

*В. В. ПОМЕРАНЦЕВ*

187  
58

**ТОПКИ СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ  
ДЛЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА**

**МАШГИЗ 1948**

МИНИСТЕРСТВО ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ СССР  
ГЛАВКОТЛОТУРБОПРОМ  
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. И. И. ПОЛЗУНОВА

Канд. техн. наук В. В. ПОМЕРАНЦЕВ

К 187  
58

0653-77  
ЗАДАНИЕ

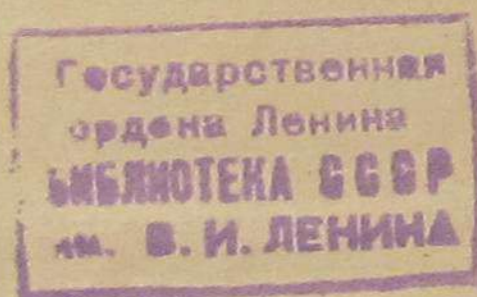
# ТОПКИ СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ ДЛЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА

МТМ СССР  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1948 ЛЕНИНГРАД

В книге изложен опыт освоения нового метода сжигания древесного топлива в топках скоростного горения; описаны результаты стандовых опытов и опытов по освоению первых промышленных образцов топки в стационарных условиях и на пароходе; приведены результаты эксплуатации и испытаний, а также даны указания для проектирования и обслуживания топков новой системы.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников энергетиков электростанций, промышленных предприятий и студентов втузов.



Рецензент проф. А. М. Гурвич

Редактор канд. техн. наук П. Н. Кендысь

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА  
Редакция литературы по машиностроению  
Главный редактор инж. Ф. И. Фетисов

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящей работе изложены основные этапы освоения топков скоростного горения ЦКТИ системы В. В. Померанцева для сжигания древесного топлива и приведены данные для проектирования и указания по их обслуживанию.

На основании изучения аэродинамики топливного слоя в лаборатории физической огнетехники Центрального котлотурбинного института (ЦКТИ) им. И. И. Ползунова [14]<sup>1</sup> автором был предложен метод высокофорсированного слоевого сжигания и намечена конструкция нового топочного устройства.

Основные принципы работы топки скоростного горения были проверены сначала на холодной модели, затем на стандовой установке. Положительные результаты этих опытов послужили основанием к созданию промышленных топков для щепы на Майкопском дубильном заводе, Соликамском и Сегежском комбинатах, затем для влажных дров на пароходе „Балмашов“ Северо-западного речного пароходства и для сжигания опилок и древесных отходов на Лисинском лесопильном заводе.

Опыт эксплуатации и материалы испытаний характеризуют новое топочное устройство как весьма совершенное, отличающееся простотой конструкции, отсутствием механизмов, высокой производительностью, надежностью и экономичностью в работе, гибкостью к изменению нагрузок и легкостью управления.

Работа по освоению топки, в основном, проводилась совместно ЦКТИ и Ленинградским политехническим институтом (ЛПИ) им. М. И. Калинина. Применение топки на пароходе осуществлялось Центральным научно-исследовательским институтом речного флота. Работа по освоению сжигания опилок проведена Лесотехнической академией им. С. М. Кирова.

Автор, лично проводивший все этапы работы, пользуется случаем выразить глубокую признательность всем лицам, принимавшим участие в работе и содействовавшим внедрению новых топков в промышленность, а также многочисленным коллективам заводов и предприятий, изготовлявшим первые агрегаты топков и проводившим их монтаж и освоение, и особенно эксплуатационному персоналу котельных, усилиями которого, главным образом, были преодолены основные трудности, возникшие в первые периоды работы топков.

<sup>1</sup> Цифра в квадратных скобках указывает порядковый номер в списке литературы (см. стр. 73).

## ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 1936 г. Центральный котлотурбинный и Ленинградский политехнический институты ведут работы по скоростному сжиганию топлив по методу, предложенному инж. В. В. Померанцевым<sup>1</sup> [1, 2, 3].

Общеизвестно, что основным препятствием для слоевого сжигания топлив под крупными котлами является трудность размещения колосниковой решетки достаточных размеров для обеспечения экономичного сжигания необходимого количества топлива.

Форсировка слоя, даже для наиболее совершенных слоевых топочных устройств, как, например, топки с цепными решетками, ограничивается значениями теплового напряжения „зеркала горения“  $0,8 - 1,3 \times 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч для каменных углей и до  $2,1 \times 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч для кускового торфа.

В этом случае для котла паропроизводительностью 100 т/ч при сжигании угля необходимо иметь решетки площадью около 60 м<sup>2</sup>, что приводит к большому расходу металла (около 100 т) на само топочное устройство и заметно осложняет компоновку котельного агрегата. Применение цепных решеток под мощными котлами требует увеличенной ширины фронта котла, а следовательно, и длины котельных барабанов — наиболее дорогих элементов современных котельных агрегатов высокого давления.

Попытки сократить необходимую площадь колосниковых решеток, за счет увеличения расхода воздуха через слой, не приводят к желательным результатам. При сжигании трудновоспламеняемых топлив: высоковлажных (древесина, торф и бурые угли) или с малым содержанием летучих (антрацит и коксик) увеличение расхода воздуха приводит к затяжке розжига слоя, а иногда даже и к срыву воспламенения. Поэтому передние участки слоя не могут заметно форсироваться. Применение предтопок для предварительной подготовки топлива усложняет установку и также не решает вопроса интенсификации работы головной части слоя. Попытки усилить работу предтопок неизбежно приводят к их зашлаковыванию.

Форсировка уже разожженного слоя, когда по условиям горения практически можно неограниченно увеличивать подачу

воздуха, лимитируется чрезмерным уносом мелких фракций топлива и нарушением аэродинамической устойчивости слоя. При некотором предельном расходе дутья, при сжигании несорттированных топлив в отдельных участках слоя начинается вынос топливной мелочи. В этих местах появляются кратеры, через которые устремляется основная масса воздуха. Это вызывает заметный рост избытка воздуха в топке, в то время как некоторые места слоя оказываются почти полностью лишенными дутья, что приводит к неравномерному горению слоя и резкому увеличению механического недожога.

Указанные причины ограничения форсировки, относящиеся к обычным слоевым топкам, особенно сильно проявляются при сжигании низкокачественных топлив, обладающих высокой влажностью и значительным содержанием мелочи. Так как перспективы энергетического топливоснабжения СССР предусматривают все больший рост доли низкосортных местных топлив или отходов обогащения углей, то нет оснований ожидать значительных достижений в области слоевого сжигания топлив в обычных топках с механическими решетками.

Этим объясняется тенденция к постепенному вытеснению слоевого сжигания топлив под крупными котлами, которая рельефно проявляется за последние 10—15 лет в энергетике СССР, а также и за границей.

Крупные котлы в настоящее время почти исключительно оборудуются топочными устройствами для пылевидного сжигания, несмотря на всю сложность этого метода, необходимость установки многочисленных и громоздких механизмов и значительный расход энергии на собственные нужды. Даже при исключительно больших достижениях последнего времени, полученных на пути упрощения и повышения надежности метода пылевидного сжигания топлива, современные пылевые котельные агрегаты отличаются большими габаритами топок и пылеприготовительных систем при огромных металлозатратах и характеризуются сложностью управления, требующей высококвалифицированного обслуживания.

В этом свете представляется чрезвычайно желательным снять ограничения со слоевого сжигания натуральных топлив, не позволяющие применять этот значительно более простой метод для крупных котельных установок.

Скоростное сжигание топлив в слое является одним из возможных путей решения этой задачи.

Основной особенностью топок скоростного горения ЦКТИ системы В. В. Померанцева является предельная форсировка работы слоя на всех его стадиях.

Стадия подготовки интенсифицирована за счет организации нижнего, „неограниченного“ воспламенения (рис. 1). Для этого навстречу свежему топливу, опускающемуся из топливного рукава в зону активного горения, направляется поток горячих газов (часть продуктов горения топлива). Противоточный подогрев и подсушка обеспечивают надежную подготовку топлива

<sup>1</sup> Авторское свидетельство № 505/03, кл. 24а, 1936 г.

к воспламенению, вне зависимости от напряженности работы головного участка слоя. Повышение расхода топлива и дутьевого воздуха приводит к некоторому росту температур в связи с понижением удельных тепловых потерь в этой зоне, что только способствует воспламенению.

Стадия активного горения разожженного слоя форсируется путем искусственного повышения аэродинамической устойчивости слоя, что достигается устройством на поверхности выхода газов

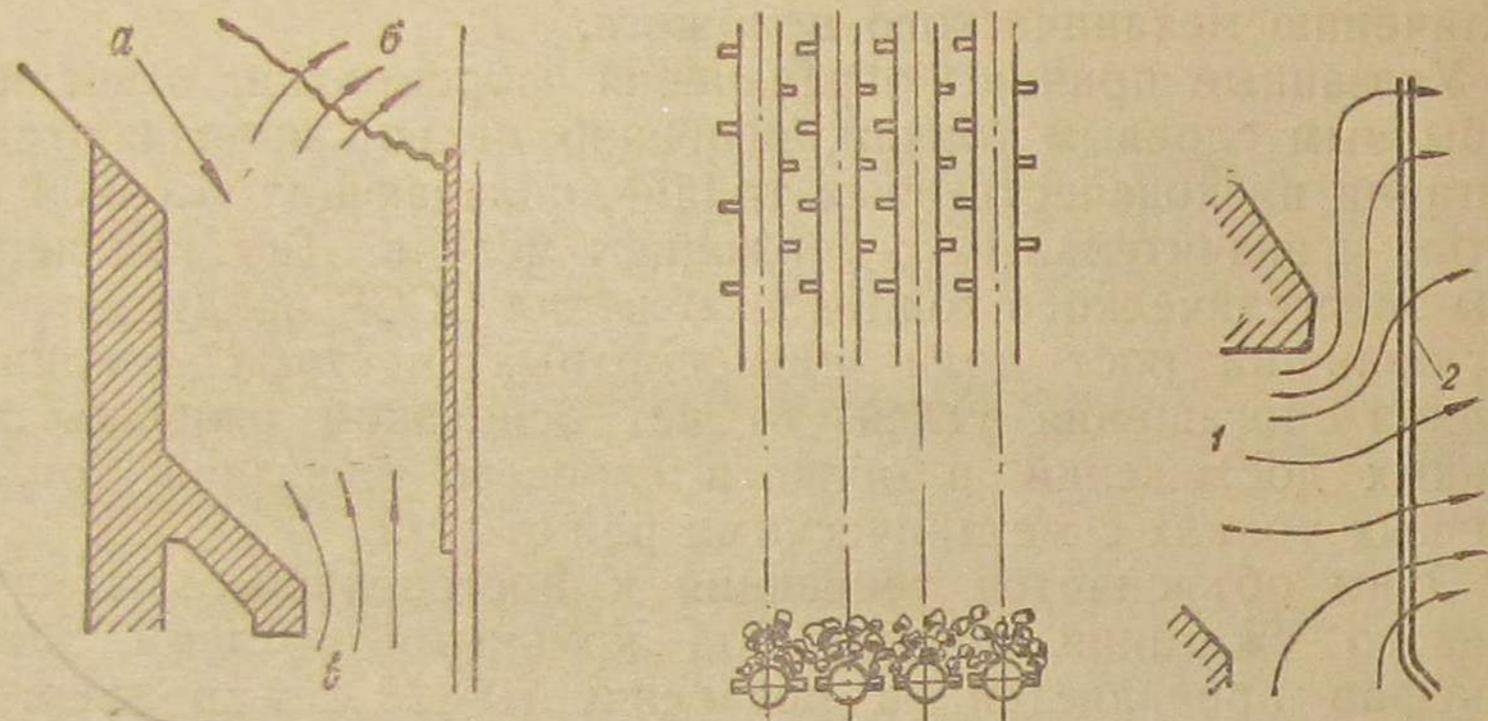


Рис. 1. Схема неограниченного воспламенения топлива в топке скоростного горения:

*a* — сырое топливо; *b* — отсос продуктов подсушки и термического разложения топлива; *c* — часть продуктов горения топлива активной зоны, идущая на подготовку топлива.

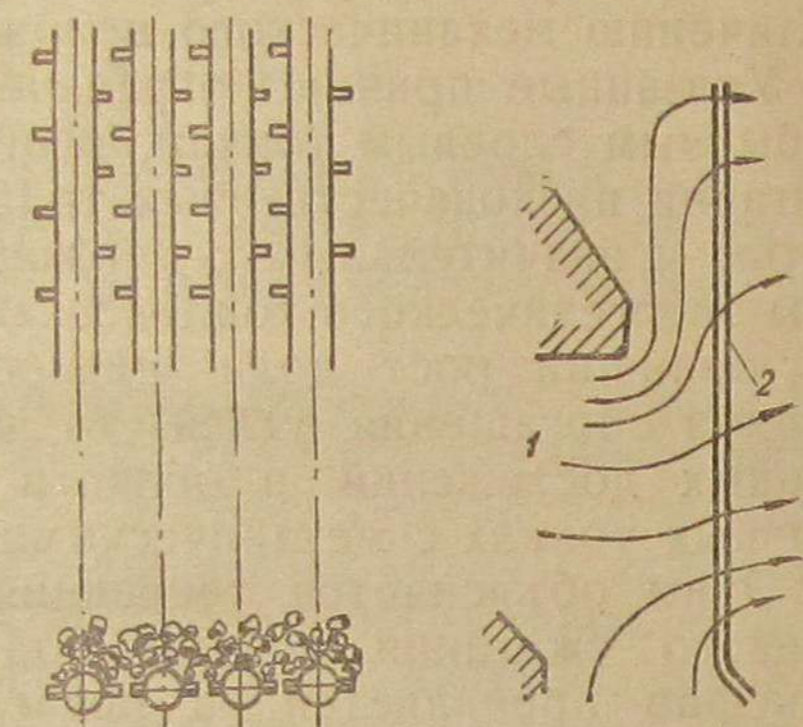


Рис. 2. Схема зажимающей решетки: 1 — дутьевой короб; 2 — зажимающая решетка.

из слоя специальной „зжимающей“ решетки (рис. 2). Эта решетка механически удерживает топливо от уноса при повышении скорости дутья, которое в данном случае не сопровождается нарушением устойчивости слоя. Куски топлива под действием напора дутья сталкиваются у щелей зажимающей решетки и, образуя своеобразные динамические сводики, препятствуют выносу даже самых мелких фракций.

Как показали опыт и эксплуатация скоростных топок, применение зажимающей решетки позволяет довести тепловое напряжение активной зоны слоя до 15—20 млн. калорий на  $m^2/ч$ .

Стадия выжига шлака интенсифицирована созданием зоны, в которой дожигание горючих происходит при небольших избытках воздуха. Из этой зоны шлак выводится либо в сухом, гранулированном виде после полного выжига углерода, либо, в случае сжигания многозольных топлив, в жидком виде.

Схема скоростной топки для кускового высоковлажного топлива представлена на рис. 3.

Топка представляет собой вертикальную или наклонную (иногда коленчатую) шахту, являющуюся продолжением топливного рукава. Топливо, непрерывно заполняя шахту, самопроизвольно опускается по мере выгорания в активной зоне.

Дутьевой воздух подводится к слою сбоку с одной стороны; с другой — расположена зажимающая решетка, пропускающая продукты горения слоя в топочную камеру и удерживающая топливо от уноса. В основании шахты расположен шлакоудаляющий механизм.

В принципе применение метода скоростного горения возможно при сжигании любых топлив.

Центральным котлотурбинным и Ленинградским политехническим институтами в течение 1936—1940 гг. были проведены модельные и стандартные испытания основных положений метода скоростного горения по сжиганию каменных углей, антрацита, кускового торфа и его смеси с фрезерной крошкой и древесной щепы и отходов.

При сжигании древесной щепы и отходов выявилась полная работоспособность топки со свободным опусканием слоя при отсутствии существенных трудностей. Поэтому первые промышленные топки было решено строить для сжигания древесного топлива. Освоение первых топочных устройств на различных разновидностях древесины (щепы, кора, отходы целлюлозного производства, дрова и опилки), начатое в 1941 г. и, в основном, законченное в 1948 г., показало значительную эффективность нового метода, особенно при высокой влажности топлива.

В настоящее время намечено широкое внедрение топок новой системы на древесном топливе в ряде установок на электростанциях, промышленных предприятиях, в сельской энергетике и на речном транспорте.

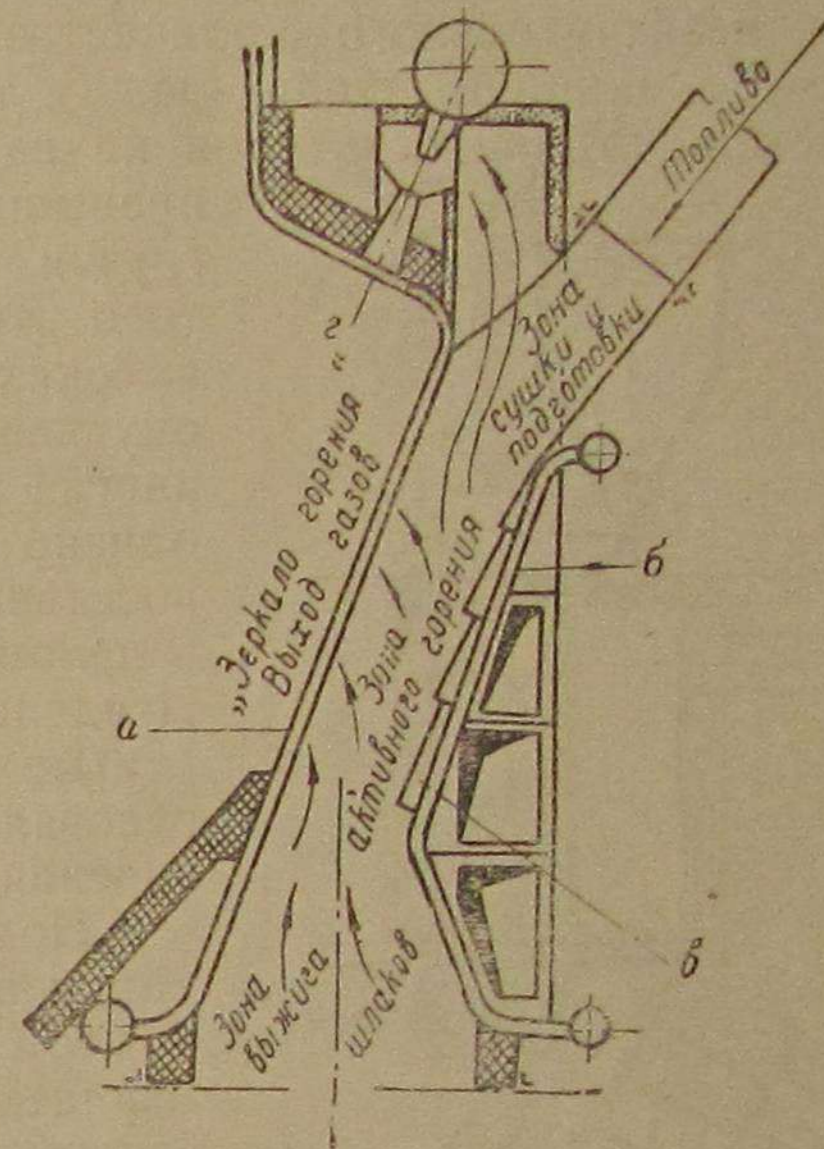


Рис. 3. Схема топки скоростного горения:

*a* — зажимающая решетка; *b* — дутьевая решетка; *в* — шурующиеся плунжеры; *г* — эжекторное устройство для отсоса швель-газа.

## ГЛАВА I

### ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ РАБОТЫ ТОПКИ

#### 1. Испытания на моделях

Для проверки основной идеи — возможности высокой форсировки слоя, зажато „зжимающей решеткой“, — были проведены опыты на холодной модели топки [4].

Модель имела два масштаба:  $1/20$  и  $2/5$  от натуральной величины топки под котел паропроизводительностью 40—60  $t/ч$  (рис. 4).

В опытах на малой модели роль топлива играла крупа различных размеров; на большой модели опыты проводились на рядовом газовом угле и на отдельных его фракциях. Результаты этих опытов показали, что при наличии в топливе хотя бы незначительного количества кусков, равных по размеру  $1/2 - 2/3$  ширины щели между трубами решетки, аэродинамическая устойчивость слоя не нарушается при нагрузках дутья, превышающих предельные значения нагрузки свободно залегающего слоя того же материала в 8—10 раз. При высоких форсировках дутья и при опускании топлива в шахте из слоя иногда вылетали отдельные кусочки, однако в месте выноса мгновенно восстанавливался опорный свод, и слой, в целом, сохранял свою устойчивость. Предельные расходы воздуха, достигнутые в опытах на модели, соответствовали тепловым нагрузкам зеркала горения до  $10 \cdot 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч.

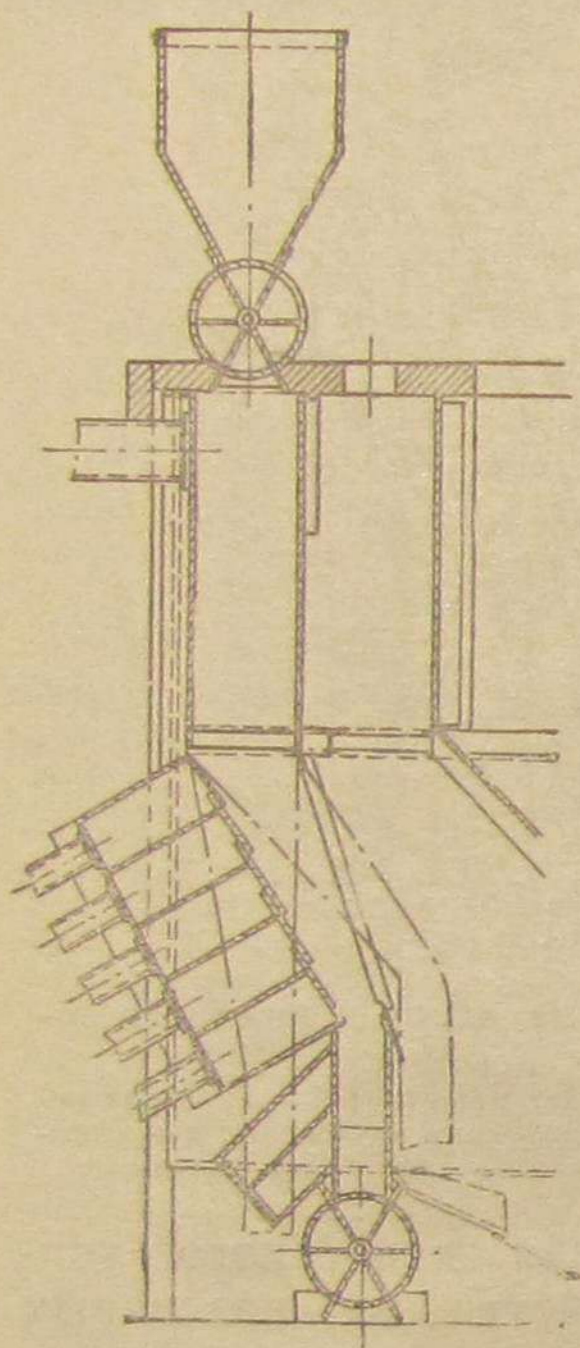


Рис. 4. Модель топки.

Под „зеркалом горения“ для данной топки понимается полная площадь открытой для выхода газов части зажимающей решетки, включая и участки, занятые трубами.

Большой интерес представляет сравнение характера изменения коэффициента сопротивления зажатого слоя (рис. 5) с характеристиками свободно залегающего слоя топлива того же фракционного состава [10].

Коэффициент сопротивления зажатого слоя при расходах воздуха, превышающих предельный, при котором свободный слой теряет свою устойчивость, изменяется по-разному, в зависимости от количества мелких фракций в топливе. При значительном содержании мелочи наблюдается понижение коэффициента сопротивления по мере роста расхода воздуха, что связано с выносом из слоя некоторой части мельчайших фракций.

Наоборот, при малом содержании мелочи, после достижения критического расхода воздуха, наблюдается рост коэффициента сопротивления. Это объясняется миграцией мелочи из глубинных участков слоя к зажимающей решетке и уплотнением слоя непосредственно около нее.

Характерно, что по мере повышения расхода воздуха коэффициент сопротивления становится примерно одинаковым для случаев топливного слоя с резко различным начальным содержанием мелочи. Из рис. 5 видно, что величина  $\lambda/\delta$  при расходе воздуха свыше  $8000$  нм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч становится равной  $\lambda/\delta = 20\,000 - 30\,000$

при изменении содержания мелочи (0 ÷ 3 мм) от 7 до 37%. Данное значение  $\lambda/\delta$  зависит от конструкции зажимающей решетки, увеличиваясь по мере сужения ее щелей.

Эти опыты, подтвердив правильность основной идеи скоростной топки, одновременно указали на наличие широких возможностей для понижения сопротивления слоя при высоких форсировках дутья, что весьма существенно с точки зрения снижения расхода энергии на собственные нужды котельных агрегатов.

