с.о} - a_{с.о}};$$

$$A_{с.о} = \frac{100 + d}{d} a_{с.о} \quad (321)$$

Задавая  $a_{с.о} = 200$  мг/л и в соответствии с табл. 55 сухим остатком для продувочной воды  $A_{с.о} = 4200$  мг/л, получается расход продувочной воды  $d = 5$  кг или  $\Pi_{с.о} = \frac{5}{100} 100 = 5\%$ .

В первую ступень испарения приходит питательной воды  $(100 + d)$  кг и расходуется на продувку — питание второй ступени  $(d + u)$  кг, где  $u$  — расход пара из второй ступени испарения (в примере 20 кг).

В таком случае для первой ступени, рассматривая ее как самостоятельный котел, определяется сухой остаток по тому же равенству (321):

$$A'_{с.о} = \frac{100 + d}{d + u} a_{с.о} \quad (322)$$

Сопоставляя формулы (321) и (322), можно определить, что  $A_{с.о}$  и  $A'_{с.о}$  находятся в таких соотношениях:

$$\frac{A_{с.о}}{A'_{с.о}} = \frac{d + u}{d},$$

т. е.  $A'_{с.о}$  меньше  $A_{с.о}$  в отношении  $\frac{d + u}{d}$ .

Задавая для рассматриваемого примера  $u = 20$  кг, получим сухой остаток в первой ступени испарения:

$$A'_{с.о} = \frac{100 + 5}{5 + 20} 200 = 840 \text{ мг/л.}$$

Сухой остаток для продувочной воды второй ступени испарения (в солевом отсеке) определяется так:

$$A_{c.o.}^* = \frac{u+d}{d} a_{c.o.}^* = \frac{20+5}{5} 840 = 4200 \text{ мг/л.}$$

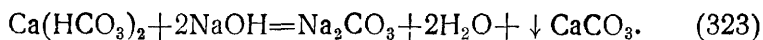
Таким образом, устанавливая в барабане котла перегородку, возможно осуществить такую же продувку, как и в котле без перегородки, с одновременным понижением концентрации солей в первой ступени, над которой и производится отбор пара. Практика эксплуатации показала, что солевой состав в первой ступени испарения, т. е. в чистом отсеке, оказывает преимущественное влияние на вспенивание и выбрасывание воды из котла, так что нормативы, указанные в табл. 55, можно относить к первой ступени, в остальных солевой состав может быть больше. Раз имеется возможность повысить сухой остаток в продувочной воде, следовательно, может быть соответственно сокращено количество продувочной воды.

Ступенчатое испарение позволяет пользоваться химической водоподготовкой для большинства котельных установок высокого давления, исключая только прямоточные котлы, в которых убыль конденсата пополняется дистиллированной водой.

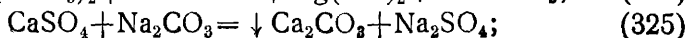
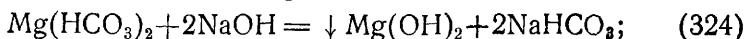
### § 113. ВНУТРИКОТЛОВАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ

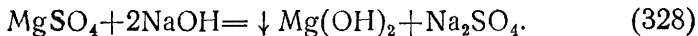
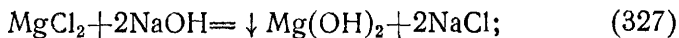
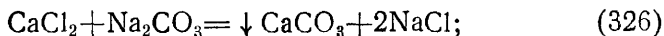
При рассмотрении методов подготовки питательной воды подчеркивались сравнительная сложность и громоздкость требующейся аппаратуры. Для отопительно-производственных котельных, снабженных котлами небольших поверхностей нагрева, естественно напрашивается мысль использовать сам котел в качестве резервуара, в котором и производилась бы необходимая водоподготовка.

При внутрикотловой обработке применяемой для питания котлов воды, в большинстве случаев имеющей значительную жесткость, следует создавать условия, при которых в котле образовывался бы илистый осадок (шлам), удаляемый при продувке. С этой целью в котел вместе с питательной водой вводят едкий натр, каустическую соду NaOH, который, вступая в реакцию с бикарбонатом кальция, образует кальцинированную соду, используемую для дальнейших реакций, и CaCO<sub>3</sub>, выпадающий в виде шлама.



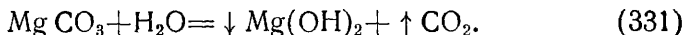
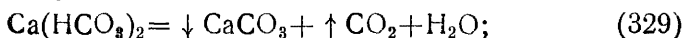
Реакции с бикарбонатом магния, а также солями некарбонатной жесткости проходят по выражениям



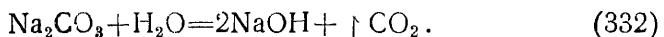


Соли  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , имеющие ничтожно малую растворимость, выпадают в шлам. Натриевые соли характеризуются высокой степенью растворимости, и при наличии продувок накипи не образуют.

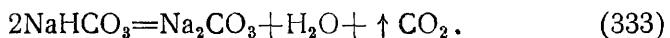
Бикарбонаты Ca и Mg, вступая в указанные реакции, одновременно под воздействием высокой температуры котловой воды разлагаются по следующим уравнениям:



Образовавшаяся в результате реакции (323) кальцинированная сода в дальнейшем под влиянием котловой воды, реагируя с последней, восстанавливает едкий натр по выражению



Бикарбонат натрия также расщепляется с образованием кальцинированной соды



Таким образом в котел едкий натр можно не вводить, а только в зависимости от состава питательной воды добавлять в нее то или иное количество кальцинированной соды.

Расходовать кальцинированную соду на уничтожение карбонатной жесткости не требуется, так как затраченный на эту реакцию едкий натр в дальнейшем при гидролизе соды (332) восстанавливается.

При составлении формулы расхода кальцинированной соды при периодических ее дозировках требуется учитывать только некарбонатную жесткость питательной воды и щелочность продувочной воды и пара; последней, однако, можно пренебречь ввиду ее незначительности.

Если пополнение расхода осадительных веществ производится кальцинированной содой, то ее дозировка подсчитывается по формуле

$$G = \frac{Dz [H_n + \varphi (A + H_n)] k}{1000 \cdot 1000} \text{ кг}, \quad (334)$$

где  $D$  — расход пара в кг час;

$z$  — время между дозировками кальцинированной соды в час.;

- $H_n$  — некарбонатная жесткость питательной воды в град.  
 $\varphi$  — отношение количества продувочной воды к расходу пара;  
 $A$  — щелочность продувочной воды в град;  
 $k$  — эквивалент реагента (сода) в *г/т-град*.

Для кальцинированной соды, учитывая возможность ее частичного загрязнения, коэффициент  $k$  можно принимать равным 20 *г/т-град*.

Когда осаждение накипеобразователей производится путем введения едкого натра, то  $k = 15$  *г/т-град*.

При внутрикотловой обработке воды образуется много шлама, который требуется удалять периодически, — если котлы снабжены грязевиками, где этот шлам может накапливаться, и непрерывно, — если котлы грязевиков не имеют. Вообще при решении вопросов, касающихся организации внутрикотловой обработки воды, необходимо считаться с конструкцией котлов. Например, при оборудовании котельной горизонтально-водотрубными котлами Шухова—Берлина, не имеющими грязевиков, вообще устройство внутрикотловой обработки воды не рекомендуется.

Ниже приводится допустимое шламосодержание продувочной воды (в *г/м<sup>3</sup>*) :

Для жаротрубных котлов . . . . .	6 500
„ котлов с дымогарными трубами . . . . .	4 500
„ водотрубных котлов с грязевиками . . . . .	15 000
„ „ „ „ нижними барабанами . . . . .	10 000
„ „ „ „ без нижних барабанов и грязевиков . . . . .	1 500

Количество продувочной воды в процентах от расхода пара подсчитывают с учетом допустимых концентраций в водяном объеме котла растворенных солей и шлама, выбирая при сопоставлении наибольшие цифры, определяющие количество продувочной воды.

По солевому составу проценты подсчитываются по формуле, аналогичной (288).

Количество продувочной воды по шламу может быть определено по следующему балансовому уравнению для шлама:

$$(D_k + D_{пр}) a_{шл} = D_{пр} A_{шл}, \quad (335)$$

откуда

$$D_{пр} = \frac{D_k a_{шл}}{A_{шл} - a_{шл}}, \quad (336)$$

или, деля обе части равенства на  $D_k$  и умножая на 100, определяют проценты продувки по шламу:

$$П_{шл} = \frac{a_{шл} \cdot 100}{A_{шл} - a_{шл}}, \quad (337)$$

где  $A_{\text{шл}}$  — предельно-допустимые концентрации шлама в мг/л (см. выше);

$a_{\text{шл}}$  — количество шлама, выделяющегося внутри котла при осаждении кальциевой  $H_{\text{Ca}}$  и магниевой  $H_{\text{Mg}}$  жесткости питательной воды, в мг л.

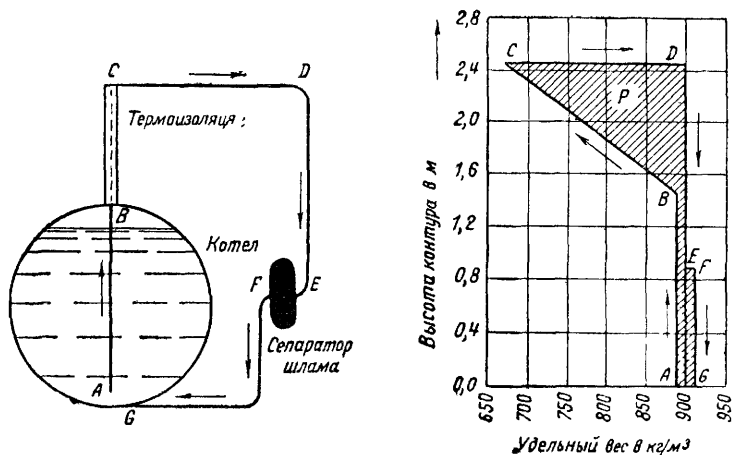


Рис. 310

Последняя величина может быть подсчитана по следующей формуле:

$$a_{\text{шл}} = 17,85H_{\text{Ca}} + 10,4H_{\text{Mg}} \text{ мг/л или г/т,} \quad (338)$$

где 17,85 и 10,4 — количество шлама, выделяющегося при осаждении 1 т-град кальциевой и магниевой жесткости.

Эти цифры получаются в результате следующих вычислений.

При разложении бикарбоната кальция [уравнение (329)] в осадок выделяется  $\text{CaCO}_3$ , молекулярный вес которого равен 100,07; пересчитывая на эквивалентное количество  $\text{CaO}$  (см. пример), получаем

$$\frac{10 \cdot 100,07}{56,07} = 17,85 \text{ мг/л град или г/т-град.}$$

При разложении бикарбоната магния выпадает в осадок  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  [см. формулы (330) и (331)].

Молекулярный вес  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  равняется 58,34 и соответственно на 1° жесткости приходится осадка

$$\frac{10 \cdot 58,34}{56,07} = 10,4 \text{ г/т-град.}$$

Подобным же образом определялся и  $k$  в формуле (334), причем  $k$  для едкого натра NaOH (молекулярный вес 40,0) подсчитывается так:

$$\frac{10 \cdot 40,0}{56,07} 2 = 14,3 \text{ г/т-град.}$$

Умножение на 2 произведено вследствие различной валентности Са (двухвалентный) и Na (одновалентный).

Из большинства котлов удаление шлама приходится производить путем непрерывной продувки, так как в котле не имеется места, где шлам мог бы скопиться и его раствор — концентрироваться. При непрерывной же продувке неконцентрированного шлама получается большая потеря тепла. Чтобы уменьшить эти тепловые потери при одновременном осуществлении непрерывной продувки шлама, прибегают к термосифонному шламоудалению, в котором выброшенная со шламом вода в значительной своей части возвращается обратно в котел. Работа термосифонного шламоудаления иллюстрируется рис. 310, где приведены принципиальная схема термосифонного контура и диаграмма распределения объемных весов пара и воды на отдельных участках контура, обуславливающих циркуляционный напор

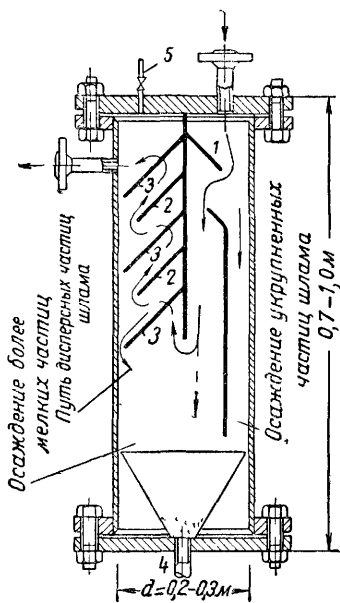


Рис. 311

$$P = (\gamma_{\text{подъем}} - \gamma_{\text{опуск}}) h \text{ кг/м}^2.$$

Участок контура AC называется **подъемным участком**, так как здесь наблюдаются наименьшие объемные веса, в особенности на отрезке BC, где вследствие подъема воды выше ее уровня, в паровом котле, образуется пониженное давление и получается частичное самоиспарение. Если участок BC следует покрывать изоляцией с целью усиления самоиспарения, то остальные участки — до шламоотделителя, наоборот, желательно охлаждать, и длина участка CD как раз связана с этим охлаждением, так как требуется, чтобы к участку DE приходила вода без пара и таким образом увеличивался бы циркуляционный напор.