2. Опыты на стане

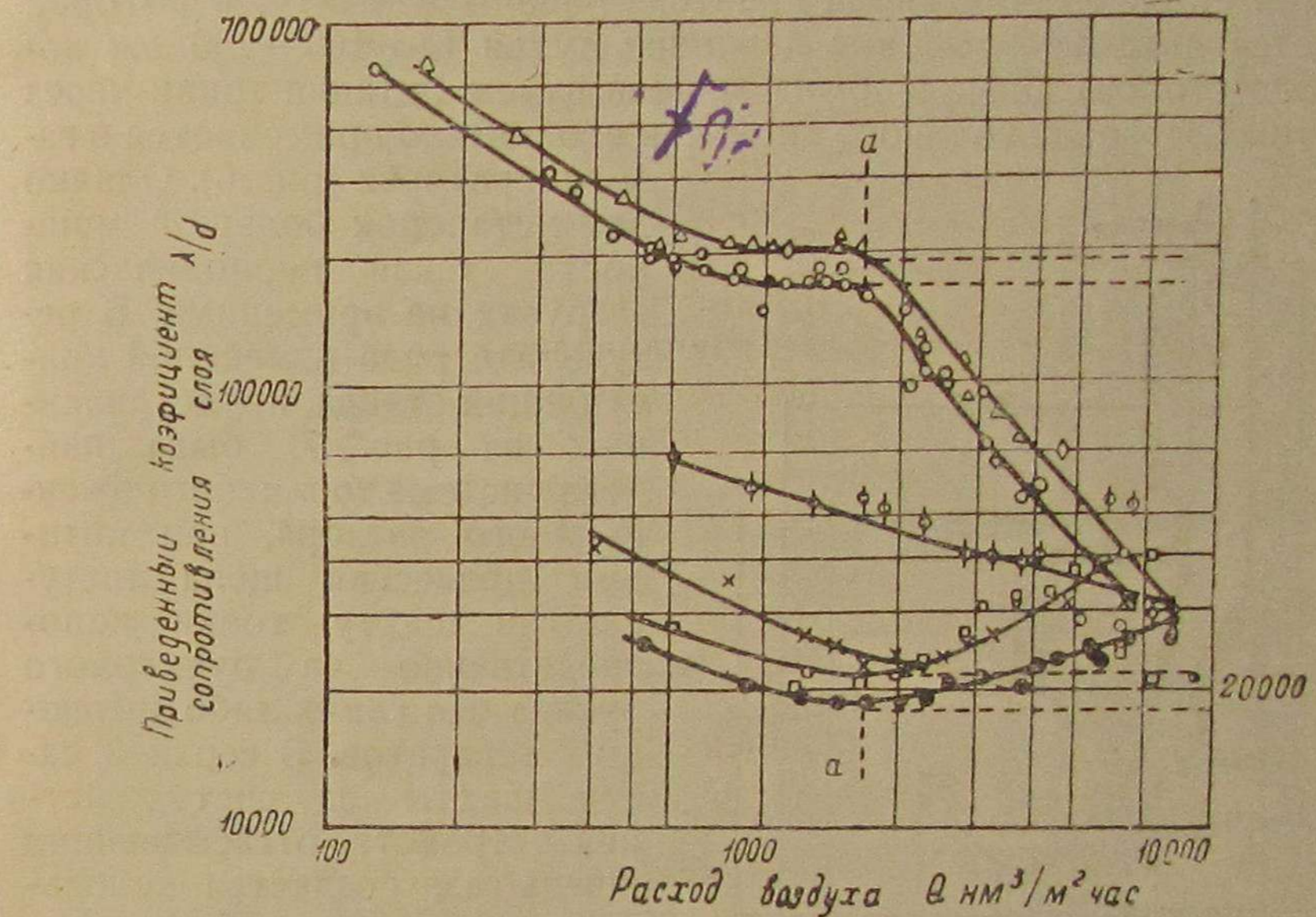


Рис. 5. Характер изменения коэффициента сопротивления зажатого слоя топлива; — — — коэффициент сопротивления свободного слоя; а — момент наступления предела устойчивости свободного слоя.

Содержание мелочи: 0—3 мм  
 □ — 6.9%; × — 10%; ● — 16.5%; Φ — 26.5%;  
 ◇ — 28.0%; Δ — 29%; ○ — 37%.

После проверки на модели возможности высокой форсировки зажатого слоя в 1937 г. был сооружен опытный стан, представляющий собой как бы вырезанный по ширине кусок промышленной топки под котел паропроизводительностью 40—60 т/ч (рис. 6). Становая установка не была связана с котельным агрегатом. Топочные газы выбрасывались в боров непосредственно из топочной камеры. Боковые стенки топки были закрыты гладкотрубными экранами, включенными в отопительную систему.

Основные опыты на стане, наряду с попытками сжигать каменные угли, антрацит и торф, были проведены на древесной

щепе и отходах [5] (см. также отчеты ЦКТИ по освоению скоростной топки за 1937—1941 гг.). Эти опыты показали полную возможность сооружения промышленных топок на древесине.

Экспериментального разрешения потребовал вопрос подачи значительных объемов столь мало теплоплотного топлива, а также вопрос равномерного самопроизвольного опускания слоя. Задача ввода древесной щепы в шахту, в которой имеется довольно высокое давление дутья (до 100—250 мм водяного столба) вначале была решена путем питания топки через плотный затвор шлюзового типа, как это обычно применяется в газогенераторах (рис. 6). Однако

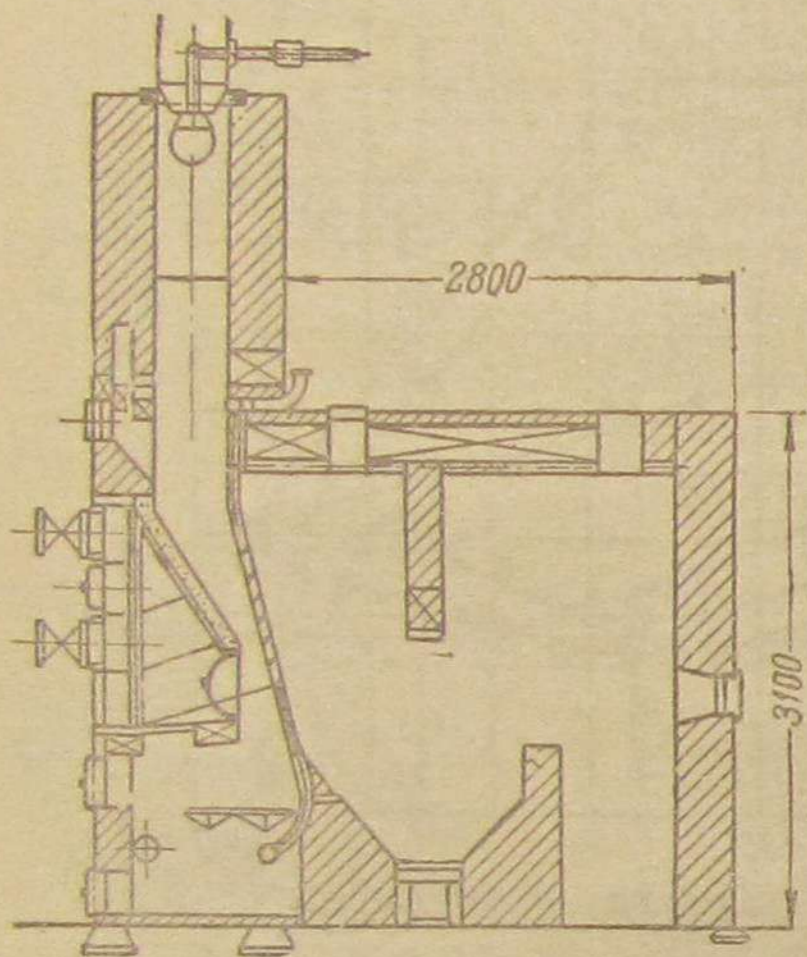


Рис. 6. Опытный stand.

для установок большой мощности такая периодическая загрузка не применима. В результате ряда изменений конструкции станда, представленных на рис. 7, была найдена система топливного эжекционного затвора, при котором древесная щепа поступает в шахту топки непосредственно из бункерного рукава без каких-либо питающих аппаратов. В верхней части шахты за счет действия устройств, отсасывающих швель-газ, создается небольшое разрежение, обеспечивающее отсутствие проникновения газов в бункер. На рис. 8 показана окончательная конструкция станда, выполненная

по такому принципу. Наличие отсоса газа в верхней части шахты создает перепад давлений — от давления в зонах до разрежения вверху шахты и обеспечивает надежную подготовку топлива. Опыты показали надежность работы такого затвора и безопасность его в пожарном отношении. Отсос швель-газа производился посредством воздушных эжекторов.

В промышленных установках наряду с эжекторами был применен отсос газов в последние газоходы котла или непосредственно в топочную камеру за счет имеющегося там разрежения.

В условиях станда, при малых размерах шахты  $460 \times 460$  мм и наличии местного сужения в середине ее по высоте, довольно часто наблюдались нарушения равномерного опускания слоя, требовавшие применения шуровки. Наиболее часто это происходило при работе на древесной коре и мелкой щепе, приближающейся по форме к стружке. Вследствие этого пришлось отказаться от сужения слоя топлива в активной зоне (рис. 7, а) и перейти сначала на коленчатый слой одинаковой толщины (рис. 7, б), а затем на расширяющийся книзу вертикальный слой

(рис. 7, в—е). Одновременное увеличение толщины слоя до 600 мм полностью ликвидировало необходимость шуровки, однако местные задержки слоя все же иногда имели место. Движение слоя происходило прерывисто, скачкообразно. В последующих опытах при дальнейшем увеличении сечения шахты до  $700 \times 900$  мм было устранено и это явление.

Результаты основных опытов представлены в табл. 1. Типичные режимные характеристики опыта даны на рис. 9.

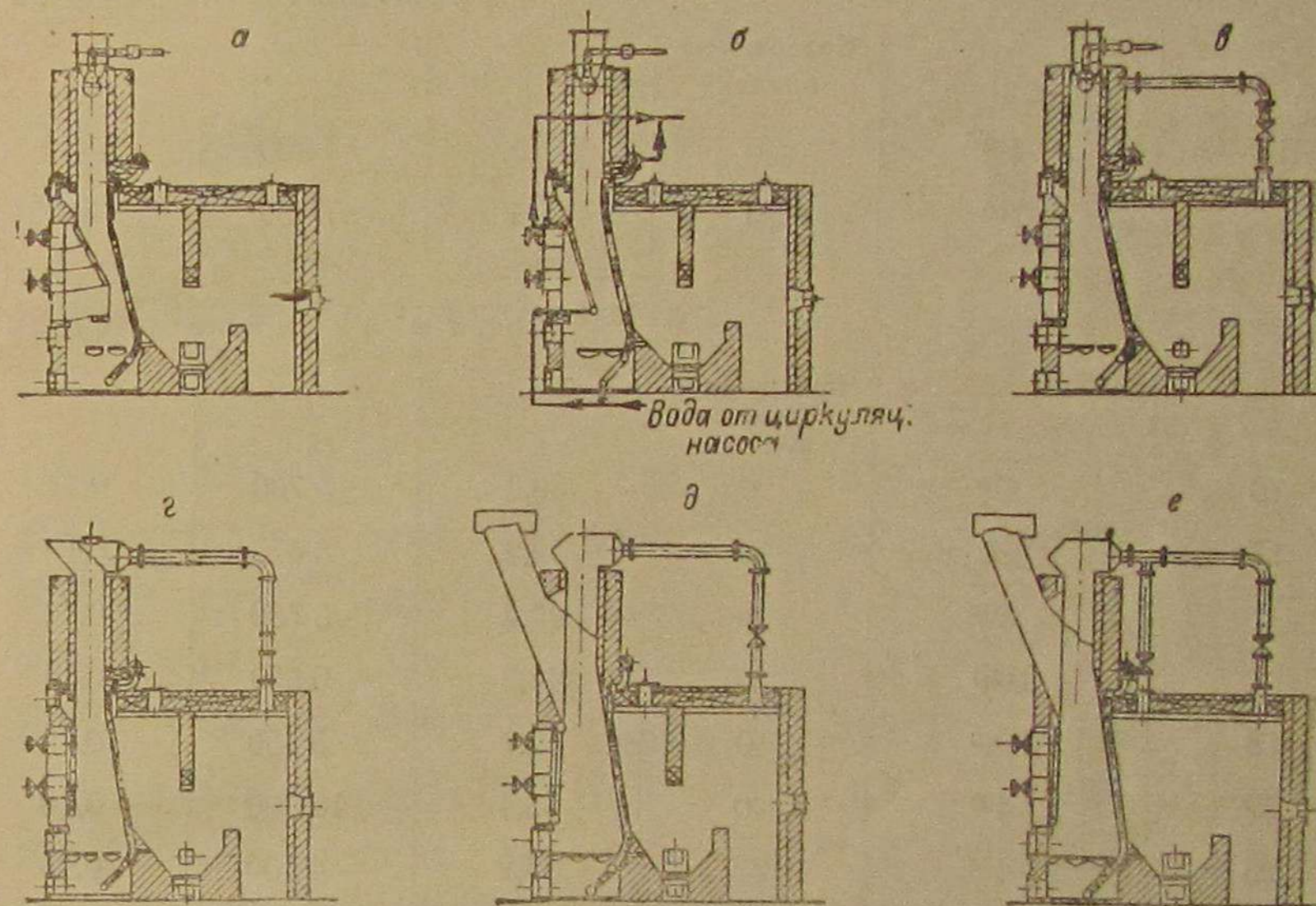


Рис. 7. Развитие конструкции станда:

а — опыты № 1—4; первоначальная конструкция с наклонной сужающейся шахтой и затвором генераторного типа; б — опыты № 6, 7; наклонная шахта постоянной ширины; в — опыты № 8, 10, 11; вертикальная шахта, расширяющаяся книзу; установка эжектора для отсоса газов из верхней части шахты; г — опыты № 12—17; устройство отсосной коробки на вершине шахты без герметического затвора; д — опыт № 18; устройство отдельного топливного рукава и понижение места отсоса газа; е — опыты № 19—27; усиление системы отсоса газа; устройство двух эжекторов.

Нарушение монотонного хода режимных кривых объясняется отчасти периодичностью загрузки топлива и, главным образом, наличием случайных подвисаний слоя, сопровождающихся резким падением содержания  $\text{CO}_2$  и тепловой мощности станда.

Опыты показали возможность сжигания любых отходов древесины при условии их самопроизвольного опускания в шахте и наличии опилок до 50%. Предельная допустимая влажность смеси оказалась равной 60%.

В опытах были получены тепловые напряжения зеркала горения до  $8,8 \cdot 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч и напряжения ширины фронта до  $7 \cdot 10^6$  кал/мч. Верхний предел этих значений был ограничен производительностью топливоподачи при ручном обслуживании.

Результаты основных стандовых

№ опытов	Длительность режима, ч	Топливо		Количество воздуха, подаваемого к слою, $L_{сл}$ $нм^3/м^2ч$	Доля воздуха, идущего в шахту, $L_{ш}/L_{сл}$
		добавка к основному топливу, %	влажность сжигаемого топлива, %		
Опыты на чурках					
13	420	0	27,0	4 900	—
	700	50	44,0	7 400	—
Опыты на щепе и смеси					
16	410	0	39,2	5 700	0,14
	900	0	42,2	3 670	0,14
17	600	0	42,2	5 750	0,17
	1000	0	42,0	6 500	0,14
18	300	0	42,1	5 950	0,15
22	400	0	53,4	10 000	0,20
26	400	22	36,2	4 100	0,19
24	280	22	50,2	5 300	0,13
	530	31	53,6	6 050	0,22
27	945	21	53,0	6 600	0,30
Опыты на смеси					
20	400	38	56,4	10 000	0,17
14	500	40,8	46,3	8 250	—
25	700	45,0	54,0	5 850	0,12
17	400	45,0	55,4	7 050	0,09
20	300	52,0	56,2	7 520	0,19
14	1400	55,5	48,7	8 700	—
19	500	56,0	49,5	5 750	0,23
22	600	62,5	60,5	7 000	0,22
23	700	100	49,6	6 440	0,14

опытов на древесной щепе и отходах

Средний состав газа у решетки		Средний коэффициент избытка воздуха по слою $\alpha_{сл}$	Нагрузка зеркала горения $U \cdot 10^{-6}$ кал/м <sup>2</sup> ч	Приведенная нагрузка зеркала горения $U_0 \cdot 10^{-6}$ кал/м <sup>2</sup> ч	Сопротивление слоя $\Delta p$ мм водяного столба	Время пребывания топлива в шахте $\tau$ мин.
CO <sub>2</sub>	$\alpha_{реш}$					
с добавкой опилок						
7,7	1,19	0,5	8,84	18,0	120	17
4,9	1,55	1,18	5,70	7,70	160	17
щепы с сульфидным щелоком						
15,0	1,1	0,69	7,02	12,3	63	10
11,0	1,5	1,01	3,72	10,1	25	19
14,0	1,35	0,72	6,35	11,0	70	9
10,5	1,7	1,03	5,03	7,8	50	12
12,0	1,35	0,86	6,66	11,2	60	11
14,0	1,25	0,79	8,87	8,9	160	8
15,0	1,13	0,54	6,87	16,8	28	15
13,0	1,07	0,85	5,75	8,8	45	12
14,0	1,15	1,13	4,20	7,0	60	20
13,0	1,2	0,82	6,84	10,8	48	10
щепы с корой						
15,0	1,47	1,3	3,09	3,40	170	22
6,7	2,20	1,91	3,70	4,50	60	19
14,0	1,22	0,94	4,40	7,50	50	16
6,3	3,00	1,66	3,10	4,40	—	14
10,5	2,08	1,53	3,71	4,90	70	23
11,8	1,50	1,86	4,72	4,70	54	20
14,0	1,10	1,21	3,70	6,4	160	25
13,0	1,4	1,3	3,5	5,1	60	19
12,0	2,0	1,48	3,40	5,25	60	25



Нарушений устойчивости слоя при этих нагрузках не наблюдалось. Среднее значение потери тепла от механического недожога по десяти опытам составило 1,85%, в том числе: в шлаках, удаляемых из шахты, — 0,44% и в уносе 1,41%.

Необходимо отметить, что дожигание мелочи, выносимой из слоя в топочную камеру станда, из-за неудовлетворительной подачи вторичного воздуха не было организовано. В построенных затем промышленных топках этот вопрос был полностью разрешен.

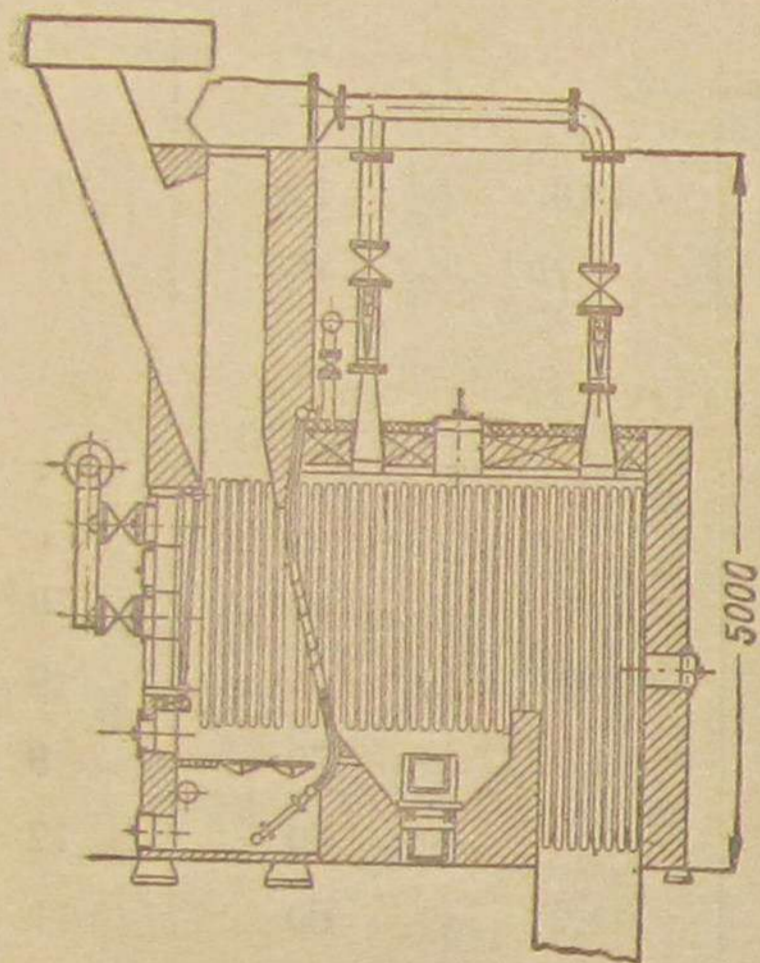


Рис. 8. Окончательная конструкция станда.

В периоды нормальной работы топки (когда отсутствовали задержки опускания топлива) содержание  $\text{CO}_2$  в газе по выходе из зажимающей решетки держалось достаточно устойчиво в пределах 12—15%, несмотря на то, что влажность топлива доходила до 54—60% (рис. 10). Коэффициент избытка воздуха за решеткой в это время составлял  $\alpha_{\text{реш}} = 1,07—1,22$ , что показало возможность успешной организации форсированного сжигания очень влажного топлива.

Практическая независимость состава газа за решеткой от нагрузки дутья  $L_{\text{сл}}$  и влажности  $W_p$  топлива (рис. 10) позволила пересчитать фактическую полу-

ченную в опытах тепловую нагрузку зеркала горения, при различных расходах дутьевого воздуха, на максимальную достигнутую форсировку дутья.  $L_{\text{сл}} = 10\,000 \text{ нм}^3/\text{м}^2\text{ч}$ . Характеристики связи этой приведенной нагрузки с влажностью топлива  $W_p$  и расходом дутья  $L_{\text{сл}}$  даны на рис. 11.

Большой разброс точек на этих рисунках указывает на то, что одним из главных условий нормальной работы топки является бесперебойный сход щепы и отсутствие прогаров. Малые размеры шахты существенно ухудшали показатели работы топки.

Из графиков рис. 10 и 11 можно установить, что по мере повышения влажности и роста содержания коры в топливной смеси показатели работы топки несколько ухудшаются, а другие топочные устройства на такой топливной смеси вообще не могут работать.

Особый интерес представляет характер изменения сопротивления слоя с форсировкой дутья, представленный на рис. 12. Из приведенного графика видно, что необходимый напор дутья оказался значительно меньшим, чем это вытекало из опытов

на модели с негорящей щепой. Это обстоятельство крайне существенно с точки зрения дальнейшей форсировки зажатого

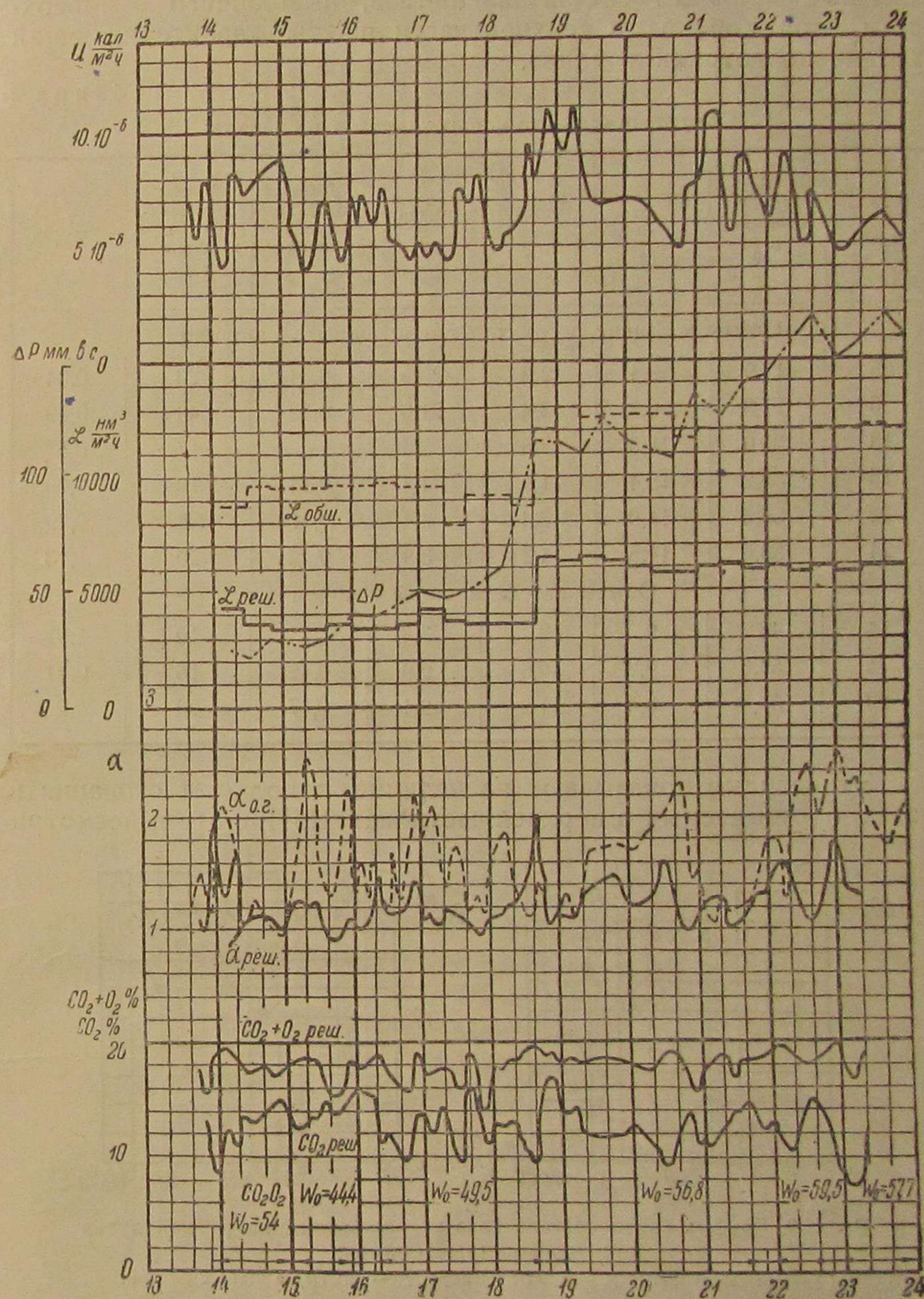


Рис. 9. Режимные кривые опыта № 27 по сжиганию щепы с сульфидным щелоком.