Большое значение имеет конструкция сепаратора шлама. При умеренных гидравлических напорах, создаваемых термосифонным контуром, сепаратор должен выполнять свои функции, создавая незначительное гидравлическое сопротивление в системе

контура. На рис. 311 приводится сепаратор шлама системы ВТИ. Перегородки 1 и 2 имеют эллиптическое очертание, обеспечивающее правильное прилегание системы перегородок к трубе; концы перегородок срезаны с целью организации потока воды и шлама. Перегородки 3 имеют также эллиптическое очертание, причем между трубой и перегородками оставляются щели для стока частиц шлама; основная масса продувки в перегородках 3 проходит через находящиеся в них прямоугольные окна. Периодический спуск шлама производится через патрубок 4. Вентилем 5 пользуются для выпуска воздуха при наполнении сепаратора. Внутрикотловая обработка воды применяется лишь для котлов с поверхностью нагрева до 300 м<sup>2</sup> и давлением пара до 13 атм при жесткости воды не выше 25°. Для котлов, снабженных пароперегревателями, при внутрикотловой обработке воды требуется хорошая сепарация насыщенного пара.

#### § 114. ТЕРМИЧЕСКАЯ ВНУТРИКОТЛОВАЯ ОБРАБОТКА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Большинство из рассмотренных методов водоподготовки, производимые вне котла или внутри него, требуют систематического контроля за питательной и котловой водой. В зависимости от этих методов видоизменяется дозировка реагентов, так как в противном случае водоподготовка может принести не пользу, а вред.

Естественно, что в подобных условиях приходится говорить о повышенной квалификации обслуживающего водоподготовительные установки персонала.

В сравнительно мелких котельных установках отопительно-производственного характера зачастую выставленное требование не имеет возможности удовлетворить, и, к сожалению, на установках, даже имеющих водоподготовительное оборудование, последнее эксплуатируется неправильно, а то и просто бывает заброшенным. Поэтому большого внимания заслуживает работа лауреатов Сталинской премии проф. В. А. Голубцова и инж. Г. А. Буркова, предложивших термическую внутрикотловую обработку питательной воды для жаротрубных, цилиндрических и им подобных котлов.

Сущность этого метода состоит в том, что питательная вода, прежде чем соединиться с котловой водой, подвергается обработке непосредственно в самом котле, в его паровом объеме.

Метод проверен на работе ряда двухжаротрубных котлов и дал положительные результаты.

На рис. 312 показано расположение устройства в котле.

Вода последовательно и медленно проходит по ряду переливных устройств каскадного типа (реактор). Двигаясь сверху вниз, вода постепенно подогревается до температуры, близкой к температуре насыщения, при этом она полностью деаэрируется и допол-



нительно в значительной степени разлагаются бикарбонаты кальция и магния [см. формулы (329), (330), (331)]. Образующийся по мере выпадения  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  шлам особыми направляющими карманами спускается вниз котла, где и отстаивается. Чтобы шлам не расходился по всей котловой воде, в нижней части котла, примерно до низа жаровых труб, устанавливается поперечная перегородка, отделяющая место спуска шлама из карма-

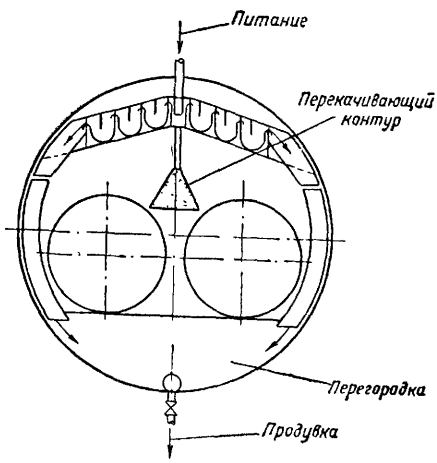


Рис. 312

нов и тем предупреждающая его распространение по всему объему воды. Спускной патрубок у жаротрубных котлов находится вблизи переднего днища котла, поэтому и устройство приходится располагать ближе к фронту. В цилиндрических котлах реактор потребуется приблизить к заднему днищу, что только улучшит условия распределения шлама по длине котла.

Дополнительно к питательной воде в верхний центральный элемент реактора вводится котловая вода. Этот добавок способствует активизации в образовании крупнодисперсного шлама, а также увеличивает

концентрацию в реакторе солей некарбонатной жесткости, имеющих отрицательную степень растворимости (у которых с повышением температуры степень растворимости уменьшается); они также частично начнут выпадать в самом реакторе, например, гипс  $\text{CaSO}_4$ .

С повышением температуры питательной воды усиливается распад бикарбонатов и соответственно быстрее начнут выпадать соли, имеющие отрицательную степень растворимости. На размер устройства по длине, кроме требования замедленного движения воды с целью обеспечения созревания шлама, также будет оказывать влияние температура котловой воды. Питательная вода, последовательно проходящая по элементам реактора, нагревается главным образом за счет непосредственного соприкосновения пара и жидкости, и чем выше будет разница температур между телами нагревающим и нагреваемым, тем меньшая потребует площадь зеркала нагревания.

Конечно, будет оказывать влияние и жесткость, в особенности карбонатная, питательной воды; чем она выше, тем большие габариты получит все устройство в целом.

Автоматическое подмешивание котловой воды к питательной выполняется при помощи так называемого перекачивающего контура (рис. 313). Пузырьки пара, попадающие в приемник, уменьшают объемный вес воды в контуре по сравнению с котловой водой, столб воды в контуре повышается и она переливается в верхний элемент реактора.

Метод термической внутрикотловой обработки питательной воды не полностью уничтожает накипеобразование, но резко его уменьшает. По опыту эксплуатации двухжаротрубных котлов, снабженных подобным устройством, выяснилось, что при одинаковых прочих условиях толщина накипи уменьшается в несколько раз. Накипь легко отделяется от стенок котла и жаровых труб, а это обстоятельство имеет большое значение, так как чистка котла от накипи, обычно производимая при помощи срубания накипи тупым зубилом, очень трудоемка, и котел останавливают на чистку на продолжительное время, измеряемое неделями.

Оборудуя котел весьма несложным устройством, можно в несколько раз увеличить время работы котла от чистки до чистки; сама операция чистки котла от накипи сильно облегчается и укорачивается во времени, примерно до недели; в котле улучшаются условия теплопередачи и обеспечивается безаварийность работы в отношении возможности перегрева стенок жаровых труб, получения отдулин и т. п.

От обслуживающего персонала требуется только систематическое выполнение операций по продувке котла, которую следует производить раз в смену.

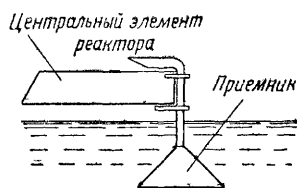


Рис. 313

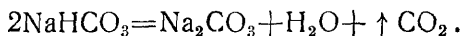
## § 115. ТЕРМОКАТИОННЫЙ ВОДООЧИСТИТЕЛЬ

Этот метод водоподготовки разработан и практически апробирован работниками Всесоюзного научно-исследовательского института спиртовой промышленности лауреатами Сталинской премии кандидатами технических наук С. П. Колосковым и А. Ф. Комаровым.

Авторы предложения поставили своей задачей дать совершенный метод водоподготовки без применения химических реагентов.

Соли карбонатной жесткости удаляются при нагревании воды. Соли некарбонатной жесткости частично удаляются при реагировании с раствором кальцинированной соды, которая получается в самом водоумягчительном устройстве путем пропускания части питательной воды через Na-катионитовый фильтр. Щелочная вода,

поступающая после фильтрации, нагревается до  $100^{\circ}$ , причем происходит разложение бикарбоната натрия по равенству



Полученная таким образом кальцинированная сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в дальнейшем используется для осаждения солей постоянной жесткости.

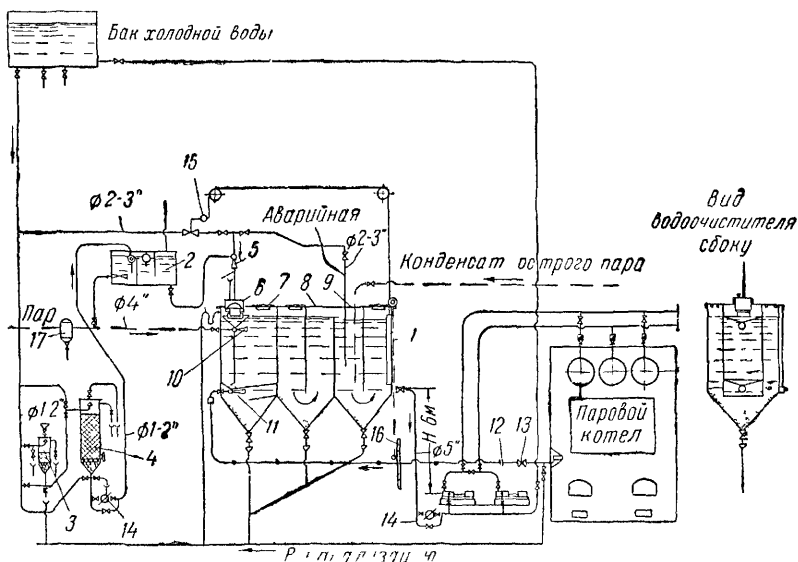


Рис. 314. Водоподготовка по методу С. П. Колоскова и А. Ф. Комарова

1—водоочиститель; 2—генератор щелочи; 3—солеорастворитель; 4—натрий-катионитовый фильтр; 5—струйный дозатор; 6—головка аппарата; 7—реактор водоочистителя; 8—отстойник; 9—питательный бак; 10—паровой эжектор-смеситель; 11—водяной эжектор; 12—ограничительная дроссельная шайба; 13—игольчатый клапан; 14—водомер; 15—автоматический регулятор уровня; 16—указатель уровня; 17—маслоотделитель, применяемый в случаях использования отработанного пара, загрязненного маслом

При рассмотрении работы Na-катионитового фильтра указывалось, что главнейшим недостатком этого метода водоподготовки считается ограниченность применения его в чистом виде, без усложняющих устройств по предварительному известкованию воды или ее последующему подкислению. В данном случае указанных дополнений не требуется. Для пополнения обратного конденсата, поступающего в питательный бак котельной, обычно используется водопроводная вода, не требующая предварительного коагулирования. В результате обслуживание фильтра предельно упрощается. Воды через катионитовый фильтр приходится пропускать в количестве 10—20% от общего расхода, что во

столько же раз снижает расход поваренной соли на его регенерацию. Необходимая щелочность котловой воды поддерживается тем же раствором кальцинированной соды, причем в котле под влиянием гидролиза сода расщепляется с образованием едкого натра по уравнению

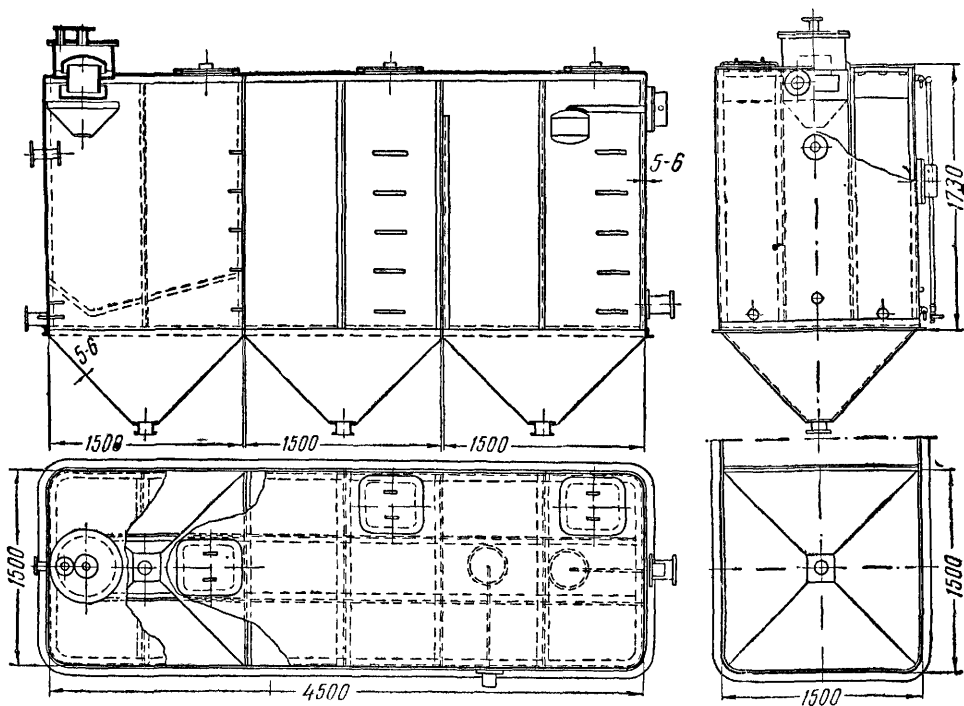
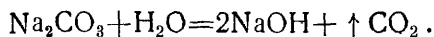
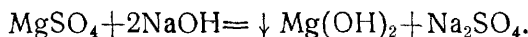
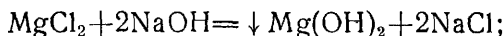


Рис. 315

Едкий натр, попадая с продувочной водой в дополнительную полость водоочистительного аппарата, реагирует с солями некарбонатной жесткости магния по выражениям:



В итоге питательная вода умягчается до 0,1—0,2°.