слоя при реально осуществимых напорах дутья. Полученные значения сопротивления слоя показывают на практическую

возможность достижения весьма высоких тепловых напряжений (порядка  $20-30 \cdot 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч.).

Ниже приведен состав швель-газа, выходящего с поверхности слоя топлива в верхней части шахты, характеризующий степень подготовки топлива.

Таблица 2

Состав швель-газа, выходящего из шахты

№ опытов	Влажность топлива %	CO <sub>2</sub> шв. %	O <sub>2</sub> шв. %	COшв. %	Доля воздуха, идущего вверх L <sub>ш</sub> /L <sub>сл</sub>	Время пребывания топлива в шахте τ <sub>мин.</sub>	α <sub>сл</sub>
Опыты на щепе, чурках и смеси щепы со щелоком							
5	17,9	9,4	2,8	20,5	0,34	23	0,34
6	27,3	9,3	3,4	21,0	0,33	48	0,49
13	35,0	15,5	2,8	2,6	—	17	0,5
16	39,2	15,4	1,9	4,4	0,14	10	0,69
22	53,4	14,0	3,4	4,4	0,21	8	0,79
24	53,6	14,5	4,2	3,9	0,22	20	1,13
Опыты на смеси щепы с корой							
14	48	9	9	3,8	—	10	1,91
25	54,0	9,2	10,8	0,9	0,42	16	0,94
20	58,5	8,8	11,2	2,1	0,17	23	2,2

Эти данные показывают на наличие неполноты сгорания в газах, отсасываемых в верхней части шахты. При этом, несмотря

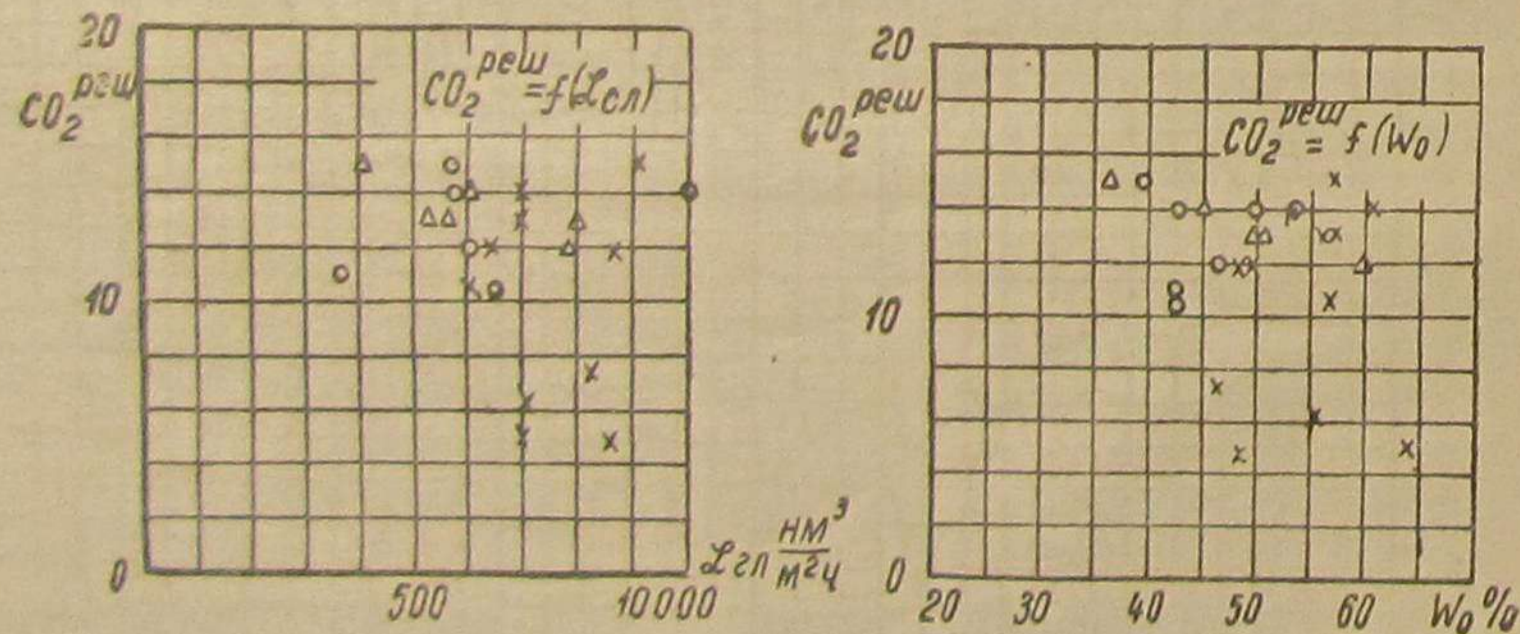


Рис. 10. График связи состава газа за решеткой с нагрузкой дутья и влажностью топлива:

○ — опыты на щепе; × — опыты на коре; △ — опыты на щепе с бардой.

на большие колебания отдельных составляющих, в основном, связанные со случайными подвисаниями слоя, отчетливо выявляется тенденция понижения содержания CO в газах по мере роста

влажности топлива. Содержание CO при переходе от подсушенного топлива, влажностью 18—27%, к смеси щепы с корой, влажностью 54—58%, падает от 20—21% до 0,9—2,1%. Отсюда вытекает исключительно важный вывод о режимах работы шахты. Можно установить три возможных режима.

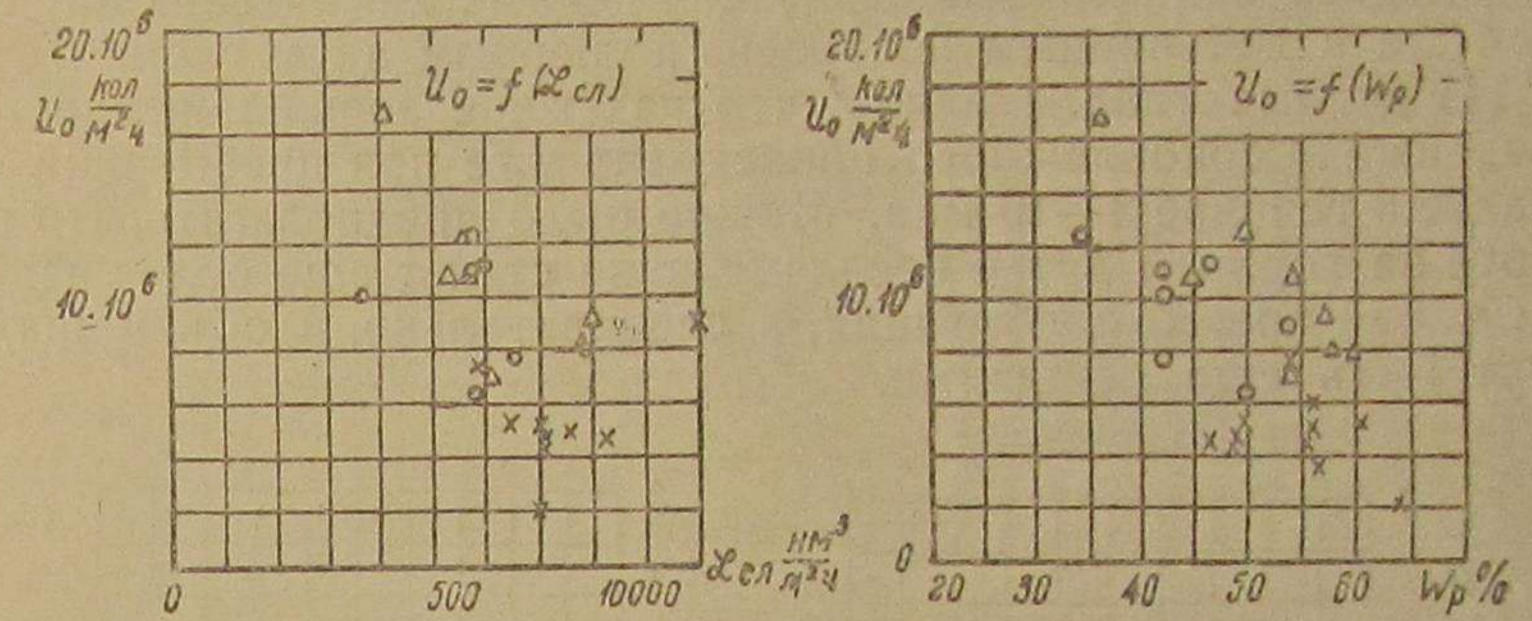


Рис. 11. График связи приведенного теплового напряжения зеркала горения с нагрузкой дутья и влажностью топлива:

○ — опыты на щепе; × — опыты на коре; △ — опыты на щепе с бардой.

При высокой влажности топлива и малом количестве отсасываемого газа, в швель-шахте происходит только подсушка топлива. Газ, выходящий с поверхности слоя, содержит малое количество горючих, поэтому наиболее целесообразно выбрасывать этот газ в атмосферу, ведя процесс по разомкнутому циклу сушки.

При влажности щепы около 30—45% в швель-шахте наряду с подсушкой происходит и частичная возгонка древесины. Выходящий из шахты газ содержит в себе значительное количество горючих. Поэтому его необходимо возвращать в топочную камеру для дожигания. Сушка топлива в шахте происходит по замкнутому циклу.

При низкой влажности щепы (20—30%) в шахте может развиваться процесс полного термического разложения древесины с выделением таких химических продуктов, которые получают приемами технологии сухой перегонки дерева. При этом в топке можно осуществить комплексное энергохимическое использование древесины с получением ряда высокоценных и

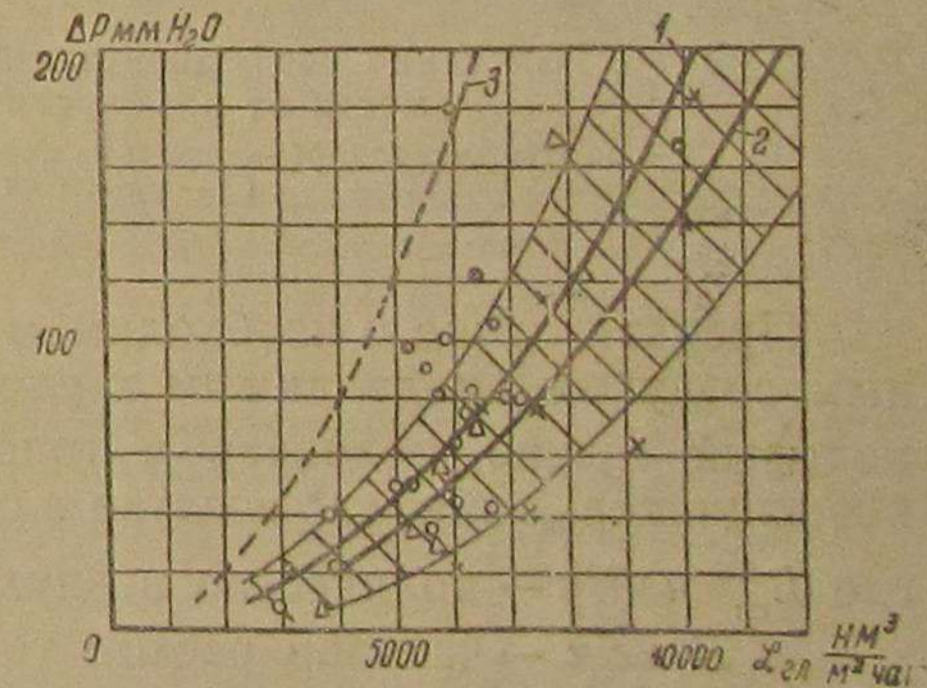


Рис. 12. Сопротивление горящего зажатого слоя:

○ — опыты на щепе; △ — опыты на щепе с бардой; × — опыты на коре; 1 — щепы и щепы с бардой; 2 — щепы с корой; 3 — опыты с негорящей щепой.

остродефицитных химических продуктов. Вопрос использования этой схемы работы топки был поставлен еще в 1938 г. и после опытной проверки на стандах ныне получает промышленное разрешение.

Работа котельных топок, предназначенных только для сжигания древесины, без использования ценных химических продуктов была в дальнейшем построена по первым двум схемам.

Из данных табл. 1 видно, что надежное воспламенение топлива, даже высоковлажного, происходит уже при пребывании его в шахте в течение 8—10 мин. Можно было предполагать, что при работе на горячем дутье воспламенение станет еще более надежным и что время пребывания, а следовательно, и объем шахты могут быть еще меньшими.

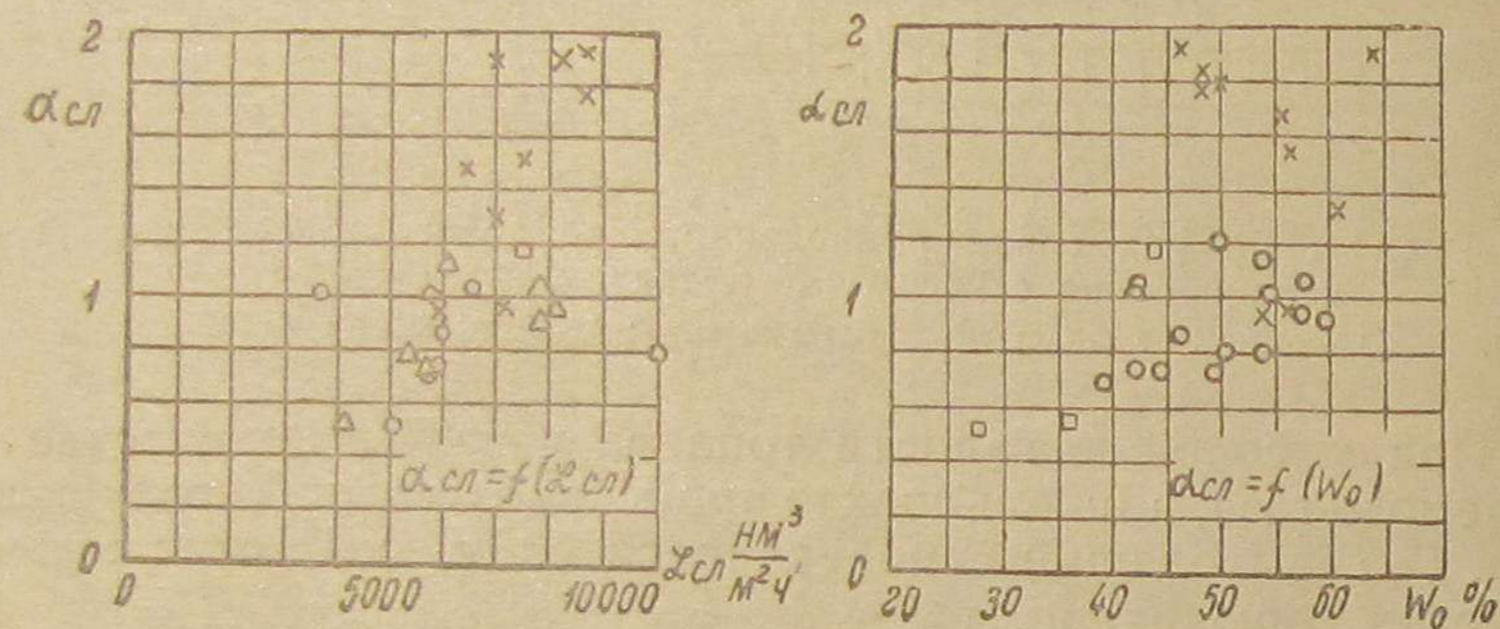


Рис. 13. Изменение коэффициента избытка воздуха в слое в зависимости от влажности и форсировки:

○ — опыты на щепе; × — опыты на коре; △ — опыты на щепе с бардой;  
□ — опыты на чурках.

Представление о необходимом распределении между первичным воздухом, подводимым к слою (рис. 9,  $L_{\text{реш}}$ ), и вторичным, который нужно подавать в топочную камеру, дает величина коэффициента „избытка“ воздуха в слое  $\alpha_{\text{сл}} = L_{\text{сл}} / BL_0$ ,

где  $L_{\text{сл}}$   $\text{нм}^3/\text{ч}$  — количество воздуха, подводимого к слою;

$B$   $\text{кг}/\text{ч}$  — часовой расход топлива;

$L_0$   $\text{нм}^3/\text{кг}$  — теоретически необходимое количество воздуха.

Значения этой характеристики, при разной влажности и форсировке топки, представленные на рис. 13, также оказались различными для опытов на щепе и опытов на смеси щепы с корой.

При сжигании щепы коэффициент  $\alpha_{\text{сл}}$  лежит в пределах значений  $\alpha_{\text{сл}} = 0,5 \div 1,2$ . Для смеси щепы с корой и коры  $\alpha_{\text{сл}}$  заметно возрастает до  $\alpha_{\text{сл}} = 0,94 - 1,9$ . Также можно отметить тенденцию к возрастанию значений  $\alpha_{\text{сл}}$  при увеличении расхода воздуха и еще более отчетливо при росте влажности.

Результаты стандовых опытов следует рассматривать с двух точек зрения.

Во-первых, они подтвердили правильность основных принципов работы новой топки и оказались достаточными для того, чтобы стало возможным принять решение о строительстве опытно-промышленных топок, наметить их конструкцию и установить основные размеры.

Во-вторых, на станде удалось измерить такие характеристики, как распределение воздуха по шахте, средний состав газа за зажимающей решеткой и др., получить которые на промышленной топке в эксплуатационных условиях несравненно труднее. Поэтому данные стандовых опытов не потеряли ценности и сейчас, когда имеется значительный материал по освоению промышленных топок скоростного горения.

Главным выводом, вытекающим из стандовых испытаний, является возможность высокофорсированного и экономичного сжигания влажной древесной щепы и отходов в топке очень простой конструкции при технически вполне допустимых напорах дутья.

Одновременно испытания указали на необходимость обеспечения бесперебойности схода топлива в шахте, нарушения которого явились основным дефектом работы станда.

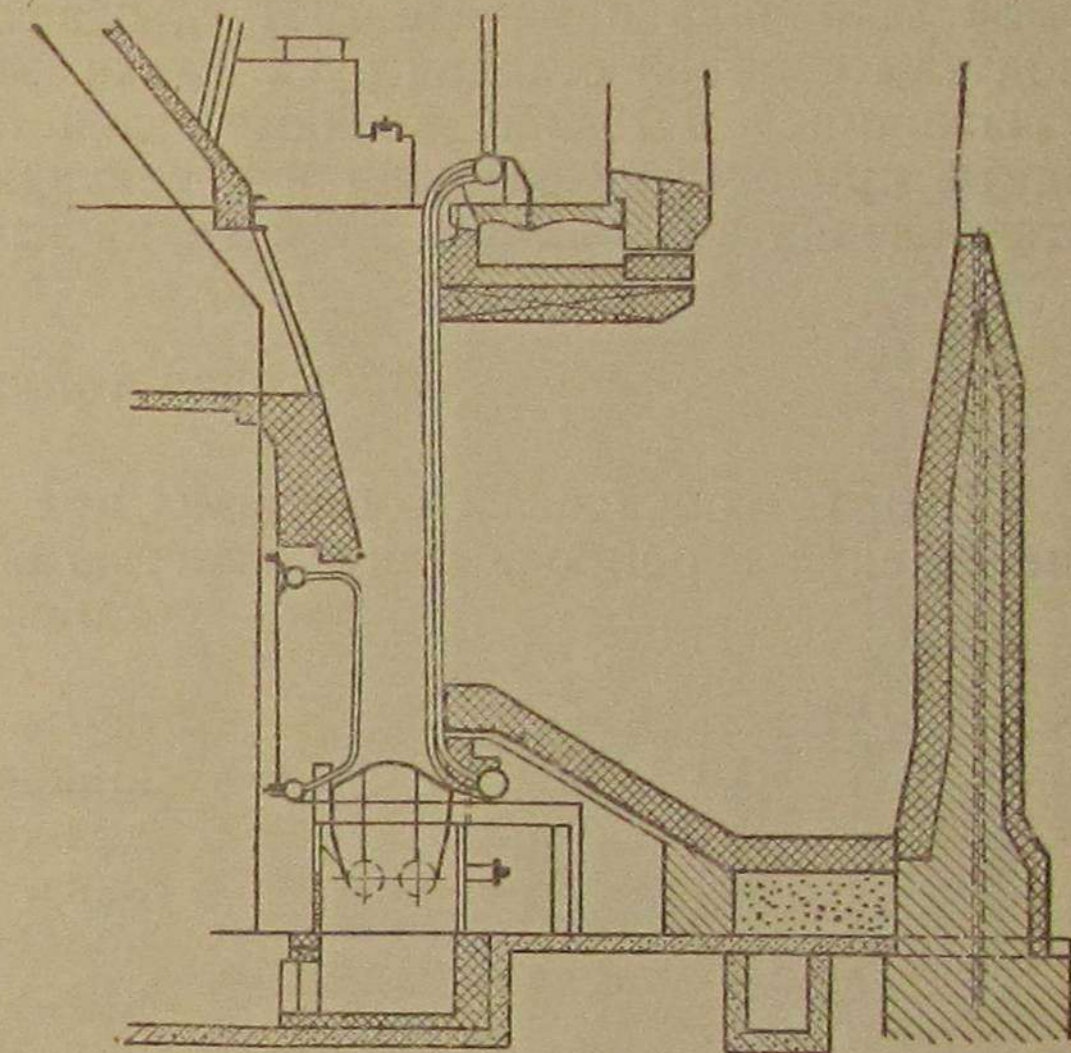


Рис. 14. Топка для сжигания одубины под котлом паропроизводительностью 9 т/ч для Майкопского дубильного завода

## ГЛАВА II

### ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТОПКИ СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ ДЛЯ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ, ОТХОДОВ И ДРОВ

#### 3. Первая топка

Первая топка была запроектирована для сжигания одубины на Майкопском дубильно-экстрактном заводе под котел Шухова паропроизводительностью 9 т/ч [4].

Эта топка, в основном, по конструкции повторяя станд, имеет следующие особенности (рис. 14).

Так как топка предназначена для сжигания одубины, влажность которой весьма высока и меняется в узких пределах от

58 до 63%, то принята схема работы топки только по разомкнутому циклу сушки — с удалением газа из шахты в дымоход за котлом.

Топка снабжена непрерывным шлакоудалением — дробильными вальцами того же типа, какие применяются в шлаковых шахтах топок с нижней подачей топлива. Выбор такой мощной системы удаления шлаков был вызван желанием провести на этой топке опыты по сжиганию зольных топлив. Постройка топки была закончена в начале 1941 г., однако, в связи с задержкой монтажа силовой станции пуск топки затянулся и был сорван начавшимися в 1942 г. военными действиями. Немецкие оккупанты при бегстве разрушили котельную завода. Окончание восстановления котельной и пуск топки намечены на конец 1948 г.

#### 4. Вторая топка

Вторая топка была сооружена под котлом Невского завода им. Ленина паропроизводительностью 60—75 т/ч на ТЭЦ Соликамского комбината (рис. 15).

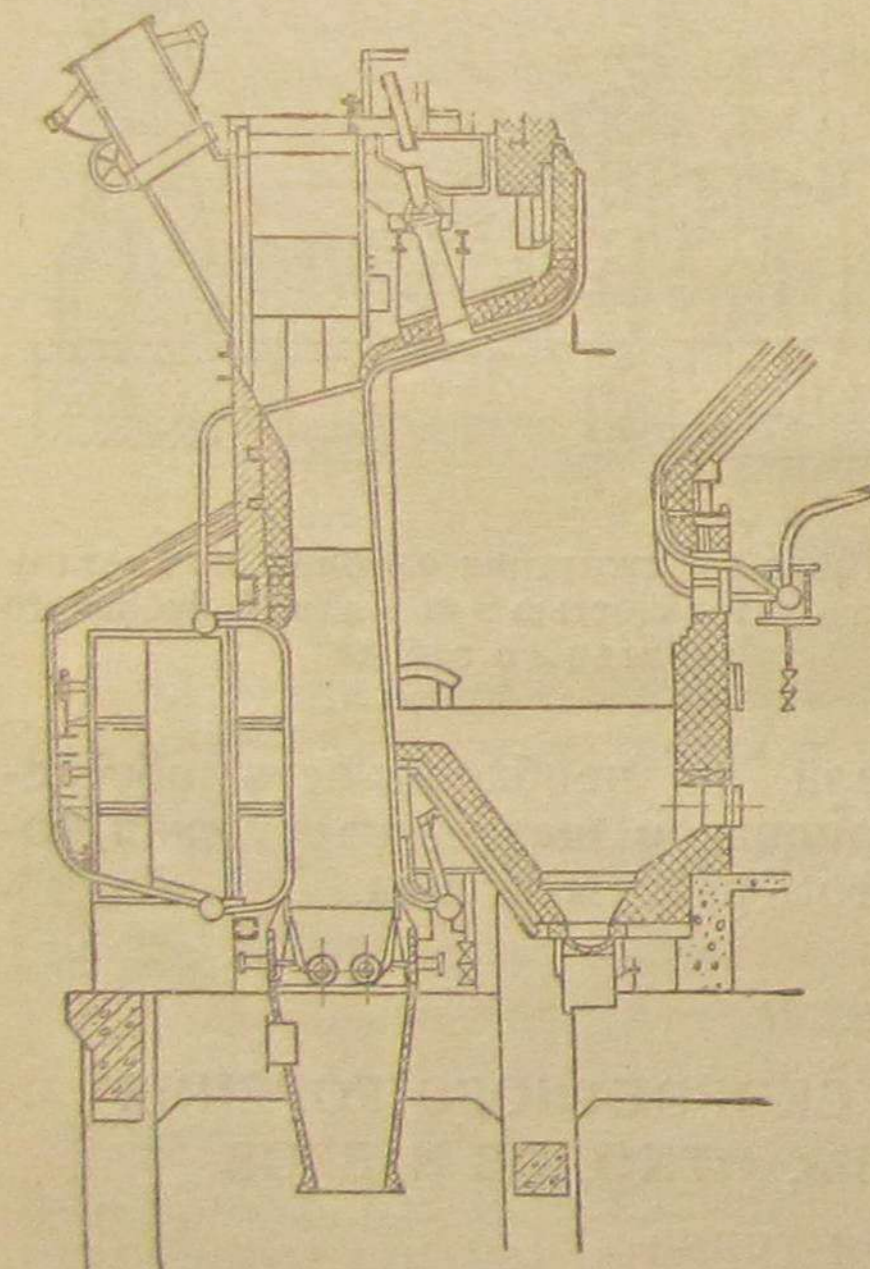


Рис. 15. Топка скоростного горения ЦКТИ системы В. В. Померанцева под котлом НЗЛ 60/75 на ТЭЦ Соликамского комбината.