На рис. 314 дается схема термокатионитовой водоумягчительной установки.

Сырая вода, возмещающая убыль конденсата, прежде чем попасть в питательный бак 9, проходит через аппаратуру водоподготовки. Основная масса воды направляется непосредственно в головку аппарата 6. Остальная вода, прежде чем попасть в головку, проходит катионитовый фильтр, после поступает в генератор щелочи 2 и далее струйным дозатором направляется в головку совместно с основной водой; после головки вода идет в реактор водоочистителя 7.

Конструкция собственно водоочистителя, состоящего из трех отделений: реактора 7, отстойника 8 и питательного бака 9, приво-

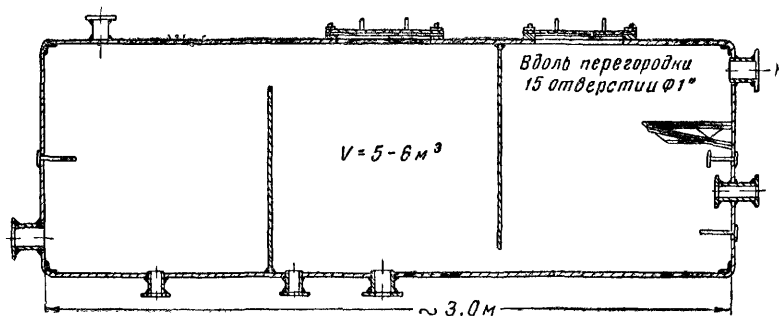


Рис. 316

дится на рис. 315. Центральная часть реактора имеет дно с откосами в направлении к водяному эжектору 11 (рис. 314). В центральной части реактора происходит при нагревании воды до  $100^{\circ}$  выпадение солей карбонатной и некарбонатной жесткости за исключением солей постоянной жесткости магния. Для нагревания и перемешивания воды в реакторе служит паровой эжектор-смеситель 10. Вода вместе с образовавшимся шламом отводится из верхней в нижнюю часть реактора при помощи водяного эжектора 11, рабочим телом в котором служит продувочная вода. Здесь особенно важно повысить температуру до возможного предела —  $103-115^{\circ}$ , обусловливаемого высотой водоочистителя.

В нижней полости реактора, а также в боковых отсеках производятся выделение солей некарбонатной жесткости магния, а также доумягчение воды в целом и ее деаэрирование, после чего она через щели, находящиеся вверху боковых отсеков, направляется в отстойник 8 и затем в питательный бак 9.

На рис. 316 дан эскиз генератора щелочи, в котором раствор доводится до кипения и в таком состоянии, медленно двигаясь, выдерживается в генераторе около часа; это обеспечивает получение максимально возможного количества кальцинированной соды. Реактор, а также генератор щелочи оборудуют головками —

гидравлическими затворами. Головки предназначаются, кроме обеспечения гидравлического затвора, разобщающего реактор или генератор от атмосферы, также для удаления выделяющихся из воды газов (воздуха и углекислоты). Чертеж головки гидравлического затвора приводится на рис. 317.

Количество воды, пропускаемое через На-катионитовый фильтр в час,  $D_{\phi}$  может быть подсчитано из уравнения, определяющего необходимую потребность в щелочи для умягчения воды при учете потери щелочи от частичной продувки в дренаж. Уносом щелочи с паром из котла обычно пренебрегают.

Это уравнение имеет следующий вид:

$$D_{\phi} H = (H_n + A_{щ} \Pi) D, \quad (339)$$

откуда

$$D_{\phi} = \frac{(H_n + A_{щ} \Pi) D}{H} \text{ т/час}; \quad (340)$$

где  $D$  — общий расход сырой воды в т час;

$D_{\phi}$  — общий расход сырой воды на фильтр в т час;

$H_n$  — некарбонатная жесткость сырой воды в град.;

$H$  — общая жесткость сырой воды в град.;

$A_{щ}$  — норма щелочности котловой воды в град. (см. табл. 55);

$\Pi$  — степень продувки котлов в %.

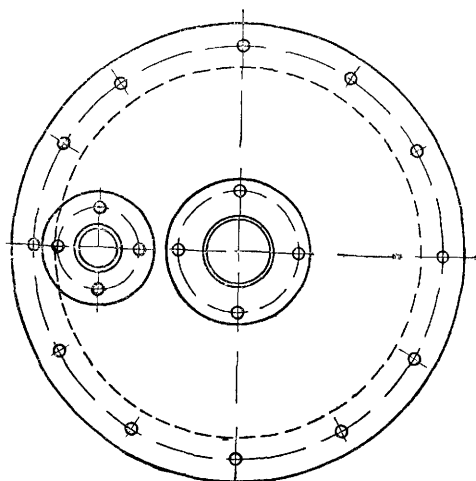
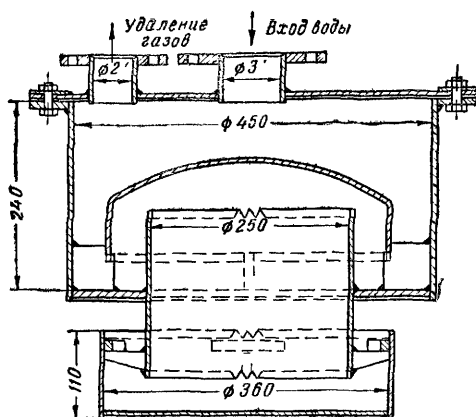


Рис. 317

Уточняется  $D_{\phi}$ , а вместе с ним и  $\Pi$  на основании испытаний водоочистителя.



Описанный метод водоподготовки (умягчение и деаэрирование) может быть с успехом внедрен в отопительно-производственные установки. Он не требует дополнительного расхода и дозировки реактивов.