Топка состоит из двух вертикальных шахт, являющихся непосредственным продолжением топливного рукава. В основании шахт установлены дробильные вальцы, предназначенные для удаления золы и шлака. Зажимающая решетка образует стенку, отделяющую шахты от топочной камеры. Решетка выполнена из труб  $51/44$  мм, включенных в экранную систему котла. Шаг труб — 90 мм. Для увеличения зажимающего эффекта к трубам приварены поперечные штыри, образующие как бы поперечные прутья решетки (рис. 16). На фронтальной стенке шахты расположена дутьевая решетка, также составленная из труб  $51/44$  мм, с шагом 90 мм. К этой решетке примыкает дутьевой короб, разделенный на три независимых зоны. Ширина каждой шахты по фронту котла

3000 мм. Толщина слоя топлива выбрана в наиболее узкой части равной 760 мм, исходя из соображений бесперебойности опускания. Обе решетки поставлены наклонно, и ширина шахты внизу

доходит до 920 мм. Открытая часть зажимающей решетки — „зеркало горения“ — имеет высоту 1500 мм.

Расчетное тепловое напряжение зеркала горения, имеющего площадь  $R_{з.г} = 9,0 \text{ м}^2$ , при максимальной нагрузке котла 75 т/ч составляет  $6,15 \cdot 10^6 \text{ кал/м}^2\text{ч}$ , что существенно меньше значений, полученных в опытах на стенде. При проектировании топки была предусмотрена возможность ее замены на цепную решетку в том случае, если топка окажется неработоспособной. Вследствие

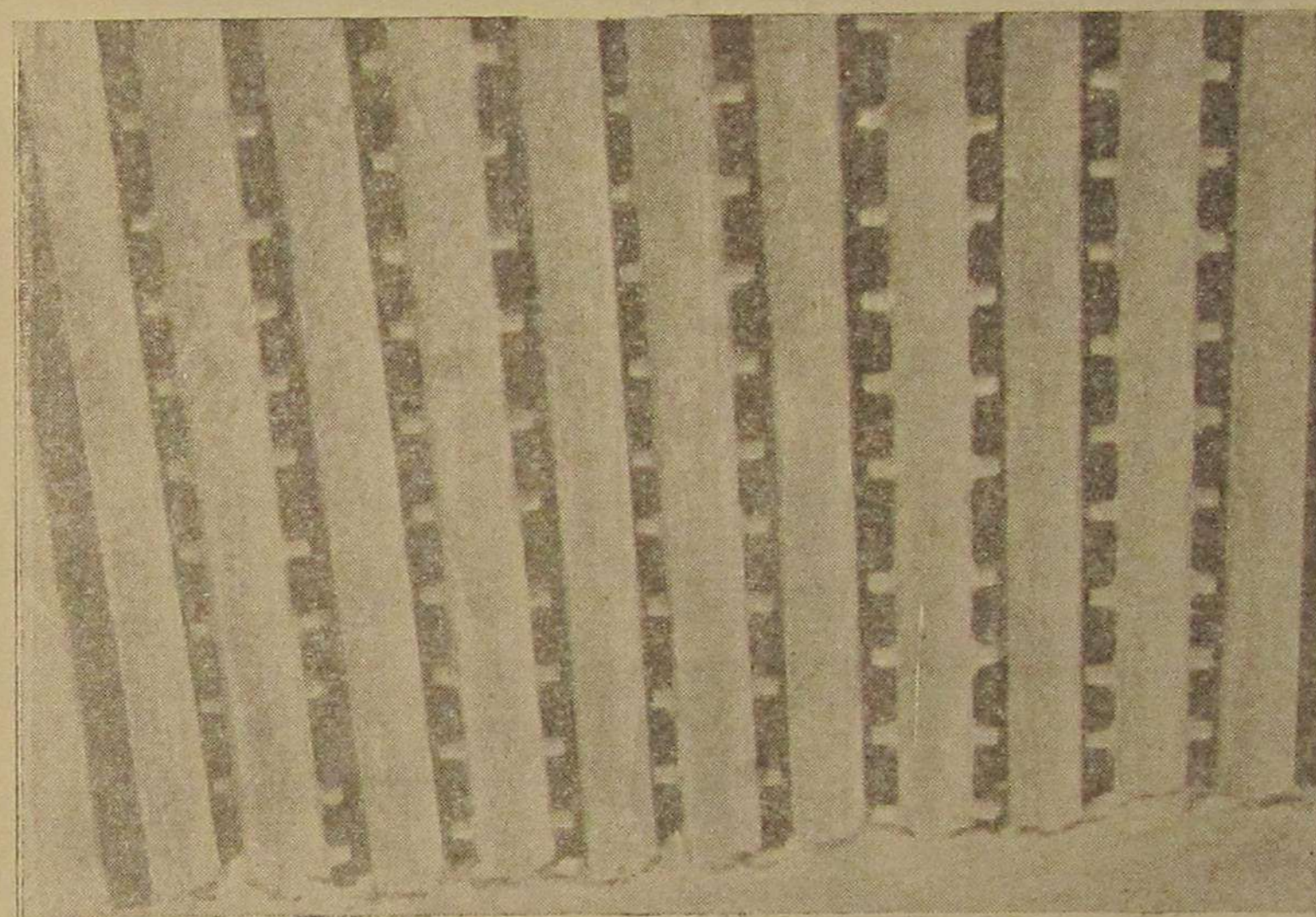


Рис. 16. Вид на зажимающую решетку со стороны топочной камеры.

этого размеры шахт и особенно топочной камеры определились габаритами существующего котла.

Поэтому максимальное тепловое напряжение объема топки оказалось равным  $\frac{Q}{V_T} = 275 \cdot 10^3 \text{ кал/м}^3\text{ч}$ , что не превосходит обычных значений для топок с цепными решетками. Проектом было предусмотрено повышение мощности котла до номинала 75 т/ч, в то время как при топках с цепными решетками, из-за невозможности разместить необходимую площадь полотна, предельная паропроизводительность котла составляла 63 т/ч.

Разрежение в 2—3 мм водяного столба в верхней части шахты, необходимое для предупреждения дымления через топливные рукава, обеспечивается за счет отсоса газов при помощи воздушных эжекторов, установленных под потолком шахты. При прососе газов, отбираемых из активной зоны, через слой топлива в верхней части шахты происходит подсушка и частично шве-

левание топлива. Кроме эжекторов, в верхней части шахты присоединены короба, соединенные с газоходом за воздухо-

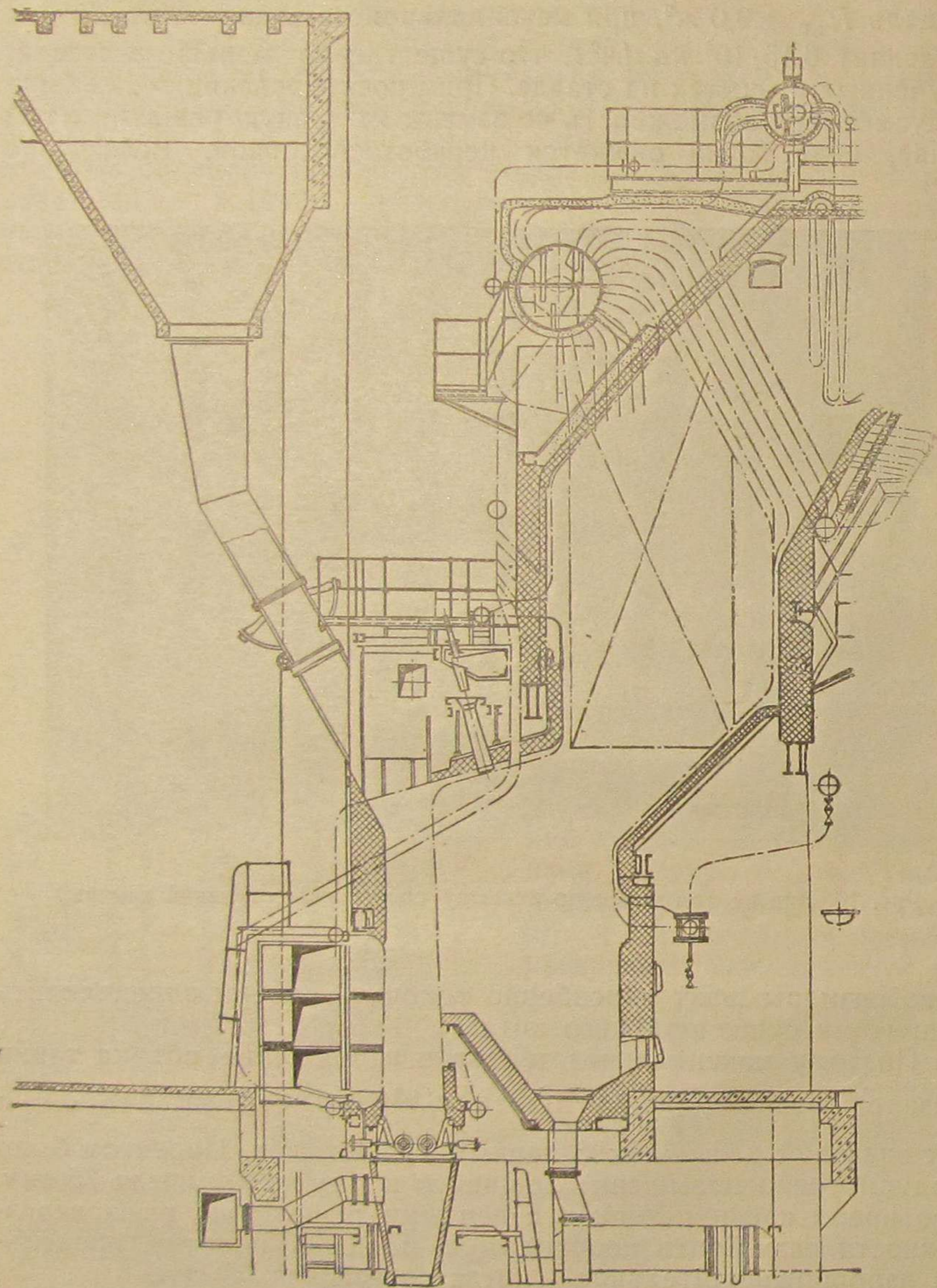


Рис. 17. Компонировка топки с котлом № 3 ТЭЦ Соликамского комбината.

подогревателем. Переключая шиберы, можно работать либо по замкнутому, либо по разомкнутому циклам сушки.

В основании топочной камеры установлена небольшая колос-

никовая решетка с дутьем, предназначенная для дожигания щепы, вынесенной через зажимающую решетку.

В остальном конструкции топочной камеры и котла выполнены так же, как и при цепной решетке. Общий вид котла пред-

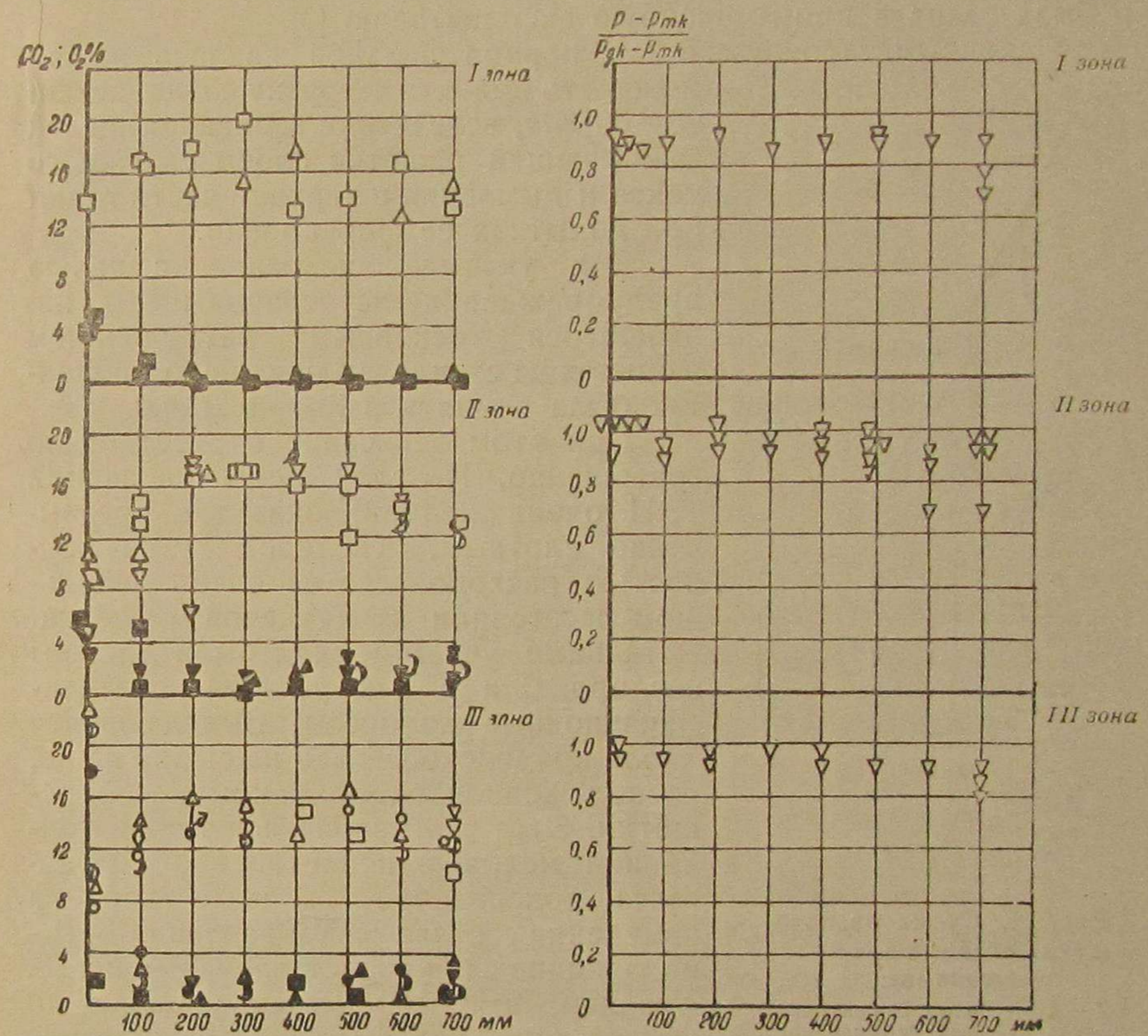


Рис. 18. График газового анализа и давления по толщине слоя до переделок шахты:

Расход дутья — 30 000 н.м<sup>3</sup>/ч, приведенная скорость дутья = 2 н.м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> сек.

ставлен на рис. 17. Управление котлом сводилось к изменению количества подаваемого воздуха и отсасываемых дымовых газов. Все шиберы управления по газозадушному тракту были снабжены дистанционным приводом, соединенным с обслуживающей площадкой перед фронтом котла.

Удаление шлака по проекту предполагалось производить при помощи вальцов, периодически включаемых на определенное время, примерно пропорциональное расходу топлива.

**Пуск топки.** Первый пуск этой топки состоялся в июне 1941 г., однако, в связи с выявлением многих дефектов монтажа котла и топки и необходимости выполнения ряда изменений ее конструкции, наладочные работы затянулись до 1943 г., когда топка и была сдана в промышленную эксплуатацию [6].

Основным затруднением в период наладки явилась невозможность поднять нагрузку котла свыше 25—30 т/ч, вследствие забивания щелей зажимающей решетки слоем смоляного кокса и дымления в верхней части топки при попытках ее форсировки.

Как указывалось ранее, с целью предупреждения застревания щепы, являвшегося основным затруднением в опытах на станде, толщина слоя в шахтах была принята в 760—920 мм.

При этом зависание отсутствовало совершенно. Но слой щепы (на данной ТЭЦ очень мелкой) оказался чрезвычайно плотным. Кислород дутья полностью расходовался на очень небольшом расстоянии от дутьевой решетки. Остальные участки слоя были лишены кислорода, и в них развивались газификационные процессы. Выделявшаяся смола конденсировалась на сырой щепе, расположенной около зажимающей решетки. Этот слой забивался также топливной мелочью и постепенно подвергался коксованию. Типичная картина изменения состава газа и давления дутья по толщине слоя представлена на рис. 18.

Анализы, взятые на трех уровнях по высоте слоя, показывают исчезновение кислорода на расстоянии всего 100 мм от дутьевой решетки. Давление дутья в слое оказывается почти постоянным, вплоть до зажимающей решетки, на которой и происходит падение всего напора дутья.

Корка кокса по толщине доходила до 200—300 мм и иногда даже превращалась в глыбы размером до 500—600 мм. Такая корка, почти полностью покрывая зеркало горения топки, препятствовала выходу газов из слоя в топочную камеру. Последние устремлялись вверх и, не успевая отсасываться эжекторами, выходили через топливный рукав в котельную.

Схема работы слоя в этот период представлена на рис. 19.

В остальном работа топки не вызывала затруднений, за исключением периодического зависания щепы в топливных рукавах, имевших ширину 800 мм.

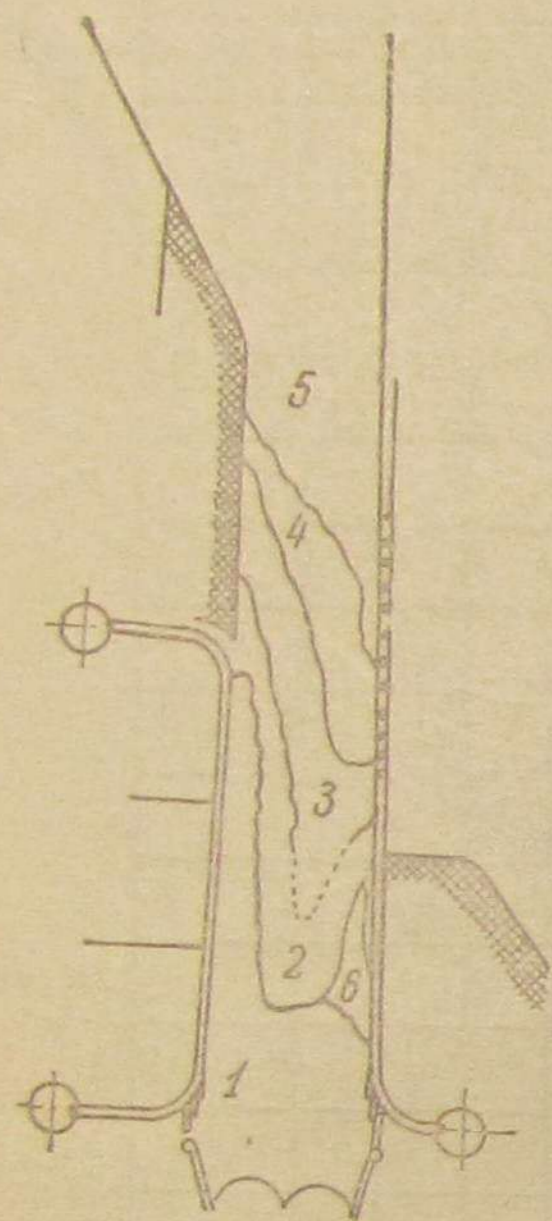


Рис. 19. Схема расположения огневых зон в слое топлива:

1 — слой золы; 2 — активная зона; 3 — зона термического разложения; 4 — зона образования смоляного кокса; 5 — сырая щепка; 6 — зольный кокс.

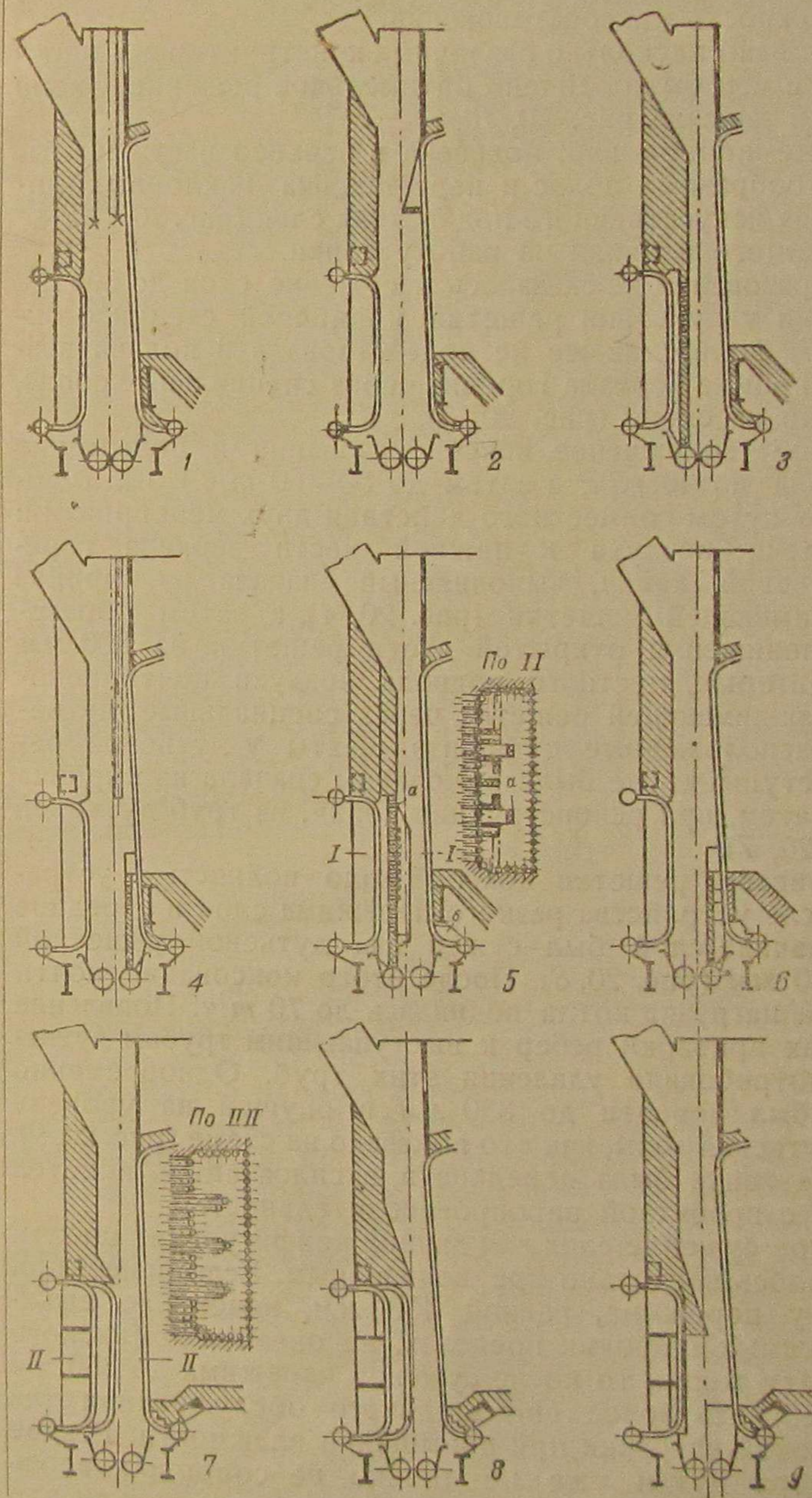


Рис. 20. Схема переделок топки:

1 — подвеска железных крестов в шахтах топки; 2 — передвижка жароупорных листов; 3 — установка фронтальной кирпичной дутьевой стенки; сужение шахты до 450 мм; 4 — устройство задней дутьевой стенки и местного подвода воздуха сверху „зеркала горения“; 5 — устройство кирпичных дутьевых выступов: (а) — подвод воздуха к низу „зеркала горения“; (б) — установка задних дутьевых стенок в обеих шахтах; 7 — реконструкция топки с применением трех дутьевых выступов и изменением пода топки; 8 — устройство наклонного свода — пережима посредине шахты; 9 — усиление пережима и его понижение.

Поэтому наладочные работы свелись к отысканию способа создания рыхлого слоя топлива в шахтах с тем, чтобы кислород дутья, достигая зажимающей решетки и выжигая смолу, исключал возможность коксообразования.

Было опробовано несколько различных конструктивных мероприятий, прежде чем было найдено оптимальное решение. Схема переделок топки дана на рис. 20, 1—9.

Примитивные приемы как: подвеска в верхней части шахты железных крестообразных полос и перестановка наклонных листов для создания искусственного подвисяния слоя (рис. 20, 1, 2) — не оказали заметного влияния на работу топки.

На коксообразовании не сказалось и сужение слоя до 600 мм путем постановки у дутьевой решетки кирпичной стенки с окнами (рис. 20, 3). Точно так же не подействовала и подача воздуха к верхней кромке зеркала горения через специальные сопла, как это показано на схеме (рис. 20, 5).

Значительное сокращение коксообразования и повышение нагрузки (сначала до 40 т/ч, а затем до 50—60 т/ч.) было достигнуто только путем совместного действия двух мероприятий: во-первых, подачи воздуха к нижней части зеркала горения через дутьевой канал, выполненный сначала из кирпича в шахте у зажимающей решетки (рис. 20, 4), а затем образованный путем понижения открытой части решетки на 800 мм (рис. 20, 7); во-вторых, местного подвода воздуха почти непосредственно к зажимающей решетке через специальные дутьевые выступы, расположенные с фронта шахты у дутьевой решетки. Эти выступы также были выполнены сначала из кирпича (рис. 20, 5), а затем, при реконструкции топки, из труб дутьевой решетки (рис. 20, 7).