Расход поваренной соли на регенерацию катионитового фильтра доводится до минимума. По сравнению с другими методами водоподготовки (содово-известковым, Na-катионитовым и пр.) термокатионитовый метод является наиболее дешевым как по одновременным затратам, так и по эксплуатационным расходам.

Для подогревания воды может использоваться отработанный пар. Отработанный пар из прямодействующих поршневых питательных насосов загрязнен маслом, часто также бывает загрязнен маслом и отработанный пар из производственной аппаратуры. В таких случаях перед поступлением в бак для нагревания воды пар проводится через маслоотделитель. На рис. 318 дана конструкция подобного маслоотделителя. Пар по касательной подводится к цилиндрическому корпусу, в котором с ним концентрично располагается круглая сетка, часть масла и конденсата стекают вниз, а остальная часть пара, пронизывая сетку и семь концентрично расположенных по окружностям цилиндрических вставок, состоящих из плотно примыкающих друг к другу цепочек, выходит в центр прибора и, очищенная от масла, удаляется вверх. Масло и частично конденсат стекают в нижнюю часть маслоотделителя и удаляются.

## § 116. ВОДОПОДГОТОВКА В ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ВОДЯНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

В водогрейных котлах или в теплообменниках по мере нагревания воды будут отлагаться накипь и шлам лишь вследствие разложения бикарбонатов кальция и магния, причем реакции идут по формулам (329), (330), (331). В таких случаях не происходит выпаривания воды, а следовательно, не будет накипи после концентрации солей некарбонатной жесткости.

При водяном теплоносителе котлы, теплообменники и в особенности сеть могут сильно изнашиваться из-за коррозионного воздействия растворенных в воде кислорода и уголекислоты. Поэтому и водоподготовка должна вестись в направлении снижения карбонатной жесткости и удаления из воды газов.

По предложению проф. д-ра техн. наук С. Ф. Копьева в настоящее время получает большое распространение разбор воды для целей горячего водоснабжения непосредственно из отопительных сетей. Вода, пошедшая на горячее водоснабжение, обратно не поступает, и ее расход пополняется сырой водой. В подобных случаях сильно повышается процент добавочной воды, подвергающейся умягчению и деаэрированию, прежде чем она смещается



с водой тепловых сетей. Сырая вода, прошедшая водоподготовку, не должна давать накипи и производить коррозионное воздействие на аппаратуру и сеть; кроме того, вода должна быть обеззаражена в отношении наличия болезнетворных бактерий и тому подобных загрязнений. Жесткость воды не следует доводить до

очень малых значений, иначе это неприятно действует на моющего: создается впечатление несмываемости мыла. Желательная карбонатная жесткость должна быть в пределах  $4-7^\circ$ .

Эксплуатационная практика показывает, что во избежание коррозии количество растворенного в воде кислорода в заданных условиях не должно превышать  $0,1 \text{ мг/л}$ .

С. Ф. Копьевым предложен агрегат для термической обработки воды с целью получения подпиточной воды для тепловых сетей с водяным теплоносителем.

Установка (рис. 319) состоит из трех частей: пленочного деаэратора, вихревого реактора (спиратора, наполненного песком), и бака-аккумулятора. В деаэраторе вода стекает по ряду вертикально расположенных цилиндров из кровельной стали и одновременно обогревается идущим ей навстречу паром. Происходит нагревание воды до температуры кипения при  $100-104^\circ$  и ее деаэрация. Смесь вы-

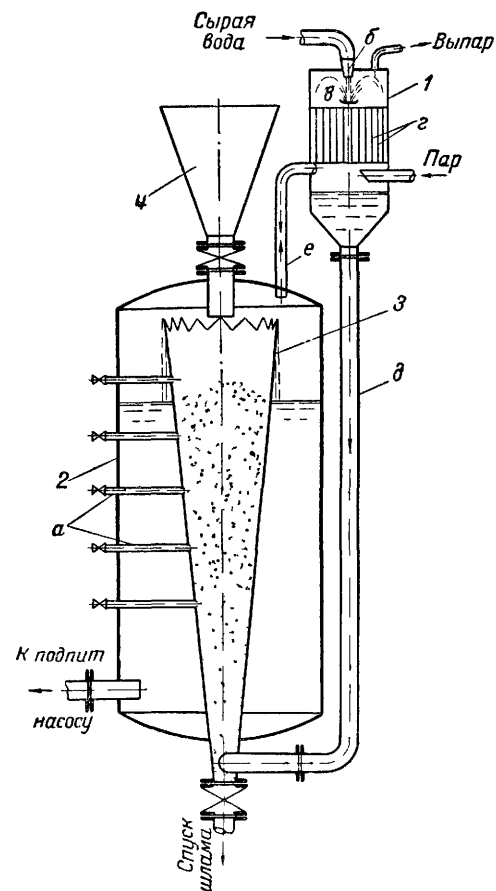


Рис. 319. Водоподготовка по методу проф. С. Ф. Копьева

1—пленочный деаэратор; 2—бак-аккумулятор; 3—спиратор; 4—загрузочная воронка; а—контрольные трубки; б—сопло; в—розетка; г—стальные листы; д—опускная труба; е—уравнивающая труба

делившихся из воды газов с паром выбрасывается наружу.

При нагревании воды происходит частичный распад бикарбонатов кальция и магния, образовавшийся шлам направляется в спи-

рактор, где и задерживается тяжелой насадкой из песка. Умягчаемая вода, проходя через слой шлама, оставляет в нем выпадающие в осадок  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg(OH)}_2$  и, осветленная, сливается в бак-аккумулятор, откуда и расходуется в качестве подпиточной воды тепловых сетей.

Экспериментальными данными выяснено, что степень распада под влиянием термического воздействия бикарбонатов тесно связана с количеством свободной углекислоты, растворенной в воде. Вода, полностью дегазированная в деаэраторе, попадая в спиратор, обогащается углекислотой, выделяющейся при продолжающемся распаде бикарбонатов. Процесс распада бикарбонатов прекращается после насыщения воды свободной углекислотой до равновесного состояния, которое и гарантирует подпиточную воду от возможности выпадения накипи.

Описанный метод водоподготовки прост в эксплуатации и не требует добавочных реактивов, поэтому он должен найти большое распространение в условиях эксплуатации водяных теплоснабжающих систем.

В большинстве случаев районные теплоснабжающие котельные установки используют в качестве теплоносителя воду, нагреваемую в водогрейных котлах. Подпиточную воду также требуется деаэрировать. При отсутствии в котельной пара указанная операция может быть выполнена, по предложению кафедры теплотехники Московского строительного института, при помощи деаэрации под вакуумом.

На рис. 320 приводится принципиальная схема подобной установки. Подпиточная вода доводится до состояния кипения путем понижения давления в установке, к которой присоединен воздушный насос.

Чтобы предупредить возможность отложения накипи в водогрейных котлах и сетях, в данном случае рекомендуется применение так называемого микрофосфатирования подпиточной воды путем добавления к ней раствора фосфата натрия.

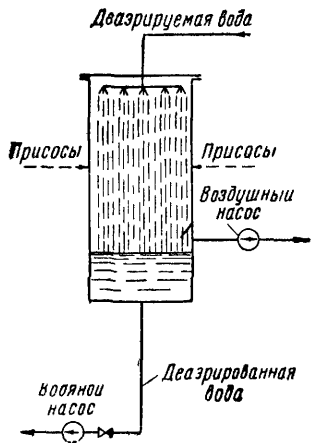


Рис. 320

## Глава XIX

**ЗДАНИЯ КОТЕЛЬНЫХ И ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК****§ 117. АРХИТЕКТУРНАЯ КОМПОНОВКА**

**Здание котельной** должно быть так запроектировано, чтобы имелась возможность его последующего расширения. Служебные помещения следует располагать с одного торца котельного здания, тем создавая возможность при установке дополнительных котлов и расширения котельной разобрать торцовую стенку и увеличить здание в длину. Чтобы при расширении котельной не затрагивалась кровля здания, фермы кровли надо опирать на стены здания, идущие параллельно с фронтом котлов (рис. 9). В котельном здании по условиям пожарной безопасности не допускается устройство чердака. Пол золотого этажа не должен быть ниже уровня земли.

С целью предупреждения от врывания в котельную холодного воздуха при въезде вагонеток с топливом в котельную должен устраиваться тамбур.

В котельных помещениях с площадью пола меньше  $250 \text{ м}^2$  допускается один выход наружу через лестничную клетку. Второй, запасный выход устраивается из всех этажей на наружную пожарную лестницу. Если площадь пола более  $250 \text{ м}^2$ , то выходов должно быть не менее двух и располагать их надо в противоположных концах котельной. Для вновь строящихся котельных при высоте верхней площадки для обслуживания котлов более  $20 \text{ м}$ , кроме лестничной клетки, требуется также устройство лифта для обслуживающего персонала.

Котельное помещение может примыкать к производственному корпусу при условии устройства соответствующего брандмауера.

Крыши котельных должны снабжаться световыми фонарями с площадью отверстий не менее  $10\%$  от площади пола, занимаемой котлами. Фонари требуются в том случае, если собственный вес покрытий превышает  $90 \text{ кг/м}^2$ . Взамен фонарей допускается устраивать на стенах здания застекленные проемы при условии их расположения выше обмуровки котлов и с площадью застекления не менее  $10\%$  от площади пола, занимаемой котлами.

**§ 118. ОСНОВНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ГАБАРИТЫ ЗДАНИЙ КОТЕЛЬНЫХ**

В отношении расположения котлов в котельном помещении должны соблюдаться следующие требования.

Проходы между обмуровками котлов или стеной здания и обмуровкой котла или экономайзера должны быть не менее  $1 \text{ м}$ ,

а расстояние от фронтальной стены котла до противоположной стены здания, как указывалось в главе «Топливоподача и золоудаление», должны быть не менее 3 м. Исключение допускается для вертикальных котлов типа Шухова, где это расстояние разрешается доводить до 2 м. Расстояния между выступающими металлическими частями, например, обмуровочных каркасов двух рядом стоящих котлов, разрешается доводить до 0,8 м.

Если котлы имеют боковую обдувку газоходов, то проход между их обмуровками должен быть не менее 1,5 м. В случаях, когда поверхность каждого котла превышает 150 м<sup>2</sup>, проход должен быть не менее 2 м. От верха обмуровки котлов до нижних конструктивных частей перекрытия требуется иметь расстояние 2 м. Если через выступающие выше обмуровки барабан котла или сухопарник не перекидывают площадки для перехода, то расстояние от верхних точек этих барабанов до перекрытия должно быть не менее 0,7 м. Вообще при устройстве площадок для обслуживания требуется иметь свободную высоту прохода не менее 2 м; это относится и к зольным коридорам.

Ширина обслуживающих площадок должна быть не меньше 0,6 м, а площадок, с которых обслуживается арматура, — 0,8 м. С целью обеспечения удобного обслуживания водоуказательных приборов расстояние от середины стекла до площадки должно быть, как правило, не менее 1 м и не более 2 м.

Лестницы, ведущие на обслуживаемые площадки, при высоте их более 1,5 м должны иметь уклон к горизонтали не более 50°.

При установке в котельной для обдувки газоходов воздушного компрессора, его воздухохранилище устанавливается вне помещения.

При расположении рельсовых путей для движения по ним вагонеток с топливом или золой надо учитывать требование, чтобы расстояние между бортом вагонетки и стеной здания или золотого коридора было не меньше 0,7 м. Отступление от этого размера допускается при проездах между колоннами. Не следует допускать расположения фундаментов стен котельных бортов таким образом, чтобы они нагружали фундаменты стен котельного здания. Расстояние стены борта от стены здания следует устанавливать не менее 70 мм и промежуток засыпать легким шлаком.

Все котельные помещения должны быть оборудованы отоплением и вентиляцией.

## § 119. ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Стахановское движение, широко охватившее все отрасли производства, получает развитие и при обслуживании котельных установок. Тщательный контроль за работой котельного оборудо-

вания, повышение экономичности работы котельной, обеспечение полной безаварийности, повышение мощности котельных агрегатов сверх номинальной, снижение расходов энергии на собственные нужды — вот основные задачи, которые ставятся стахановцами.

Успешное разрешение всех перечисленных требований возможно на базе социалистического соревнования, стимулирующего развитие среди персонала творческой инициативы в деле изыскания методов улучшения работы отдельных участков обслуживания.

Успех будет обеспечен, если должным образом осуществляется приемка и сдача смен, если ремонт оборудования производится тщательно и своевременно, рабочее место снабжено соответствующим инвентарем и содержится в чистоте, а показатели, характеризующие работу отдельных кочегаров или их смен, будут вывешиваться в котельной. Индивидуальную оценку работы кочегаров позволяют дать автоматически действующие газоанализаторы, снабженные самопишущими приборами и другие приборы теплового контроля.

Выявление показателей тепловой работы котельной с учетом качества работы обслуживающего персонала достигается путем введения теплового контроля.