Однако забивание решетки коксом было полностью устранено только после устройства резкого пережима слоя в середине его высоты. Вначале слой был сужен над дутьевой решеткой до толщины 450 мм (рис. 20, 8). После этого коксование почти прекратилось, и нагрузка котла поднялась до 70 т/ч. Появление свищей в местах приварки ребер к выступающим трубам дутьевой решетки потребовало удаления этих труб. Одновременно пережим слоя был доведен до 350 мм и опущен на уровень верха второй дутьевой зоны, как это показано на схеме (рис. 20, 9). В этом варианте топка была передана в эксплуатацию, и котел начал работать с проектной паропроизводительностью.

Однако такое сужение слоя для данной конфигурации шахты, очевидно, оказалось несколько преувеличенным. Если ранее, при толщине слоя у пережима, равной 450 мм, изменение влажности, даже в самых широких пределах, не оказывало никакого влияния на работу топки, то после сужения пережима до 350 мм топка стала требовать более внимательного обслуживания для сохранения высокой нагрузки при повышении влажности. Резкое увеличение напора дутья уже не только не сопровождалось таким же резким повышением паропроизводительности, как это имело место ранее, но иногда даже вызывало сброс нагрузки.

Наоборот, при постепенном увеличении расхода дутья удавалось довольно быстро выровнять давление пара в котле, если в момент очень резкого повышения нагрузки оно несколько садило.

Это обстоятельство указывает на то, что при узком пережиме количество газов, идущих в швель-шахту, оказывается недостаточным для подготовки топлива в шахтах, которая могла бы обеспечить надежное воспламенение слоя даже при резком изменении нагрузки котла.

Одновременно была изменена конструкция топочной камеры для обеспечения надежного дожигания кусков топлива и мелочи, проскакивающих через зажимающую решетку. На поду топки были установлены два ряда сопел вторичного воздуха для вздымания топлива, выпадающего в топочной камере. Общий вид окончательного варианта топки представлен на рис. 21.

При освоении работы топки на высоких нагрузках была обнаружена новая, весьма существенная особенность.

При работе котла с паропроизводительностью до 30—40 т/ч шлакоудаление осуществлялось путем периодического пуска валков, раз в смену, на срок, пропорциональный выработке пара по счетчику.

При повышении паропроизводительности свыше 50—60 т/ч было обнаружено, что в шахтах топки практически не остается золы и что при пуске вальцов они начинают срабатывать разожженное топливо. Поэтому, начиная с эксплуатации котла с первым пережимом (июнь 1943 г.), валки были выключены из работы. На них был насыпан небольшой слой шлака, на котором постепенно накапливалась та ничтожная доля золы топлива, которая все же остается в шахтах (не свыше 1—2% от общей зольности древесины). Опыт эксплуатации показал, что зола в шахтах накапливается очень медленно. Период между чистками шахт достигал 3400 час.

Таким образом, единственный топочный механизм оказался не нужным и был ликвидирован. Это значительно упростило конструкцию топки и еще больше повысило надежность ее работы.

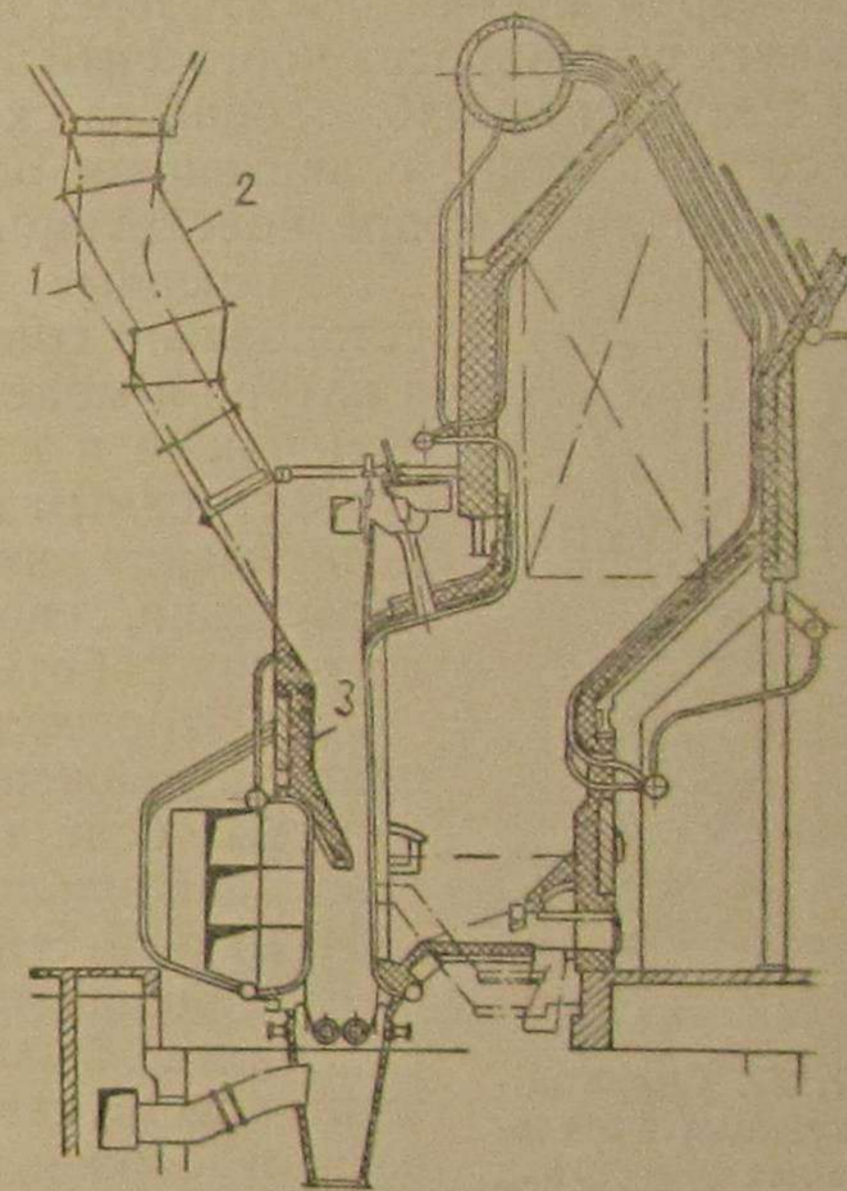


Рис. 21. Общий вид топки в окончательном варианте:

1 — начальная конструкция топливных рукавов; 2 — окончательная конструкция; 3 — пережим шахты.

**Подача топлива.** Были изменены также топливные рукава, переделанные на коленчатую схему по системе инж. Бабичева.

Форма топливных рукавов была подобрана в специальных опытах на моделях. Были сделаны две модели существующих рукавов (вместе с шахтой топки) в масштабах  $1/20$  и  $1/5$  натуральной величины. Через модель масштаба  $1/20$  натуральной величины пропусклась мелкая щепа, отсеянная через сито с размером ячейки 3 мм. Через большую модель пропускали и мелкую щепу-просев через сито 7 мм и обычную щепу ТЭЦ.

Результаты наблюдений за сходом щепы в моделях, а также их сопоставление с движением щепы в натуре, оказались крайне важными для выбора конструкции рукавов.

Во-первых, совершенно достоверно было установлено совпадение мест застревания щепы в натуре и моделях обоих масштабов. Повторилась также и картина опускания слоя.

Тем самым подтвердилась возможность моделирования движения щепы по рукавам и, следовательно, возможность предварительного изучения работы топливного тракта на модели.

Во-вторых, выявилась практическая независимость движения щепы от ее относительного размера, если только ширина рукавов превышает наибольшие размеры крупных частиц в 6—10 раз. Это обстоятельство весьма упрощает моделирование.

Далее было установлено, что движение щепы по рукавам происходит весьма своеобразным сложным образом. По мере расходования щепы в шахте (в натуре — выгорания, а на модели за счет ее равномерного выгребания) не происходит равномерного опускания всего слоя сплошным потоком. Обязательно

где-либо по высоте топливных рукавов образуется подвижной топливный свод. С внутренней поверхности этого свода щепа осыпается отдельными частицами аналогично тому, как происходит осыпание песка в песочных часах. Количество осыпающейся щепы, как правило, бывает меньше общего расхода топлива. Поэтому вскоре под сводом образуется либо область с чрезвычайно неплотным заполнением, либо даже пустота. Если после этого свод обрушится, то пространство под ним заполнится щепой, довольно сильно уплотненной в момент обрушения свода. А где-то уже в другом месте рукава вновь образуется свод, и картина повторяется.

При неблагоприятных условиях иногда свод оказывается настолько прочным, что не может самопроизвольно разрушиться, и происходит подвешивание щепы. Часто свод образуется не по всему сечению рукава, а в какой-либо его части: в большинстве случаев в одном из углов, особенно на перегибе рукава. При этом динамические своды для разных участков сечения образуются и на раз-

личных уровнях по высоте рукава. Получается система перемежающихся сводов (рис. 22). Вследствие этого щепа перемещается неравномерно: то двигаясь толчком в одной части рукава при почти неподвижном слое в другой его части, то вдруг осыпаясь по всему сечению, то вновь задерживаясь на одной из кромок и т. д.

При наблюдении за движением щепы создается впечатление, что она пересыпается даже поперек рукава, но хотя это яв-

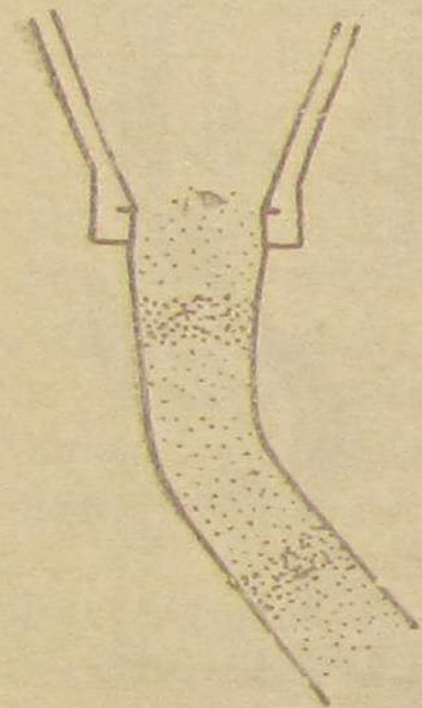


Рис. 22. Схема образующихся в топливных рукавах перемежающихся динамических сводов щепы.

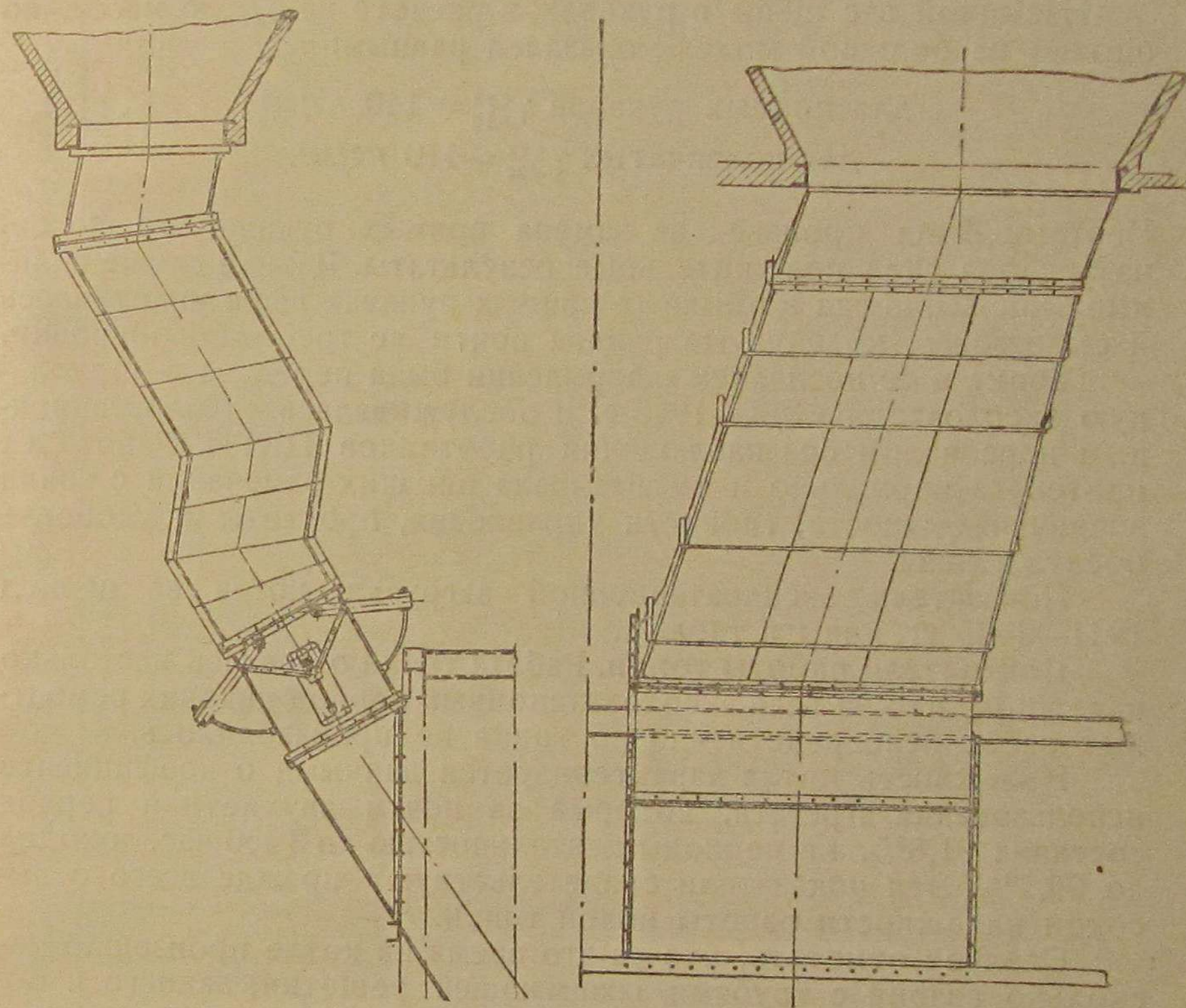


Рис. 23. Коленчатые рукава.

ление частично и имеет место, оно не является главным. В соответствии с изложенными соображениями следует проектировать топливные рукава.

Так как образование прочного, не разрушающегося самостоятельно свода наступает тем чаще, чем выше столб топлива, то крайне желательно применять систему коленчатых рукавов, у которых по высоте устроено несколько перегибов, разгружающих нижележащие слои от давления слоев, расположенных выше.

Однако никаких расчетных материалов для определения нужных соотношений в размерах рукавов еще нет. Их пока приходится устанавливать на глаз, по общему конструктивному впечатлению.



Топливные рукава для Соликамской ТЭЦ представлены на рис. 23. Форма этих рукавов также была проверена на моделях и также в двух масштабах в  $1/20$  и  $1/5$  натуральной величины. Оказалось, что число полных подвисаний щепы в этих рукавах примерно в 3—4 раза меньше, чем в прямых рукавах прежней конфигурации. Более того, было установлено, что движение щепы в них заметно более равномерно, а щепка лежит значительно более свободно.

Насыпной вес щепы в рукавах, в расчете на сухую массу, по опытам на большой модели оказался равным:

$$\text{для прямых рукавов } \gamma_{\text{нас}}^{\text{сух}} = 140 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{для коленчатых } \gamma_{\text{нас}}^{\text{сух}} = 110 \text{ кг/м}^3.$$

Поэтому была произведена замена прямых рукавов на коленчатые; она дала положительные результаты. Даже в самые сильные морозы, когда в обычных прямых рукавах щепка уплотнялась и смерзалась, коленчатые рукава почти не требовали шуровки.

Топка в ее последнем оформлении была передана в нормальную эксплуатацию 3/X—1943 г. и обслуживалась эксплуатационным персоналом без наблюдения работников ЦКТИ. Работа ее протекала нормально и не вызывала никаких замечаний с точки зрения надежности, гибкости управления, простоты и удобства обслуживания.

Показатели эксплуатационной загрузки котла за период 1941—1945 гг. даны в табл. 3.

**Показатели работы топки.** Работа топки оказалась настолько надежной, что за весь эксплуатационный период никаких ремонтных работ непосредственно по топке не производилось.

Надежность котла характеризуется данными о коэффициенте использования агрегата, который за почти двухлетний период составил  $91,8\%$ , а в периоды длительностью до 3 400 час. доходил до  $99,2\%$ . Эти показатели свидетельствуют прежде всего о высокой надежности работы новой топки.

Следует отметить, что за это время на котле произошло несколько аварий с трубами зажимающей решетки, заднего и боковых экранов, сопровождавшихся образованием отдулин, трещин и разрывами на значительной длине. Детальное обследование аварий и ознакомление с работой водосмотров на ТЭЦ показало, что причина аварий с трубами зажимающей решетки не имеет ничего общего с работой топки. Основная причина заключается в упусках воды водосмотрами при неисправных водомерных стеклах.

Обнаруженные дефекты материала труб и наличие длительных периодов работы топки на малой нагрузке являются второстепенными причинами.

Таким образом, высокая надежность работы топки является неоспоримой.

Характерно, что несмотря на систематический недостаток щепы на комбинате и работу ТЭЦ при крайне резко меняющейся

Таблица 3

Эксплуатационные показатели загрузки котла № 3 ТЭЦ Соликамского комбината

Наименование величин	Размерность	Период наладочных работ						Эксплуатация топки						Всего за эксплуатационный период	Всего
		29 VI-1941 г. 1 VI-1942 г.	1 VI-1942 г. 8 VII-1942 г.	8 VII-1942 г. 9 VII-1942 г.	5 IX-1942 г. пуск после реконструкции 28 II-1943 г. 30 III-1943 г.	пуск после пуска режима 21 V 3 VII-1943 г.	Экспл. при наблюд. ЦКТИ и испит. 3/X—11 XI-1943 г.	24 XI-1943 г. 12 IV-1944 г.	14 VI-1944 г. 14 VI-1944 г.	27 VI-1944 г. 15 VIII-1944 г.	15 VIII-1944 г. 6 VIII-1945 г.	15 VIII-1944 г. 6 VIII-1945 г.	15 VIII-1944 г. 6 VIII-1945 г.		
Время работы котла . . . . .	ч	4 729	606	1 494	816	500	943	3 397	1 464	1 152	7 858	14 814	22 858		
Выработано пара . . . . .	т	50 589	19 185	31 929	22 259	22 369	36 274	79 557	39 103	49 411	293 200	497 545	643 676		
Средняя нагрузка . . . . .	т/ч	—	31,5	21,4	27,4	44,7	39,8	23,4	26,7	42,8	37,4	33,6	—		
Средняя нагрузка за максимумом нагруженными сутки . . . . .	т/ч	—	41,5	46,1	35,0	58,0	49,1	51,6	50,8	53,2	58,8	58,8	58,8		
Максимальная нагрузка . . . . .	т/ч	—	53	60	40	70	60	60	—	65	74	74	74		
Длительность периодов максимальной нагрузки . . . . .	ч	—	4,5	2,0	9,0	3,0	2,0	5,0	—	7,0	4,5	4,5	4,5		
Средняя влажность топлива . . . . .	%	—	—	—	—	50,0	48,2	44,0	47,7	50,1	49,3	47,4	—		
Коэффициент загрузки котлоагрегата от номинала 60 т/ч . . . . .	%	—	53,2	35,6	45,4	74,3	66,3	38,9	44,4	71,3	62,3	55,8	47,3		
Коэффициент использования котлоагрегата по времени . . . . .	%	—	—	—	—	—	75,6	99,2	83,0	96,2	92,2	91,8	65,0		

нагрузке, коэффициент загрузки агрегата составил 55,8% при коэффициенте загрузки всей станции 48%. Это свидетельствует об имевшей место на ТЭЦ практике всемерно загружать котел № 3 со скоростной топкой как высоконадежный и экономичный, оставляя другие котлы на малых нагрузках.

Следует также отметить, что несмотря на крайне растянувшуюся наладку и наличие нескольких крупных переделок, коэффициент использования котла № 3 за все время работы топки с 1941 г. по 1945 г. составил 65% — значение как раз равное коэффициенту использования котлов № 1 и 2, оборудованных, казалось бы, хорошо освоенными топками с цепными решетками.

Общая длительность работы топки более 22 000 час. при выработке свыше 600 000 т пара позволила сделать вполне обоснованные и объективные выводы об эксплуатационных характеристиках новой топки.

Результаты шести балансовых испытаний котла приведены в табл. 4. Все испытания были проведены по обратному балансу. Потеря тепла с химическим недожогом определена по средним данным многочисленных анализов на „Орса“, проверенным контрольными полными анализами с дожиганием.

Потеря тепла с механическим недожогом определялась по отбору проб уноса за воздухоподогревателем.

Потеря тепла на охлаждение агрегата принята по нормам теплового расчета котельного агрегата [12].

Организовать испытания при больших нагрузках, чем 54,9 т/ч, не удалось, так как общая нагрузка ТЭЦ комбината не превышала 80—90 т/ч, при очень большой неравномерности потребления, со скачками до 30—40 т/ч. С большим трудом, за счет очень резкого изменения нагрузки другого котла ТЭЦ и даже за счет подключений и выключений потребителей, удалось провести испытания на максимальной нагрузке ( $D = 54,9$  т/ч).

Как видно из табл. 4, экономические показатели работы топки являются весьма высокими. Коэффициент полезного действия агрегата в интервале нагрузок от 52 до 92% нормальной, оказался не ниже  $\eta_{к.у} = 84\%$ , несмотря на то, что влажность топлива в этом опыте была равна 56,5%. При влажности щепы 40—50% к. п. д. агрегата составлял  $\eta_{к.у} = 86—88,4\%$ .

Столь высокие значения к. п. д. являются следствием работы топки с низкими коэффициентами избытка воздуха  $\alpha_T = 1,1—1,32$  при полном отсутствии химического недожога и при механическом недожоге, не превышающем 2%<sup>1</sup>.

Эти данные в дальнейшем получили подтверждение при испытаниях второй аналогичной топки на ТЭЦ Сегежского

<sup>1</sup> В опыте № 3  $q_3 = 3,18\%$ ;  $q_4 = 6,63\%$ . Этот опыт был поставлен с целью выявить регулируемость процесса горения в топке. Для этого изменялось количество вторичного воздуха и отыскивалась возможность достижения максимального значения  $CO_2$ .

В течение опыта легко удалось выдержать  $CO_2 = 18\%$ , но недостаток воздуха в топке ( $\alpha_T = 0,89$ ) немедленно сказался на росте  $q_3$  и  $q_4$ .

комбината под котлом того же типа. Результаты этих испытаний, также представленные в табл. 4, характеризуют новую топку как высокоэкономичное устройство.

**Характеристики процесса горения.** Тепловые напряжения, представленные в табл. 4, подсчитаны по поверхности подачи дутья к слою, так как действительная активная площадь зеркала горения меняется в зависимости от влажности топлива и уровня золы, накопившейся в шахтах с начала кампании.

Сухая щепа загорается раньше, и горение распространяется на большую площадь. При влажной щепе фактическая величина зеркала горения несколько сокращается. Поэтому правильнее считать тепловые напряжения по поверхности подвода дутья к слою, хотя и эта поверхность в связи с постепенным накоплением золы в шахте может изменяться в довольно широких пределах. Опыт эксплуатации топки ТЭЦ Соликамского комбината показал, что эта площадь к концу кампании сократилась от начального значения в 7,8 м<sup>2</sup> до 1,2 м<sup>2</sup>, когда уровень золы поднимается настолько, что для прохода воздуха и горения щепы остается высота всего в 200 мм. Во время эксплуатации неоднократно подтверждалось, что даже такое значительное сокращение площади дутьевой решетки не лимитировало работу котла вплоть до нагрузок в 60 т/ч, которые котел свободно нес до самого конца кампании длительностью до 3400 час. В соответствии с переменной величиной фактической площади зеркала горения также сильно разнятся действительные тепловые напряжения. Они составляли в начале кампании  $6 \cdot 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч, а к концу доходили до огромных значений  $\sim 37 \cdot 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч. В сводке результатов приведены значения условных тепловых напряжений, отнесенные к площади подвода дутья высотой в 700 мм, характерной для основного времени работы котла. Удельные форсировки, отнесенные к одному метру ширины фронта, при максимальной нагрузке котла 75 т/ч равняются  $10,7 \cdot 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч.

Полученные данные показывают, что в топке действительно протекает скоростной процесс сгорания древесного топлива. Фактически получаемые тепловые напряжения действительной величины зеркала горения достигают колоссальных значений, примерно в десять раз превышающих фактические напряжения слоя на цепных решетках, даже при расчете только на активные зоны.

Фактические скорости движения газов в слое при таких нагрузках достигают 60—80 м/сек. Естественно, что при этих скоростях практически вся зола топлива выносится из слоя в топочную камеру.

Сохранение устойчивости слоя и отсутствие чрезмерного выноса топлива при таких скоростях обеспечиваются наличием зажимающей решетки, надежно удерживающей слой. Форма решетки из труб  $\varnothing 51/44$  мм при шаге 90 мм и при наличии поперечных штырей (длиной 22 мм,  $\varnothing 12$  мм, при шаге 60 мм) оказалась удачной (рис. 16).

Результаты балансовых испытаний котельных агрегатов со скоростными толками на ТЭЦ Соликамского и Сегежского комбинатов

Наименование величин	Размерность	Котел № 3 ТЭЦ Соликамского комбината						Котел № 2 ТЭЦ Сегежского комбината			
		№ опытов						№ опытов			
		4	1	3	5	2	6	3	2	1	4
Длительность испытания . . . . .	ч	8,00	6,33	7,5	8,5	6,6	8,0	8,6	7,8	7,8	8,1
Топливо . . . . .		Древесная щепа со средними размерами 50 × 24 × 8									
Влажность топлива . . . . .	%	49,0	54,5	43,8	39,7	56,5	39,8	45,5	47,0	46,9	49,0
Зольность . . . . .	%	0,22	0,19	0,25	0,26	0,19	0,17	0,2	0,2	0,2	0,2
Теплотворная способность . . . . .	кал/кг	2016	1710	2296	2502	1635	2601	2179	2105	2105	1998
Часовой расход топлива . . . . .	т/ч	11,5	17,7	14,98	13,65	25,8	17,6	14,5	17,7	18,1	22,4
Видимое тепловое напряжение топочного объема ( $V_T = 200 \text{ м}^3$ ) . . . . .	$10^{-3} \frac{\text{кал}}{\text{м}^3 \text{ч}}$	115	151	172	171	211	220	151	178	182	214
Условное тепловое напряжение площади подачи воздуха к слюю при высоте зоны 700 мм и площади 4,2 м <sup>2</sup> . . . . .	$10^{-6} \frac{\text{кал}}{\text{м}^2 \text{ч}}$	5,55	7,2	8,2	10,2	11,1	11,6	7,5	8,8	9,0	10,6
Паропроизводительность котла . . . . .	т/ч	30,0	38,6	40,9	43,8	53,2	54,9	40,6	47,1	48,0	56,5
Давление перегретого пара . . . . .	атм	31,1	30,4	31,2	31,4	29,0	28,7	28,7	29,2	29,2	28,2

Т-ра перегретого пара . . . . .	°С	388	392	383	402	387	421	400	402	398	402,1
Содержание CO <sub>2</sub> за воздухоподогревателем . . . . .	%	13,2	15,6	17,45	15,6	12,2	14,4	13,4	14,0	14,0	16,1 <sup>2</sup>
Содержание CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> за воздухоподогревателем . . . . .	%	20,4	20,2	19,55	20,4	20,5	20,3	20,6	20,2	20,1	20,1
Коэффициент избытка воздуха в топке . . . . .	—	1,32	1,13	0,89	1,10	1,44	1,19	1,37	1,26	1,25	1,07
Т-ра подогрева воздуха . . . . .	°С	185	—	204	208	235	227	224	225	243	234
Т-ра уходящих газов за воздухоподогревателем . . . . .	°С	132	154	154	166	183	184	165	174	167	172
Время пребывания топлива в швель-шахте . . . . .	мин.	21	16	15	18	11	13	22	19	18	14
Сопроизведение слоя топлива . . . . .	мм водяного столба	64	—	75	77	100	111	57	60	—	95
Б а л а н с											
К. п. д. котлоагрегата, тепло пара и продувочной воды . . . . .	%	88,37	85,10	81,14 <sup>1</sup>	88,40	84,00	86,05	85,73	85,36	86,93	85,15
Потеря тепла с уходящими газами . . . . .	%	8,90	11,90	7,80	9,14	14,10	11,05	9,20	9,90	9,50	9,55
Потеря тепла с химическим недожогом . . . . .	%	0,00	0,00	3,18 <sup>1</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Потеря тепла с механическим недожогом . . . . .	%	0,75	1,00	6,63 <sup>1</sup>	0,96	0,90	1,90	2,49	3,57	3,6	4,3
Потеря тепла на внешнее охлаждение . . . . .	%	1,98	2,00	1,25	1,50	1,00	1,00	1,17	1,19	1,38	1,0

<sup>1</sup> Опыт № 3 при недостатке воздуха в топке ( $\alpha_T = 0,89$ ).

<sup>2</sup> Газ за водяным экономайзером.

Таким образом, основной принцип топки скоростного горения — высокая форсировка слоя, — благодаря применению зажимающей решетки, для древесного топлива получил блестящее подтверждение в условиях длительной непрерывной эксплуатации. Второй основной принцип топки — возможность форсированной работы на высоковлажном топливе также получил достаточно убедительное подтверждение.

Сама по себе возможность форсированного сжигания щепы влажностью до 54—57% при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha=1,13—1,44$  является наиболее ярким доказательством преимуществ скоростной топки.

В первоначальной конструкции топки при закоксовывании зажимающей решетки швель-шахта работала при заметном термическом разложении древесины. Содержание СО в газе, выходящем в верхней части шахты, доходило до 7—8%. При переделках, по мере разрыхления слоя активной зоны и устранения коксования, количество газов, идущих вверх, сокращалось. Из их состава практически исчезли горючие составляющие. В последнем варианте пережима уже начал ощущаться недостаток в количестве газов, идущих на подготовку. Степень подготовки топлива в шахте резко сократилась. Но роль шахты осталась попрежнему очень важной.

Подсушка и неограниченное воспламенение топлива обеспечиваются только наличием шахты, хотя и переносятся на ее самую нижнюю часть. Однако нельзя ожидать значительного сокращения высоты шахты, которая выполняет роль топливного затвора.

Схема зонного развития процесса с его пространственным разделением на стадии подсушки, возгонки летучих и горения кокса, характерная для работы топки на малых нагрузках (рис. 19), при форсировке резко меняется. Действительно, при сокращении подготовки в шахте и снижении высоты участка активного горения до 0,5 ÷ 0,2 м объем зоны активного горения оказывается равным

$$V_{\text{акт}} = 1,5 \div 0,6 \text{ м}^3.$$

Время пребывания топлива в активной зоне при нагрузке котла в 60 т/ч составляет:

$$\tau_{\text{акт}} = \frac{3600 V_{\text{акт}} \gamma_{\text{топл}}}{B} = 60 \div 24 \text{ сек.},$$

где  $B$  — часовой расход;

$\gamma_{\text{топл}}$  — насыпной вес щепы.

При таком малом времени пребывания существенное проникновение зон подсушки и возгонки летучих в глубь куска топлива в активном участке слоя оказывается невозможным. Следовательно, куски топлива сгорают в активной зоне, будучи

подсушенными только в поверхностном слое очень малой толщины. В связи с этим схема процесса в шахтах топки с пережимом при высокой его форсировке приобретает вид, представленный на рис. 24, без пространственного деления на зоны. Все стадии горения отдельных кусков топлива протекают практически одновременно.

Как уже указывалось ранее, долгое время послойный анализ газа в шахтах показывал необеспеченность слоя кислородом. В последнем варианте топки это удалось преодолеть. Установка наклонного свода, а также переход на коленчатые рукава создали ниже пережима в области огневой зоны рыхлый пористый слой щепы.

Сопротивление слоя в шахтах представлено на рис. 25. Кривые  $\Delta p = \varphi(L_{\alpha})$ , относящиеся к топке, проходят значительно ниже кривых стандовых опытов и тем более кривых опытов ВТИ [7]. Во всех стандовых опытах сопротивление слоя почти точно следовало квадратичному закону, в то время, как в топке получается почти линейная зависимость сопротивления от расхода воздуха.

Последнее обстоятельство объясняется тем, что благодаря пережиму, порозность слоя в активной зоне при форсировке топки начинает возрастать. Кроме того, при форсировке увеличивается угол откоса рассыпания слоя, что приводит к уменьшению средней толщины слоя при высоких его тепловых напряжениях. Совместное действие этих факторов обуславливает обнаруженную при работе топки практическую независимость сопротивления слоя от уровня зольной подушки. Максимальное сопротивление слоя за все время эксплуатации не превышало 120—150 мм водяного столба.

Такое умеренное сопротивление слоя является важным обстоятельством, так как неоднократно высказывались опасения о нерентабельности скоростных топок из-за необходимости работы на чрезвычайно высоком напоре дутья. Результаты промышленного освоения топки полностью разбивают эти опасения.

Оценка работы топки. Ниже приводится оценка работы топки, взятая из приемно-сдаточного акта, составленного ЦКТИ и Соликамским бумкомбинатом.

„Достаточно длительная работа топки в последнем конструктивном оформлении и материалы балансовых испытаний на разных режимах позволяют сделать следующие законченные выводы

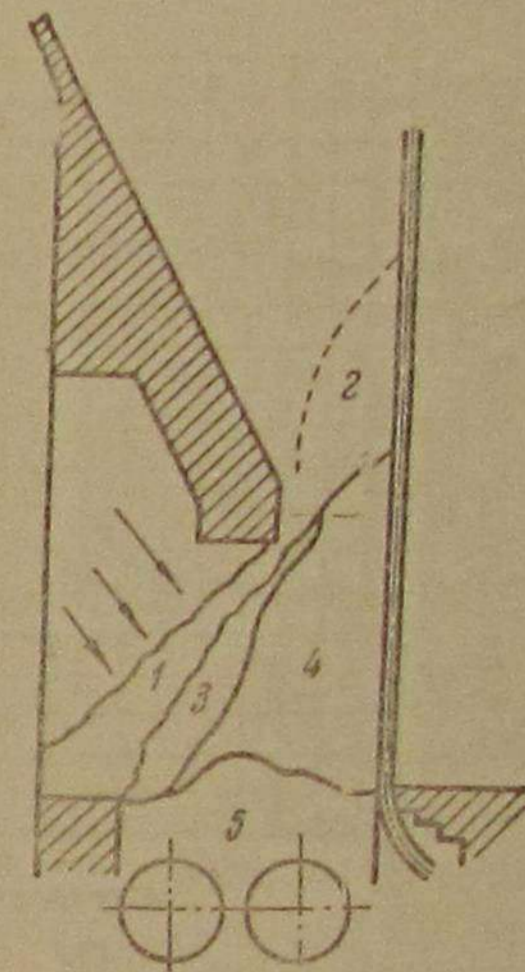


Рис. 24. Схема процесса в шахте топки с пережимом:  
1 — сырая щепа; 2 — сушка;  
3 — выход летучих; 4 — зона горения; 5 — шлак и зола.

о работоспособности топки и ее эксплуатационных характеристиках:

1. Скоростная топка ЦКТИ системы В. В. Померанцева для сжигания древесной щепы является промышленно-освоенным топочным устройством, продолжительное время находящимся в нормальной эксплуатации.

2. Топка отличается значительной простотой конструкции. Единственный ее механизм — шлакодробильные вальцы — оказались излишними.

Таким образом, топка совершенно не имеет механизмов, что определяет высокую надежность ее работы.

За период с 3/X—1943 г. по 6/VIII—1945 г. непосредственно по топке не производилось никаких ремонтных работ, кроме очистки и подправки обмуровки.

3. Управление топкой отличается большой простотой и сводится к регулированию количества воздуха, подводимого к слою в топочную камеру,

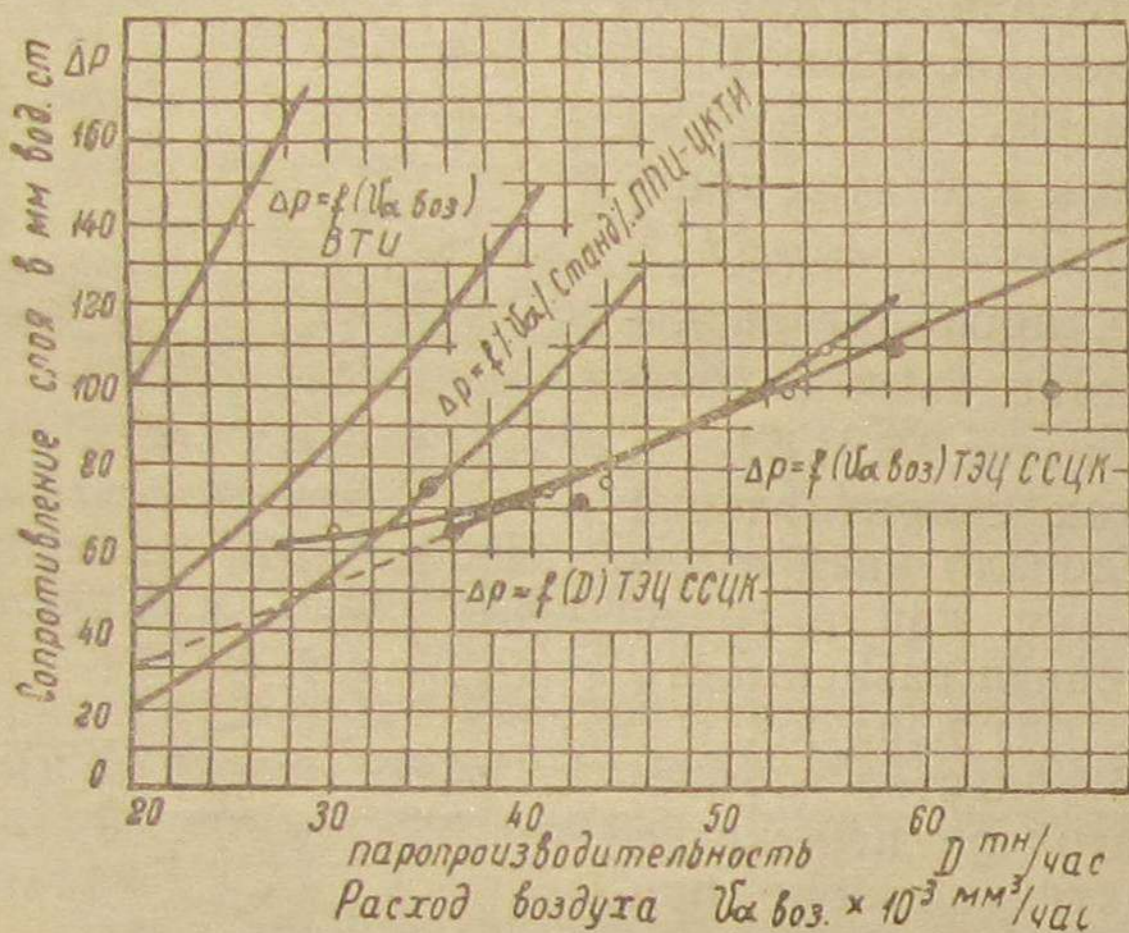


Рис. 25. Сопротивление слоя топлива в шахтах топки:  $\Delta p = f(D)$ ;  $\Delta p = f(L\alpha)$

путем воздействия только на двашибера (у вентилятора и дымососа).

4. Топка обладает хорошей гибкостью и позволяет принимать довольно резкие изменения нагрузки без больших колебаний давления в котле.

5. Результаты испытаний показывают высокую экономичность работы топки. Потери с механическим и химическим недожогами не превышают 2,0%. Общий к. п. д. установки выше 84%, а при малой влажности топлива доходит до 88%.

6. Коэффициент избытка воздуха в топке даже при заведомо несколько преуменьшенной толщине слоя в пережиге составляет  $\alpha_r = 1,1-1,25$ .

7. Практическое отсутствие содержания горючего в газах, выходящих из швель-шахт, при влажности топлива свыше 45%, позволяет вести работу топки по разомкнутому циклу сушки с отводом газов в газоходы за котельным агрегатом.

8. Работа топки на щепе средней зольности  $A_c = 0,4\%$  характеризуется выносом подавляющей массы золы из шахт. Доля золы, остающейся в шахтах, не превышает 2—3% от ее общего количества. Топка работает без непрерывного шлакоудаления с постепенным накоплением золы в шахтах и периодической чисткой их во время остановки котла на текущий ремонт. Длительность кампании на основании имеющегося опыта составила максимально 3400 час. без видимых признаков необходимости остановки котла.

9. Сопротивление слоя щепы в течение всего периода эксплуатации не превышало 120—150 мм.

Следует отметить, что топка ТЭЦ Соликамского комбината, как первая промышленная топка, постепенно доводившаяся до эксплуатационно надежного состояния, сохранила в себе ряд особенностей, затрудняющих получение оптимальных характеристик работы. Тем не менее, ее работа показала безусловную эффективность метода скоростного сжигания древесного топлива и желательность широкого внедрения этого метода [11].

В конце 1945 г., в связи с полным переводом ТЭЦ комбината на сжигание кизеловского угля, котел № 3 был переделан на пылевидное топочное устройство с шахтными мельницами.

Результаты освоения скоростной топки на Соликамском комбинате, после всестороннего обсуждения их позволили рекомендовать новое топочное устройство для установки во всех случаях сжигания древесной щепы и отходов взамен шахтных топок и топок с цепными решетками. В результате такой замены получается значительное сокращение металлозатрат и капитальных затрат на котельный агрегат при одновременном повышении его паропроизводительности.

### 5. Третья топка

Первой промышленной установкой, из числа намеченных к сооружению скоростных топок, по решению Министерства целлюлозной и бумажной промышленности, явилась топка под котлом № 2 ТЭЦ Сегежского комбината.

Котельный агрегат № 2 к моменту этого решения был уже запроектирован Барнаульским котельным заводом на паропроизводительность 55/68 т/ч с цепными решетками, а барабаны и хвостовые поверхности уже находились в изготовлении. Поэтому и в данном случае не удалось запроектировать котел так, как это было бы желательно для полного использования возможностей новой топки. Тем не менее, благодаря отказу от установки цепных решеток, была получена экономия около 100 т металла, а производительность котла была повышена до 70/85 т/ч, т. е. приблизительно на 27%.

Общий вид котла № 2 представлен на рис. 26, чертеж шахты топки — на рис. 27. Эта топка повторяет общие контуры предыдущей топки, отличаясь следующими особенностями.

В связи с существующим взаимным расположением котла и бункеров, коленчатые топливные рукава выполнены с относительно

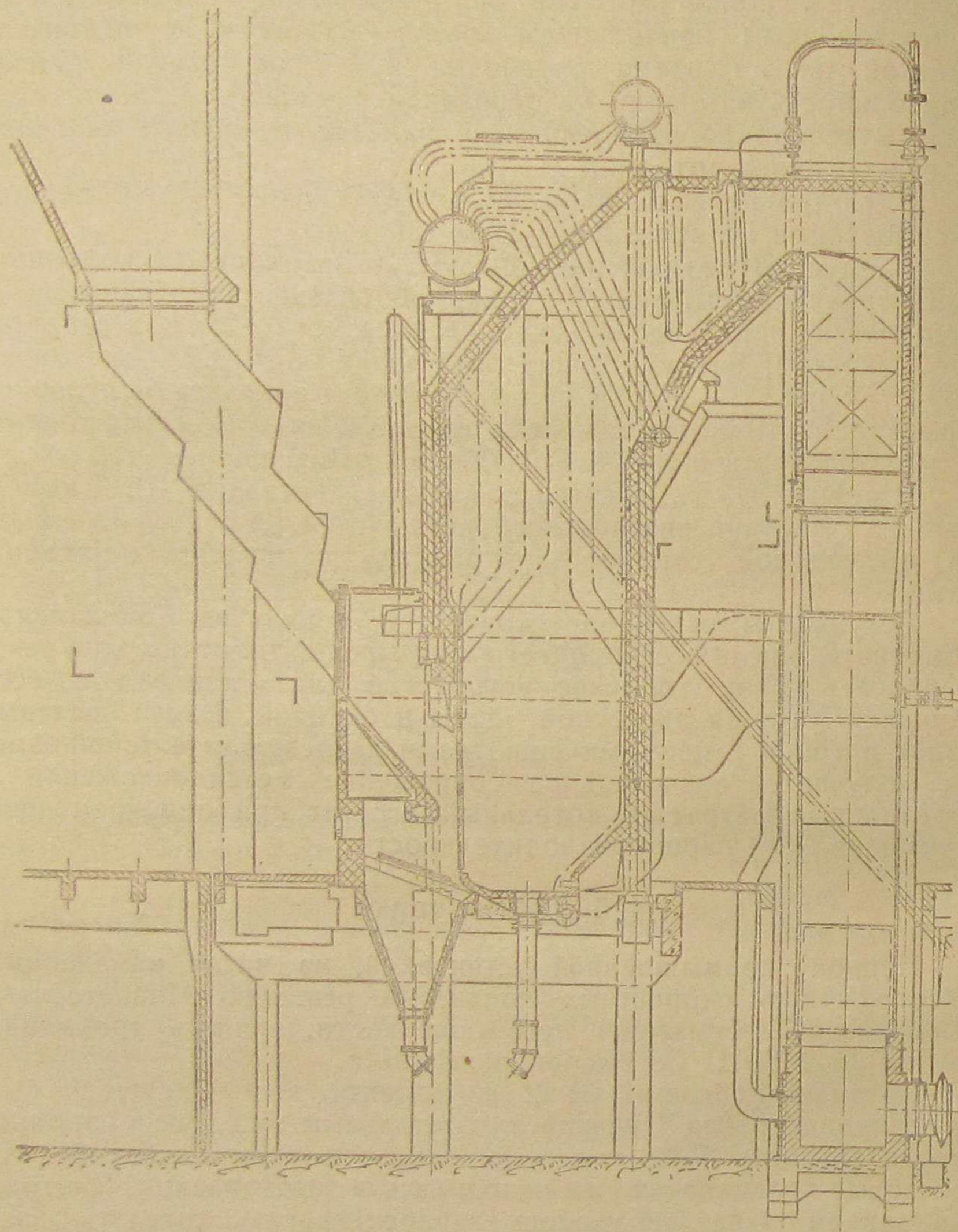


Рис. 26. Общий вид котлоагрегата № 2 ТЭЦ Сегежского комбината.

короткими обратными звеньями. У прямых звеньев не удалось получить угол наклона более, чем  $47-50^\circ$ .

Шахта выполнена как непосредственное продолжение нижнего звена рукава. Поэтому фронтальная стенка швель-шахты не

имеет вертикального участка. Щепа по выходе из рукава непосредственно попадает на наклонный свод пережима. Пережим, по проекту, должен был сужать слой до 400 мм (в монтаже этот размер оказался равным 500 мм).

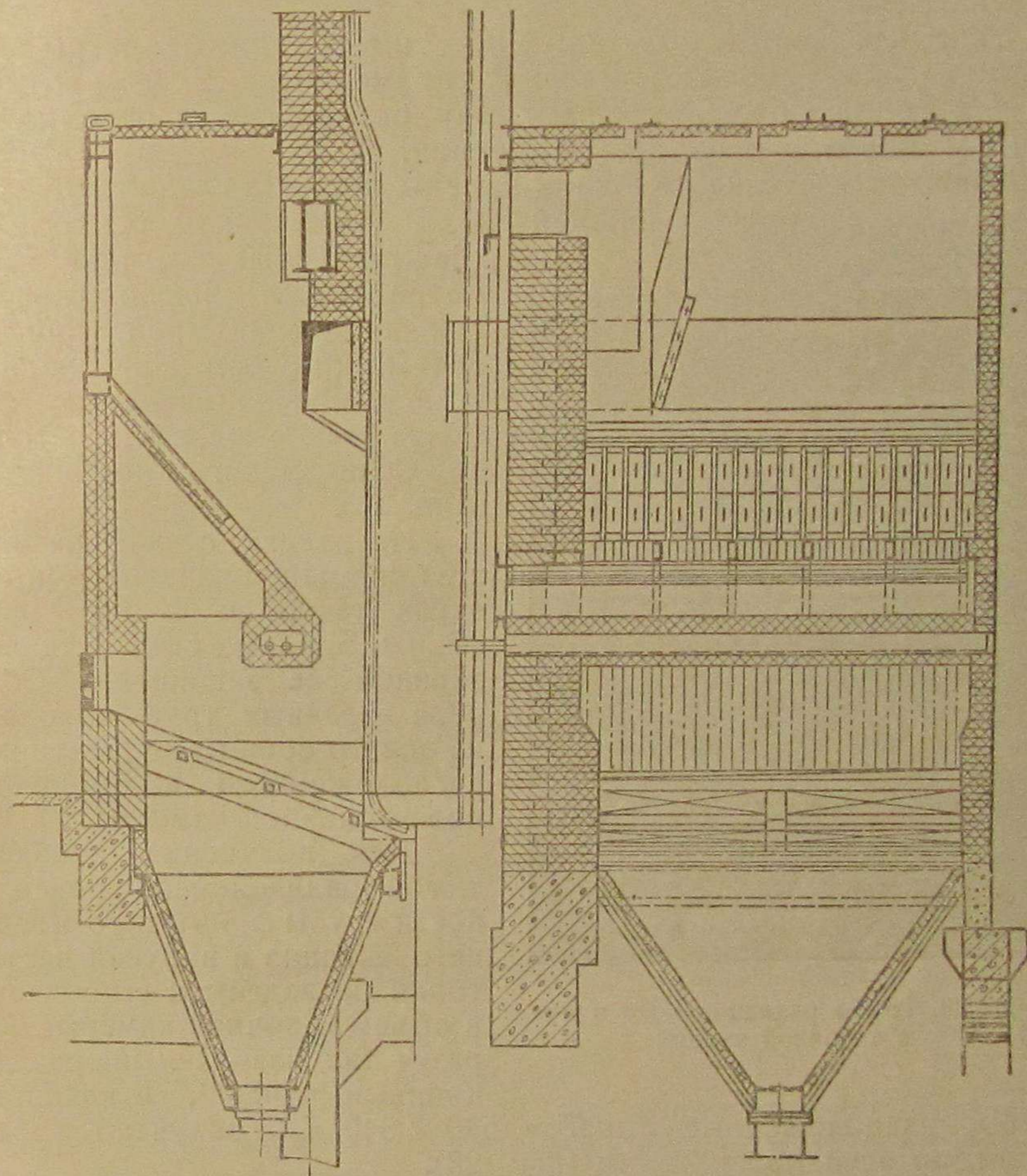


Рис. 27. Общий вид предтопка.

Топка не имеет шлакоудаляющих механизмов и дутьевых решеток. В основании шахты установлена неподвижная колосниковая решетка. Деления дутья на зоны нет. Дутьевой воздух подводится в общую камеру, расположенную под сводом пережима, и распределяется, поступая в рассыпающийся слой, главным образом, сверху, а частью снизу через колосниковое полотно.

Для подступа к слою при очистке решеток или при необходимости аварийного выгребания щепы на фронтальной стенке шахты имеются лазовые дверки, по две на каждую шахту.