При помощи теплотехнических испытаний котельной установки с последующим составлением тепловых балансов можно выявить дефекты, являющиеся результатом ее неправильного проектирования и монтажа или же неудовлетворительной эксплуатации. Но, даже произведя все требующиеся исправления, соответствующим образом инструктировав обслуживающий персонал и получив хорошие показатели тепловой работы, установку нельзя оставлять без повседневного теплового контроля. Персонал котельной, не имея контролирующих приборов, вынужден работать вслепую и невольно будет отходить от установленного наиболее рационального режима эксплуатации.

Кроме того, отсутствие показателей, позволяющих охарактеризовать работу каждого кочегара или их смены, вводит обезличку и не создает работникам нужных стимулов к взаимному соревнованию и совершенствованию.

Чем крупнее котельная, тем меньшие дополнительные расходы вызывают контролирующее оборудование и его обслуживание, а экономия от применения такого контроля с избытком перекрывает производимые затраты.

Отопительные котельные установки до сих пор по большей части строились незначительных размеров, и введение теплового контроля в подобных условиях было довольно затруднительно. В связи с переходом на укрупненные производственно-отопительные котельные, обслуживающие отопление ряда зданий, кроме того, дополнительно расходующие тепло на производственные и

бытовые нужды, осуществление постоянного теплового контроля является вполне возможным и совершенно необходимым.

При контроле работы котельной в первую очередь надо охватить учетом расход топлива и количество выдаваемого потребителю тепла. Для этого в котельной должны иметься весы, взвешивающие топливо, водомеры, измеряющие расход воды в паровых котельных, и тепломеры, контролирующие расход тепла в водогрейных установках.

В паровых котельных дополнительно к замерам воды требуется фиксировать давление и перегрев пара, а также температуру воды в сборном баке.

Должна систематически отбираться проба топлива с последующим ее анализированием в химической лаборатории.

Этих показаний будет уже достаточно, чтобы определить к. п. д. установки по формуле (94).

Однако, определив к. п. д. котельной установки, желательно произвести дальнейший анализ тепловых потерь. Почему, например, за исследуемый отрезок времени уменьшился к. п. д.? Является ли причиной такого понижения неудовлетворительная работа топки (химическая неполнота сгорания, невыжиг горючего из шлаков) или же загрязнены газоходы золой и сажей, что снизило коэффициенты теплопередачи, увеличило температуру отходящих газов и соответственно подняло цифры потери с отходящими газами.

Такая расшифровка может быть получена, если дополнительно производится анализ отходящих газов и измеряется их температура. Загрязнение газоходов также может быть замечено по увеличенному газовому сопротивлению котла или экономайзера, замеряемому тягомерами.

При систематически выявляемых показателях тепловой работы котельной в дальнейшем может быть применен метод лауреата Сталинской премии инж. Ф. Л. Ковалева.

Сопоставляя по показаниям контрольных приборов, например, такие данные, как избыток воздуха, химическая неполнота сгорания, температура отходящих газов, можно выделить успешную работу одного кочегара, дающего снижение потери с отходящими газами, но одновременно повышенную потерю от химической неполноты сгорания, и работу другого кочегара, достигающего полноты сгорания, но дающего повышенную потерю с отходящими газами.

Детально изучая приемы работы одного и другого, можно наметить улучшенный метод эксплуатации, дающий минимум суммы  $q_2 + q_3$ . Так, изучая и обобщая передовой опыт отдельных кочегаров, можно в итоге повысить к. п. д. котельной установки и дать экономию в расходовании топлива.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Арсеев А. В., Сжигание газов, Metallургиздат, 1952.  
Гусев Ю. Л., Основы проектирования котельных установок, Стройиздат, 1952.  
Дворецкий А. И. и Татищев С. В., Саратовский природный газ, Гостоптехиздат, 1947.  
Залогин Н. Г. и Шухер С. М., Очистка дымовых газов, Госэнергоиздат, 1948.  
Ионин А. А., Горелки для сжигания газа, изд. МКХ РСФСР, 1951.  
Карелин А. И., Справочник машиностроителя, т. I, глава «Топливо СССР», Машгиз, 1951.  
Кнорре Г. Ф., Топочные процессы, Госэнергоиздат, 1951.  
Ковалев А. П., Котельные агрегаты, Госэнергоиздат, 1948.  
Ковалев А. П. и Катковская К. Я., Котельные агрегаты, Госэнергоиздат, 1950.  
Котельные установки, т. II, под общей редакцией Э. И. Ромма, Госэнергоиздат, 1946.  
Моргулова Т. X., Тепловой расчет котлоагрегата, Госэнергоиздат, 1949.  
Нормы аэродинамического расчета котельных агрегатов ЦКТИ, Машгиз, 1949.  
Нормы расчета на прочность котельных агрегатов ЦКТИ, Машгиз, 1950.  
Общая теплотехника, под редакцией С. Я. Корницкого и А. Я. Рубинштейна, Госэнергоиздат, 1952.  
Татищев С. В., Тепловая работа, конструкция и расчет ручных топок, работающих на местном топливе, Институт технико-экономической информации Госплана СССР, 1945.  
Хлудов А. В., Атлас деталей конструкций систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, тепло- и газоснабжения, Стройиздат, 1950.  
Шкроб М. С., Водоподготовка, Энергоиздат, 1950.  
Шорин С. Н., Теплопередача, Гос. издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952.  
Щеголев М. М., Атлас чертежей отопительно-производственных котельных установок, Госэнергоиздат, 1940.  
Журналы: «За экономиию топлива», «Известия Всесоюзного Теплотехнического института «Котлотурбостроение».

---

Редактор издательства Ю. Л. Гусев  
Технический редактор М. В. Смолькова

\* \* \*

Слано в набор 2/IV-1953 г.

Подписано в печать 1/IX-1953 г.

T-06723

Бумага 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub> = 17 бум. л.—34 печ. л.

(34,5 уч. изд. л.)

Изл. № 1-8411.

Тираж 25000 экз.

Цена 12 р 10 к. Переплет 1 руб.

Заказ № 756

\* \* \*

### ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать	По вине
100	12 сверху	$V_{в.п.} Q_3$	$V_{в.п.}; Q_3$	Корректора
112	3 "	уноса	шлака	Автора
120	9 снизу	<i>ккал кг</i>	<i>ккал/кг</i>	Типографии
127	формула (118)	$V_{г} C_{гy} T$	$V_{г} C_{гy} T_{y}$	Корректора
251	14 снизу	$q = 1,5\%$	$q_4 = 1,5\%$	Типографии
443	21 "	0,01.	0,1.	Автора
470	формула (251)	$\lambda \frac{\quad}{d_3}$	$\lambda \frac{l}{d_3}$	Типографии
514	35 сверху	института „Когло- турбостроение“.	института“, „Когло- турбостроение“	Корректора