Отсос газов вверху шахты производится по схеме разомкнутого цикла сушки, со сбросом газа в газоход за воздухоподогревателем.

Топочная камера объемом  $210 \text{ м}^3$  имеет прямые стены без изломов. Фронт топки придвинут примерно на  $2 \text{ м}$  к котлу, что значительно расширяет площадку обслуживания перед котлом, весьма тесную на данной станции.

Фронтальная стенка топочной камеры покрыта гладкотрубным экраном, являющимся в нижней части зажимающей решеткой.

Шаг труб— $90 \text{ мм}$ , при диаметре  $60 \text{ мм}$ . Расположение поперечных штырей, приваренных к трубам решетки для усиления зажимающего эффекта, такое же, как на топке Соликамского комбината (рис. 16).

На задней стенке размещен сплошной гладкотрубный экран также с шагом труб  $90 \text{ мм}$ . Боковые стенки топки экраном не защищены. Оба ряда экранных труб выходят из одного общего коллектора, расположенного в середине пода топочной камеры.

Для получения необходимой радиационной поверхности трубы фронтального и заднего экранов в верхней части топки разведены и выпущены в объем топочной камеры, образуя так называемый „радиационный пучок“<sup>1</sup>, в котором

трубы, расположенные с шагом  $540 \times 540 \text{ мм}$ , облучаются факелом по всей поверхности (рис. 28).

За счет этого мероприятия удалось получить экран, обладающий эффективной радиационной поверхностью  $192 \text{ м}^2$  и при наличии только одного коллектора.

Для дожигания частиц топлива, выпадающих за зажимающую решетку, топочная камера оборудована двойным подводом вторичного дутья. У пода установлен нижний короб, снабженный 18 соплами, размерами  $85 \times 110 \text{ мм}$ , направленными вперед к зажимающей решетке. Струи вторичного дутья вздымают всю топливную мелочь, которая может выпасть на под топочной камеры.

<sup>1</sup> Предложение В. В. Померанцева и М. И. Гарбузенко, 1940 г.



Рис. 28. Трубы радиационного пучка в топочной камере.

Второй подвод острого дутья осуществлен через верхние короба, установленные вверху шахты. Назначение этого воздуха—перерезать факел, поднимающийся вверх камеры, в основном вдоль зажимающей решетки.

Проект топки и котла был выполнен в 1945 г., совместно ЦКТИ и Барнаульским котельным заводом [8].

Пуск топки. После растопки котла 29/VI 1947 г., он сразу же принял промышленную нагрузку, выдавая пар нормальных параметров по давлению и температуре перегрева, при паропроизводительности до  $40 \text{ т/ч}$ .

В работе было обнаружено систематическое зависание щепы в месте примыкания топливных рукавов к топке.

При этом наблюдалось дымление и воспламенение щепы в верхней части шахты. Для ликвидации этого на специальной модели (рис. 29) было проверено движение щепы, а затем рукав был расширен от  $980 \text{ мм}$  до  $1600 \text{ мм}$  (рис. 30, 1).

После устранения выявленных неплотностей в воздухоподогревателе при попытках поднять нагрузку обнаружилось, что здесь, как и на соликамской топке, повторяется закоксовывание зажимающей решетки. Хотя толщина слоя у пережима равнялась всего  $500 \text{ мм}$ , кислород расходовался, не достигая решетки, и на трубах происходило отложение слоя кокса. Картина изменения состава газа и давления по толщине слоя дана на графиках рис. 31 и 32.

Отсос газов из шахты в камеру воздухоподогревателя оказался недостаточно эффективным, так как сопротивление котельного агрегата при пониженных нагрузках весьма мало и за воздухоподогревателем создается очень небольшое разрежение.

Для сокращения дымления вверх были сняты три ряда чугунных плит на зажимающей решетке (рис. 33, 2). За этот счет нагрузка котла поднялась до  $50\text{—}55 \text{ т/ч}$ . Однако коксование решетки продолжалось.

Попытка устроить дополнительный подвод воздуха к нижней части слоя через кирпичные каналы, выложенные на колосниковых решетках (рис. 30, 3), результата не дала.

При регулировании подачи нижнего вторичного воздуха было обнаружено, что если открыть полностью нижнее дутье и в это время прикрыть подачу воздуха в шахту, то можно частично

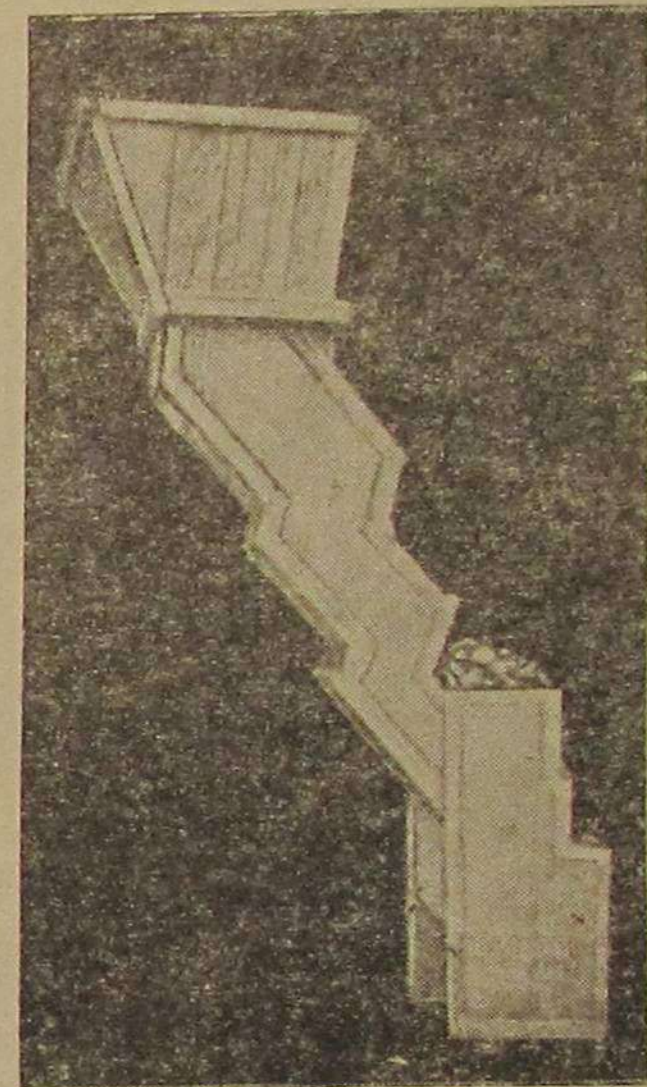


Рис. 29. Модель топливных рукавов.

выжечь слой кокса, закрывающий щели зажимающей решетки. Операция такого прожига продолжается около 2—3 минут. Нагрузка котла в это время переносится на другую шахту.

Для создания непрерывной обдувки зеркала горения со стороны слоя на правой шахте была устроена подача воздуха через кирпичный канал, выложенный на сгибе труб зажимающей решетки (рис. 30, 4). Однако это мероприятие существенного результата не дало.

Коксование было ликвидировано только после двухкратного сужения слоя до толщины 300 и 350 мм (рис. 30, 5) за счет установки у пережима трубы, охлаждаемой водой, и устройства дополнительного пере-

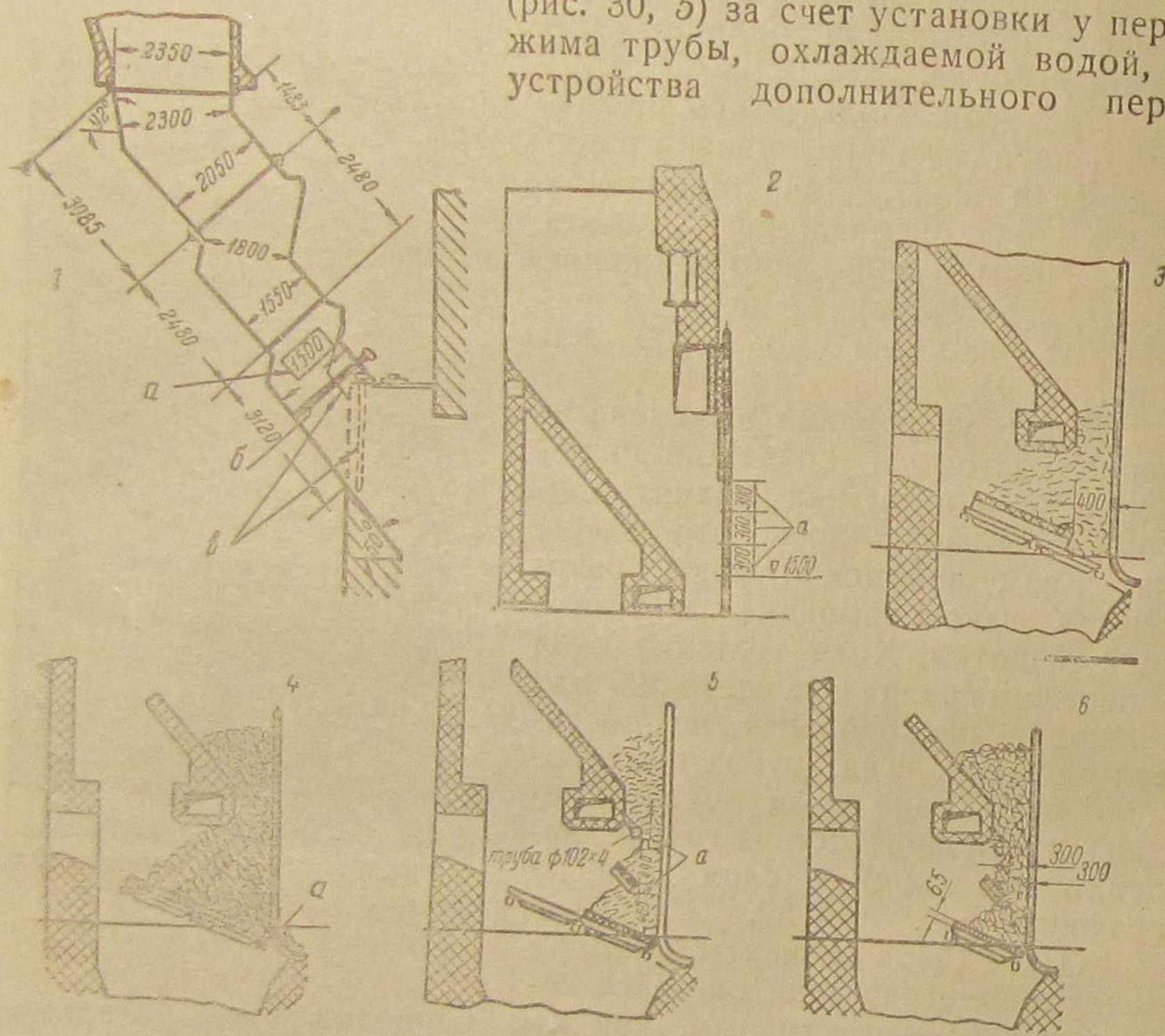


Рис. 30. Схема переделок топки:

1 — расширение топливных рукавов и переделка штыковых затворов (а — увеличенная ширина рукава; б — новое положение штыкового затвора; в — старое положение затвора и верхней кромки рукава); 2 — удаление трех рядов чугунных плит на зажимающей решетке (а — три ряда снятых плит); 3 — установка подовых воздушных фурм; 4 — устройство воздушного канала (а) у зажимающей решетки; 5 — устройство суженного пережима и установка второй балки; толщина слоя в пережиме — а (на левой шахте а=300 мм; на правой а=350 мм); б — изменение колосниковой решетки.

жима из швеллерной балки № 30 также с водяным охлаждением и закрытой кирпичом. Размеры сужения слоя были отысканы пробной постановкой труб у пережима.

После этого котел устойчиво нес нагрузку 60—70 т/ч, а при пиках до 80 т/ч без особых осложнений.

Если учесть, что котел работает на питательной воде при температуре 100° С, вместо 130° С по проекту, то этой производительности отвечает номинальный паросъем 83 т/ч.

При эксплуатации котла пришлось изменить конструкцию колосниковых решеток, установив их на охлаждаемых балках и покрыв сверху слоем кирпичного боя, так как опорные балки перегревались от провала и горения угольков под балками (рис. 33, 6).

После ликвидации всех указанных дефектов, котел 14/Х—1947 г. был передан в эксплуатацию.

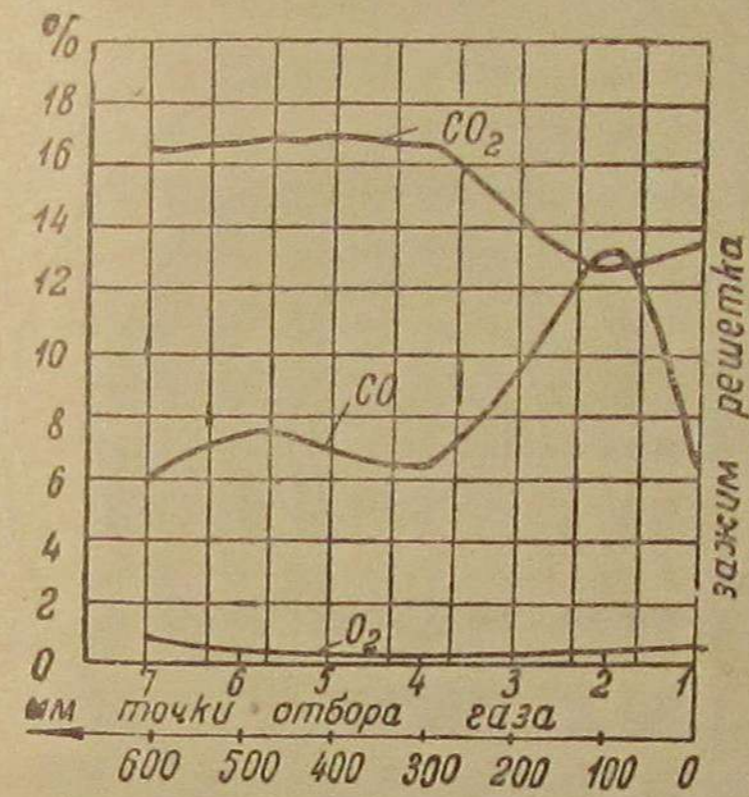


Рис. 31. Изменение состава газов по толщине слоя на уровне 200 мм под пережимом;  $D = 47$  т/ч.

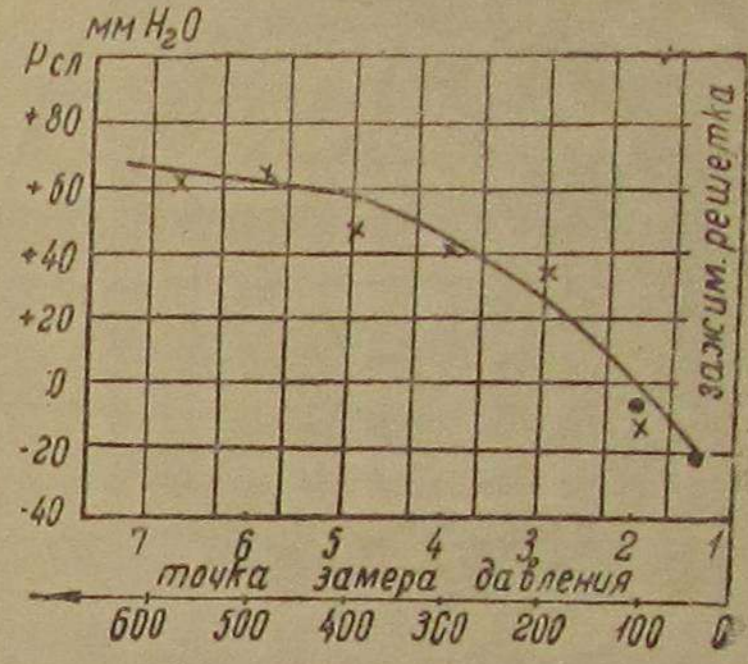


Рис. 32. Изменение давления дутья по слою на уровне 200 мм под пережимом;  $D = 47$  т/ч; расстояние от зажимающей решетки.

Показатели работы топки. За время с 29/VI—1947 г. по 1/XI—1948 г. (16 месяцев) котел № 2 проработал около 10 000 час. выработав более 270 000 т пара.

Коэффициент использования агрегата (по времени) — 82%. Так как в это время входят простои котла, связанные с устранением дефектов монтажа, а также и период наладочных работ, то, учитывая крайне неровную загрузку ТЭЦ по балансу производства и топлива, данное значение коэффициента использования для нового котла можно считать очень высоким.

За период с 15/V по 1/XI—1948 г. котел находился в непрерывной эксплуатации в течение 3778 часов. Коэффициент загрузки агрегата (от номинальной паропроизводительности 70 т/ч) за это время составил 43%.

Средняя нагрузка за максимально нагруженные сутки равнялась 62 т/ч.

Условия эксплуатации котла с точки зрения поддержания нагрузки, а также его способности следовать за ее колебаниями представлены диаграммами рис. 34.



При сдаче котельного агрегата было проведено четыре балансовых испытания, результаты которых даны в табл. 4.

Режимные кривые одного из опытов представлены на рис. 37. Как видно из данных, приведенных в таблице, работа топки на Сегежской ТЭЦ характеризуется примерно такими же показателями, что и для топки ТЭЦ Соликамского комбината. Несколько большей оказалась потеря с механическим недожогом, но эта величина требует еще уточнения. Эксплуатация котла проводилась без подачи верхнего вторичного воздуха, так как верхние

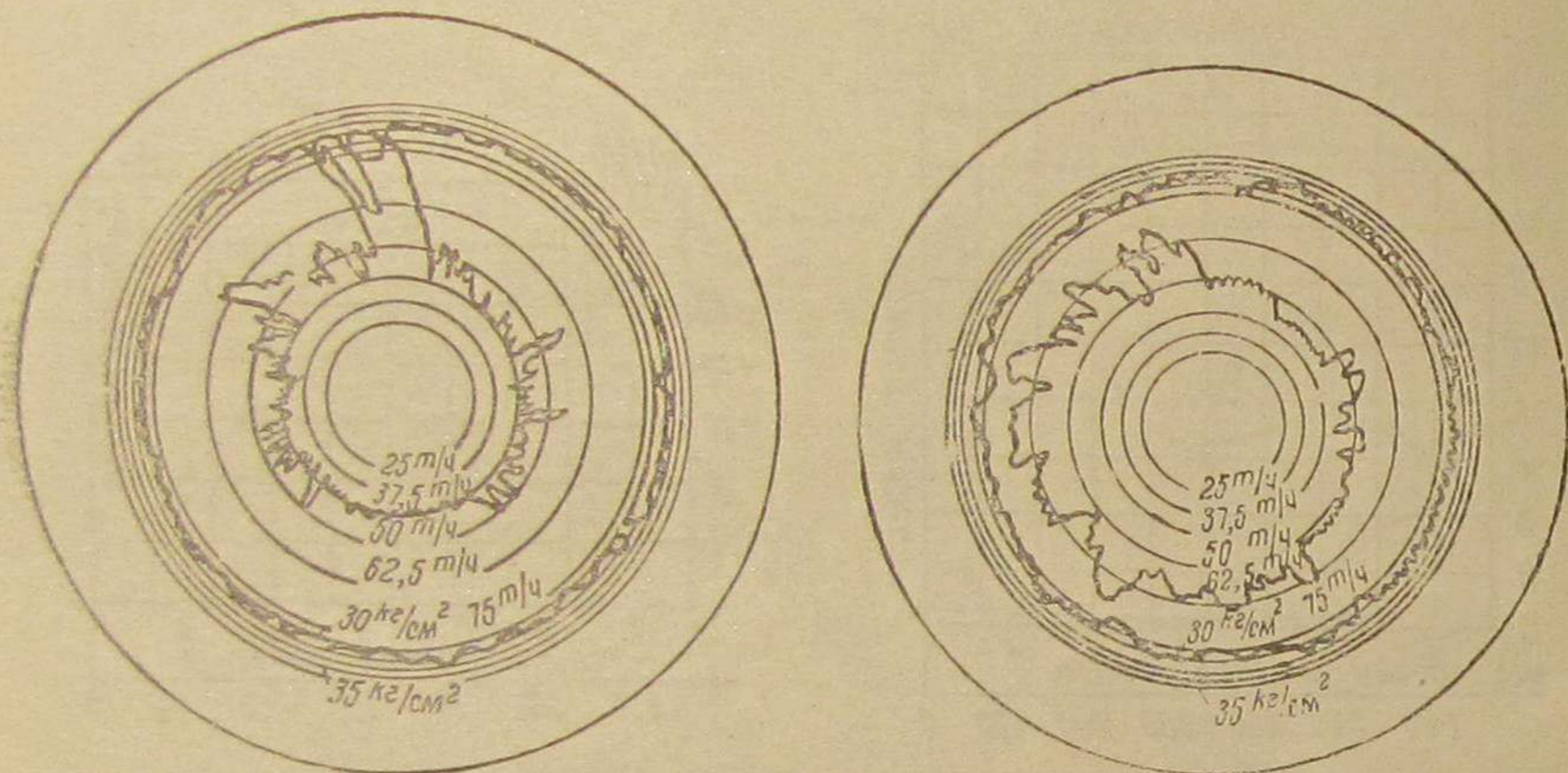


Рис. 33. Графики изменения паропроизводительности и давления в котле за 17/IX и 29/IX—1947 г.

короба в связи с разрушением защитной обмуровки со стороны топочной камеры значительно покособились и разрушились. Эти вопросы, связанные между собой, подлежат уточнению в дополнительных испытаниях.

Таким образом, работа второй промышленной топки скоростного горения на еще более крупном котле, освоенной за весьма короткий срок, еще раз подтвердила эффективность и перспективность нового метода сжигания топлива.

### 6. Топка для древесных отходов

Положительные стороны применения принципа скоростного сжигания наиболее ярко проявляются на агрегатах большой мощности. Однако совершенно не случайно, что столь эффективный метод пока получил относительно ограниченное распространение, хотя результаты освоения первой топки были опубликованы еще в 1944 г. [6].

Кроме обстоятельств, связанных с условиями военного времени, имеет значение и то, что число крупных котельных установок, сооружаемых для сжигания древесины, относительно

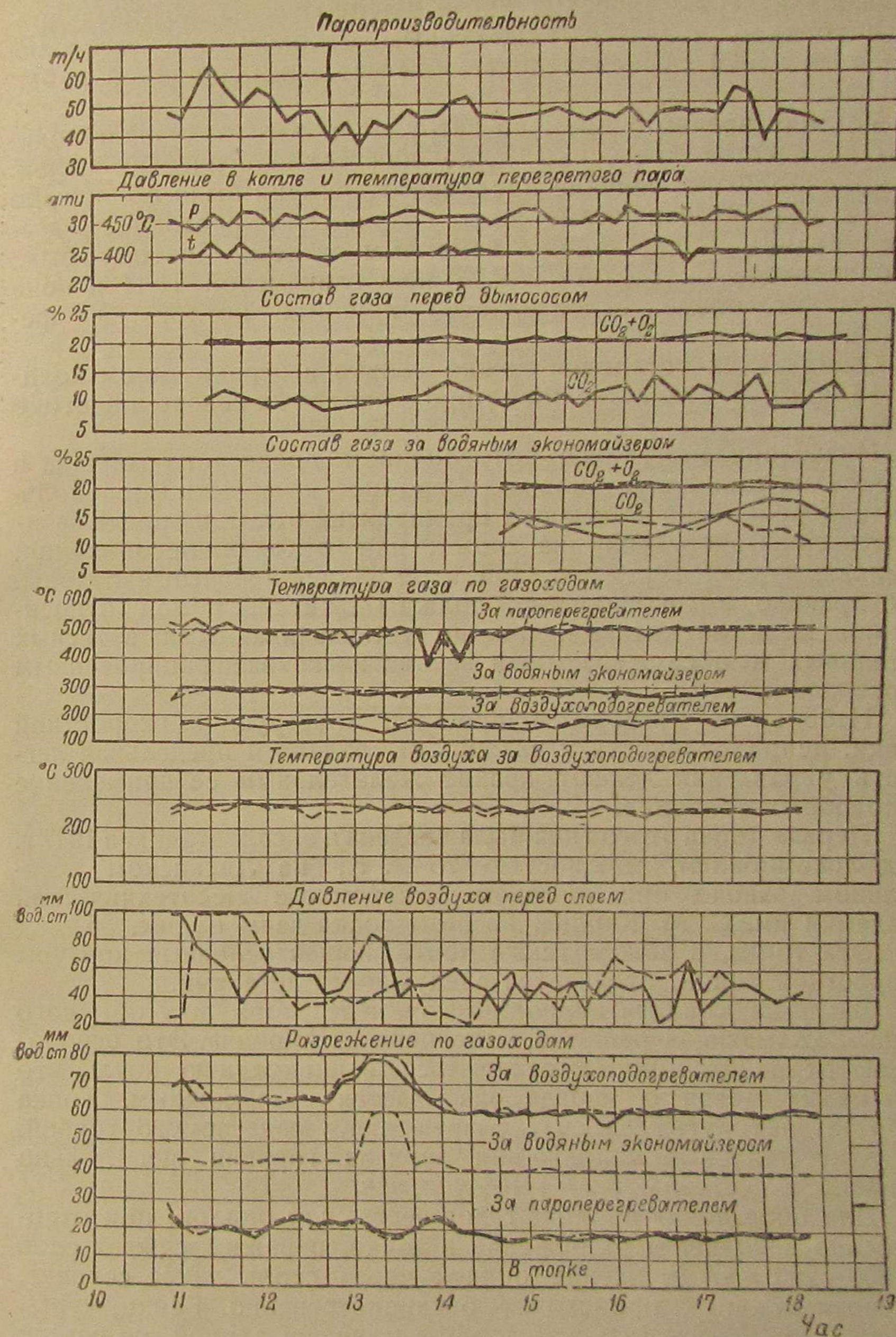


Рис. 34. Режимные кривые опыта № 2 от 7/IX—1947 г.

невелико. Такие котлы применяются только на предприятиях бумажной и лесохимической промышленности, на которых дровяное топливо является неизбежным отходом при заготовке технологической сырьевой древесины методами сплошной рубки лесосек.

Условия военного времени затруднили заготовку необходимого количества древесины даже для технологических целей. Естественно, что в течение последнего времени было приложено немало усилий для всемерного сокращения расхода древесного топлива и его замены каменным углем. Поэтому была демонтирована скоростная топка на Соликамской ТЭЦ и пока отсутствует новое строительство крупных котлов на древесине.

Ожидать их установки можно только в ограниченном количестве при строительстве новых предприятий на севере и востоке страны.

Иначе обстоит дело с потреблением древесного топлива и отходов на мелких установках. Огромное количество лесопильных и деревообрабатывающих предприятий будет и впредь базировать свою энергетику на дровах или отходах лесопиления, опилках, чурках и рейках. При этом такие древесные отходы, как правило высоковлажные, должны сжигаться под относительно мелкими котлами, обычно устанавливаемыми в тесных котельных и обслуживаемыми весьма низкоквалифицированным персоналом.

Небольшие размеры и простота конструкции скоростной топки, неприхотливость к влажности топлива и предельная легкость управления делают крайне желательным ее применение в подобных условиях.

Первая топка этого типа была введена в эксплуатацию в 1947 г. под локомотивом, мощностью 75 л. с., на Лисинском лесопильном заводе при опытном леспромхозе Лесотехнической академии им. С. М. Кирова. Разрезы топки даны на рис. 35.

Эта топка, в общем также повторяющая основные контуры скоростной топки, отличается следующими деталями.

Загрузка топлива периодическая, через кормушку обычного типа. Зажимающая решетка выполнена из кирпича. Это освобождает от необходимости включаться в циркуляцию котла, что при малых габаритах иногда оказывается невозможным. Топка работает без дутья за счет разрежения, создаваемого трубой. Поэтому тепловые напряжения зеркала горения значительно снижены и составляют  $2-4 \cdot 10^6$  кал/м<sup>2</sup> ч.

Для облегчения прохода газов через слой опилок, при относительно небольшом разрежении в топке, пережим сужает слой до 300—250 мм. Движение опилок через столь узкое сечение, как показал опыт, происходит беспрепятственно. Рейки, чурки или горбыли надо рубить или дробить на куски длиной не свыше 100—150 мм.

Подготовка топлива и предупреждение дымления через загрузочную воронку обеспечиваются наличием отсоса газов из слоя

в верхней части шахты. Топка может быть установлена либо на полу котельной, либо углублена в землю.

Пуск этой топки состоялся в ноябре 1947 г. После весьма короткого периода освоения топка с конца ноября находится в обычной эксплуатации на опилках и их смеси с корой, рейкой, горбылями и т. п. Влажность топлива 45—55%. В периоды работы

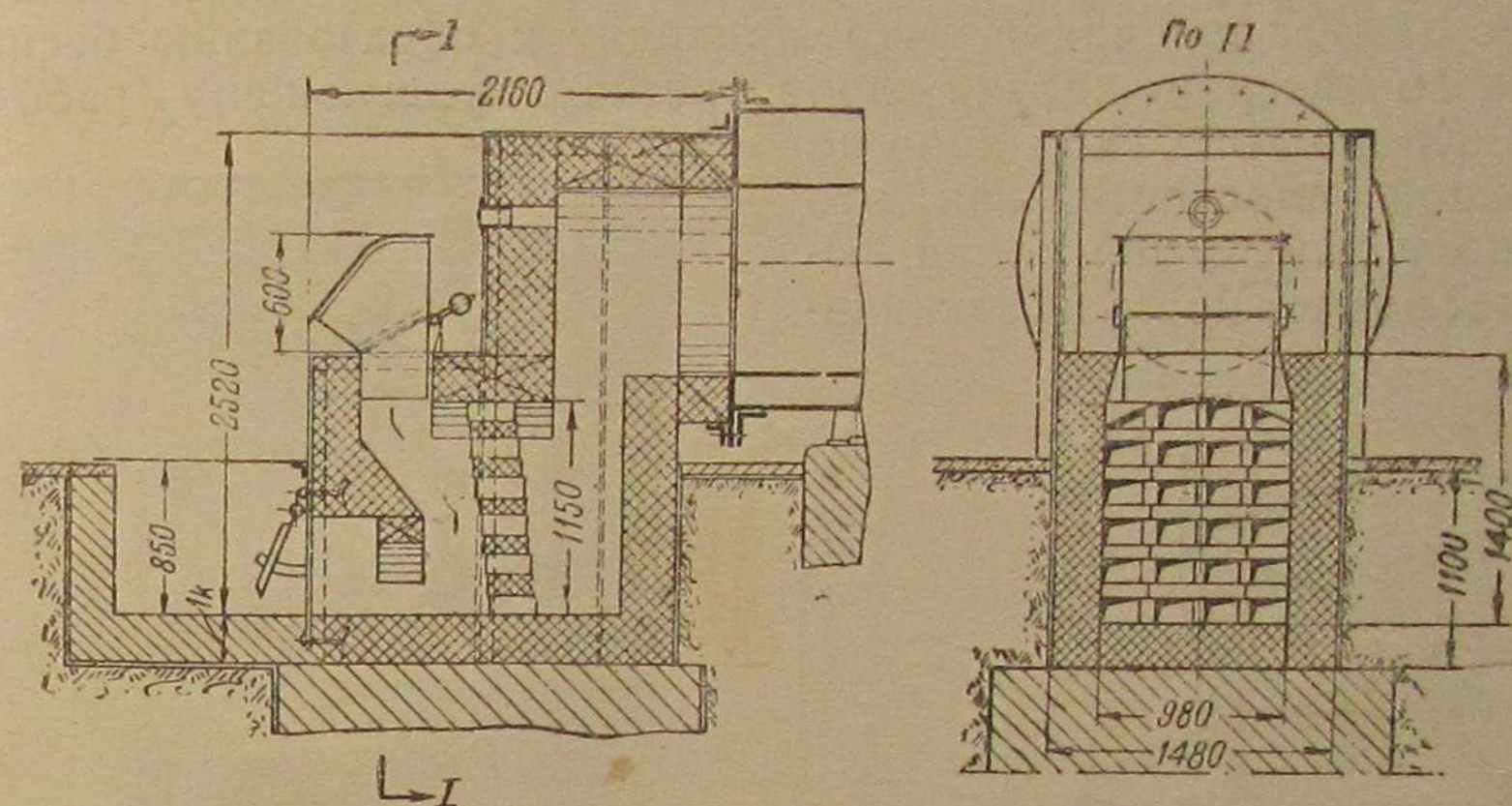


Рис. 35. Разрезы топки скоростного горения для сжигания опилок и других отходов лесопиления.

на отходах, взятых из старых отвалов, влажность возрастает до 57—62%.

Работа топки происходит аналогично работе больших топок при отмеченных ранее преимуществах.

## 7. Топка для сжигания высоковлажных дров

Задача сжигания высоковлажных дров под котлами транспортных установок особо остро стоит перед речным флотом Советского Союза, ряд пароходов которого работает и впредь будет работать на дровяном топливе.

Отопление котлов, оборудованных обычными судовыми внутренними топками на влажных дровах, вызывает настолько сильное понижение мощности силовой установки, что судно не в состоянии нести нормальную эксплуатационную нагрузку.

Одновременно падает к. п. д. установки в целом и возрастает физическая нагрузка кочегара.

Итоги эксплуатации топки скоростного горения на щепе и отходах позволили считать, что эта топка должна удовлетворительно работать и на высоковлажных дровах. Наличие активной подготовки топлива в шахте обеспечивает надежность воспламенения даже очень влажных дров.

Одновременно система топливно-воздушного затвора предохраняет топку от дымления через загрузочное окно, что особенно опасно при переходе на отопление сухими дровами.

Топка скоростного горения представляет собой как бы логическое развитие топки Кирша с вертикальным слоем, весьма хорошо зарекомендовавшей себя при сжигании высоковлажных дров.

Наличие зажимающей решетки допускает работу скоростной топки и на немерных поленьях, которые в топке Кирша вываливаются из-за заплечиков, что приводит к образованию беспорядочного нагромождения дров, резко ухудшающему работу топки. Кроме того, сход дров по наклонной плоскости, как это сделано у скоростной топки, исключает возможность их заклини-

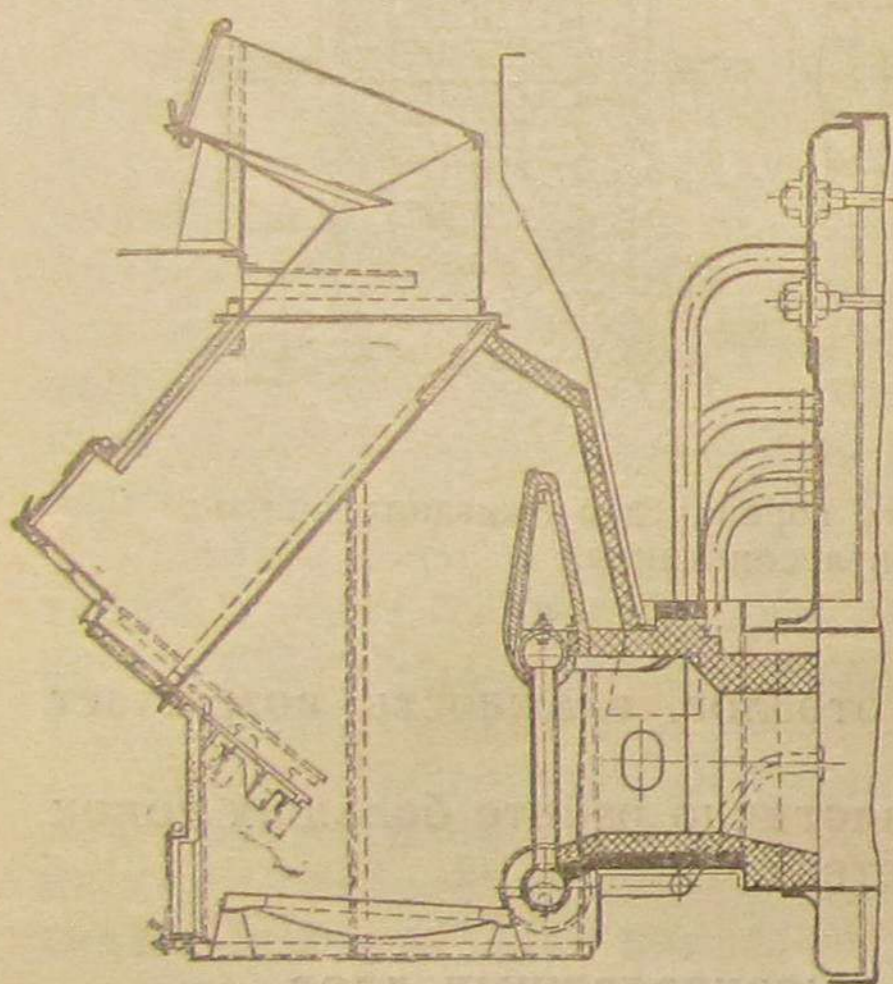


Рис. 36. Судовая скоростная топка для дров.

вания вверху и позволяет ограничиться в обслуживании топки только загрузкой дров в шахту. Одновременно наличие свободной поверхности слоя в шахте обеспечивает возможность надежного отсоса газов, что предупреждает дымление.

Исходя из этих положений, было принято решение о сооружении опытной топки скоростного горения для сжигания дров на пароходе „Балмашов“ Северо-западного речного пароходства [9]. Общий вид этой топки представлен на рис. 36.

Зажимающая решетка топки выполнена из семи труб  $\varnothing 83/76$ , расположенных с шагом 150 мм, и включена в циркуляцию котла. Площадь открытого окна решетки  $0,57 \times 0,9 = 0,52 \text{ м}^2$ . Шахта топки размещена перед фронтом котла. Она имеет коленчатую форму и верхней частью выходит на палубу, что весьма облег-

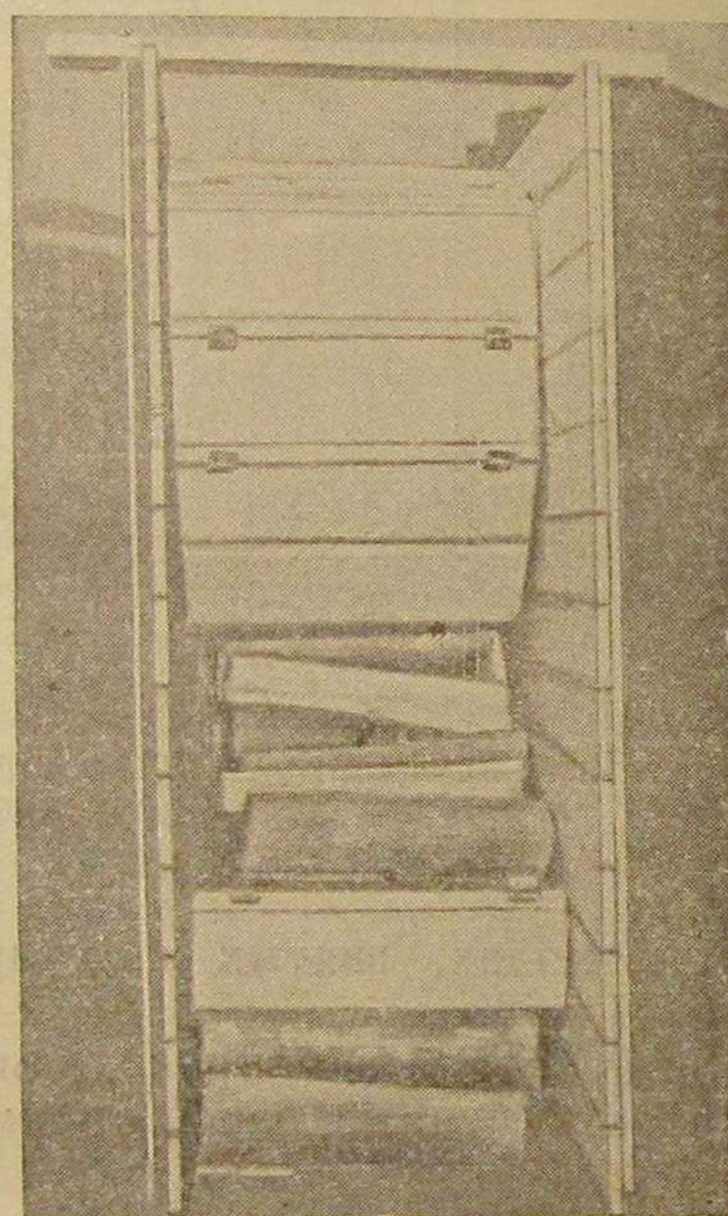


Рис. 37. Модель шахты топки.

чает и упрощает загрузку дров, производить которую внизу в тесном машинно-котельном помещении крайне неудобно. В средней части шахты имеются дополнительные дверцы, через которые можно производить догрузку топки снизу, а также первоначальную укладку дров в пустой шахте.

Форма шахты была подобрана в опытах на моделях сначала в  $1/10$ , а затем в  $1/2$  натуральной величины. Фотография расположения дров во второй модели дана на рис. 37. Оказалось, что по мере увеличения угла наклона передней стенки шахты и приближения ее по форме к вертикальной, нарушение нормального схода и заклинивание дров происходят все чаще.

Топливо лежит на колосниковой решетке, служащей для подвода воздуха к нижней части слоя.

Продукты горения слоя выходят через щели зажимающей решетки в камеру, соединяющую шахту с обеими жаровыми трубами. Для дожигания продуктов неполного горения устроен подвод вторичного воздуха через сопла, расположенные в верхней части жаровых труб. Топка не имеет дутья и работает за счет разрежения, создаваемого паровым сифоном, установленным в дымовой трубе. Толщина слоя в топке в наиболее узком месте (пережиге) вначале составляла 680 мм.

Пароход „Балмашов“ является колесным буксиром, оборудованным наклонной машиной двойного расширения, мощностью 280 л. с.

**Пуск топки.** Работы по освоению топки продолжались с 1/VIII 1947 г. по 13/X 1948 г. С 30/IX 1948 г. пароход находился в эксплуатации без надзора со стороны наладочной бригады. Общее время работы топки составило около 1000 часов. Вначале топка работала с очень большими избытками воздуха, в основном в связи с тем, что слой дров при его рассыпании после пережигания имел в активной зоне толщину всего 350—400 мм (рис. 38, 1). Паропроизводительность котла при этом была крайне низкой. После увеличения толщины слоя в пережиге от 680 до 800 мм (рис. 38, 2) застревание дров резко сократилось и толщина слоя выросла до 500—600 мм.

Дальнейшее увеличение толщины слоя до 700 мм было достигнуто путем снятия наклонной плиты фронтальной стенки шахты, а также устройства боковых шуровочных дверок (рис. 38, 3). При этом обнаружилось, что имеется проскок значительного количества паразитного воздуха, в основном проходящего вдоль боковых стен шахты, а также через колосниковую решетку. Для устранения этого по бокам, в нижней части шахты, была выложена дополнительная обмуровка, препятствующая прорыву воздуха через коридор, образующийся между слоем дров и боковыми стенами шахты (рис. 38, 4). Эти мероприятия позволили повысить содержание  $\text{CO}_2$  за котлом до 10—11% и поднять паропроизводительность настолько, что судно смогло выходить для испытаний в Ладожское озеро при работе на дровах влажностью 45—47%. Значительное увеличение паропроизводительности котла было достигнуто путем последующего

увеличения толщины слоя до 900 мм и устройства канала для отсоса газов с поверхности слоя (рис. 45, 5).

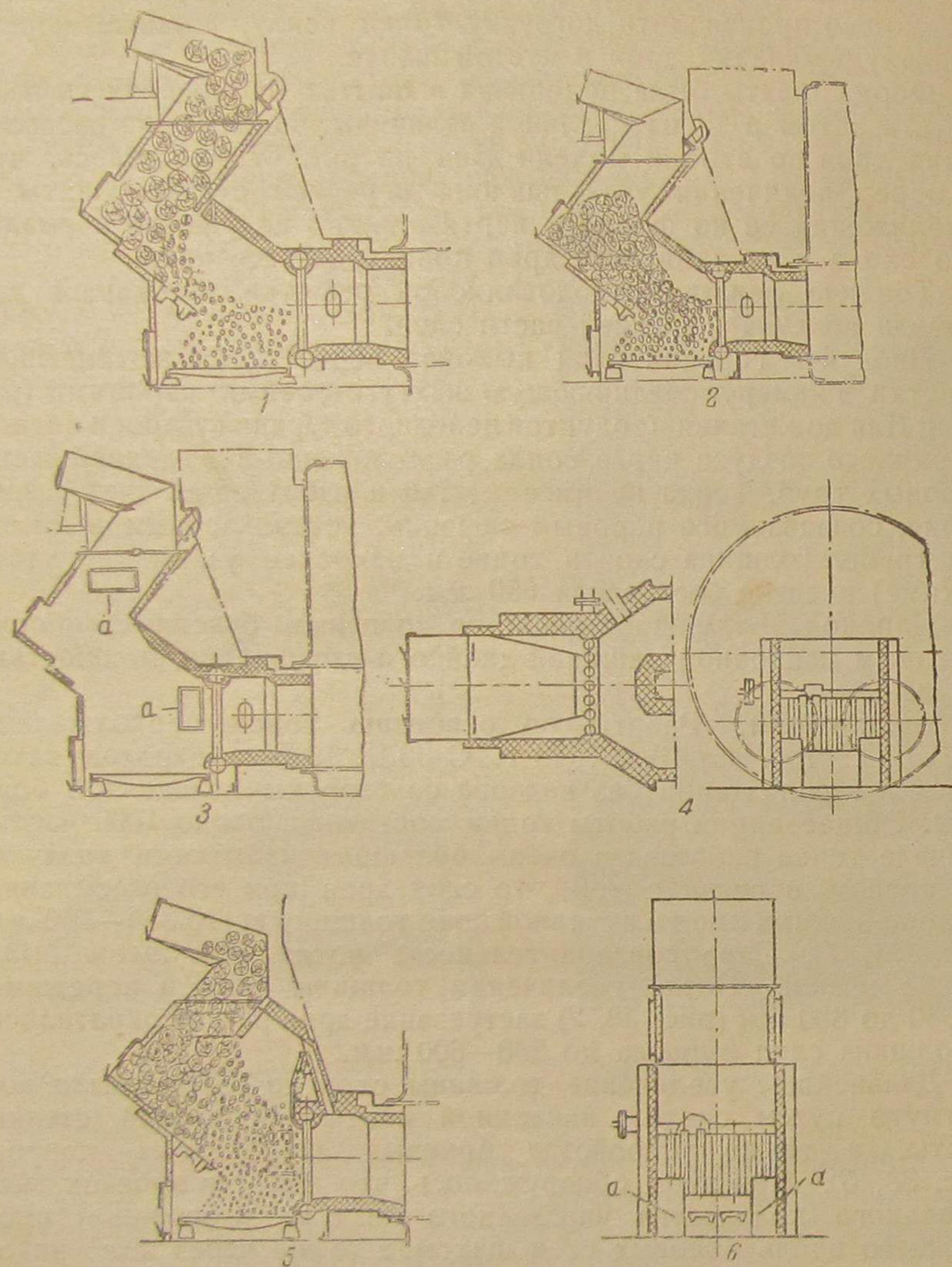


Рис. 38. Схема переделок топки парохода „Балмашев“ СЗРП:

1 — расположение топлива в опытах № 1—6; 2 — опыты № 6—7; увеличена толщина слоя; установлены крючки *a* для задержки дров; 3 — установка дополнительных боковых дверок *a*; опыты № 8 и 9; 4 — закрыты боковые стенки; вынута колосниковая решетка; опыты № 10, 11; 5 — увеличение толщины слоя; устройство канала для отсоса; 6 — установка боковых плит на фронте *a*.

Однако содержание  $\text{CO}_2$  в газах не возросло. Это объясняется тем, что при столь резком возрастании толщины слоя основной поток воздуха устремился через боковые зазоры между

концами поленьев и боковыми стенками. Края поленьев обгорали значительно быстрее, чем середина, что приводило к еще большему увеличению боковых зазоров и к росту избытка воздуха.

Для перераспределения воздуха были всемерно затруднены пути его движения вдоль стен и облегчены пути для движения через толщу слоя. Колосники были поставлены только в средней части топки. По краям были вновь поставлены наклонные плиты, и пространство под ними было заложено кирпичом. Тем самым, в середине слоя образовалось большое окно, способствующее нужному проходу воздуха (рис. 42, 6).

В начале эксплуатации топки в 1948 г. выявилась недостаточная мощность топки. Это в основном было связано с проходом лишнего воздуха.

За счет установки у зажимающей решетки порога высотой 600 мм удалось поднять мощность котла до 2, 3—2, 5 т/ч.

При этом содержание  $\text{CO}_2$  возросло до 11—14%, а в отдельные моменты, наиболее благоприятные по состоянию слоя, и до 19—20%; паропроизводительность была доведена до 1960—2930 кг/ч, что обеспечило работу судовой машины на нормальном числе оборотов при отоплении дровами влажностью 29—47%.

**Показатели работы топки.** Основные показатели работы котла сведены в табл. 5.

Работа топки позволила сделать следующие выводы о ее преимуществах:

1) возможность удовлетворительно работать на дровах любой влажности до  $W_p = 47\%$  без дымления и нарушения режима при подаче сухих дров;

2) непрерывность ведения топочного процесса и, как следствие этого, устойчивость режима, обеспечивающая более высокую среднесуточную мощность судовой установки;

3) легкость управления и большая гибкость регулирования;

4) более высокий коэффициент полезного действия, в связи с практическим отсутствием потерь с химической неполнотой горения и механическим недожогом;

5) механизация перемещения топлива от загрузочного отверстия к зоне горения и вытекающее отсюда значительное облегчение труда кочегара и полная возможность обслуживания топки малоквалифицированными и физически слабыми кочегарами, работа которых фактически сводится к подноске и загрузке дров в шахту;

6) простота конструкции: несложность изготовления, полное отсутствие механизмов, что влечет за собой высокую надежность в работе.

Большинство судов речного флота СССР, отапливаемых дровами, оборудованы пролетными котлами, для которых скоростная топка может быть выполнена значительно проще и с меньшими габаритами.

ИТОГИ ОСВОЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ТОПОК НА ДРЕВЕСНОМ  
ТОПЛИВЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯТаблица 5  
Основные результаты наладки и испытаний скоростной топки для дров

Наименование величин	Обо- значение	Размер- ность	Даты опытов			
			8/X 1947 г.	13/X 1947 г.	19/X 1948 г.	23/X 1948 г.
Продолжитель- ность опыта . . .	$\tau$	ч	6,0	8,5	5	6,0
Сорт топлива . . .	Дрова смесь: ель, береза, осина					
Влажность . . . . .	$W_{P_H}$	%	45,4	45,2	41,5	33,4
Теплотворная спо- собность . . . . .	$Q_p$	кал/кг	2115	2118	2307	2718
Расход топлива . . .	$B$	кг/ч	770	782	580	671
Видимое тепловое напряжение ок- на зажимающей решетки . . . . .	$\frac{BQ_p^H}{R}$	$10^6 \text{ кал/м}^2 \text{ч}$	$3,13 =$ $0,52 \text{ м}^2$	3,18	2,7	3,6
Видимое тепловое напряжение то- почного объема	$\frac{BQ_p^H}{V_T}$	$10^{-3} \text{ кал/м}^3 \text{ч}$	$259 =$ $6,28 \text{ м}^3$	263	224	298
Паропроизводи- тельность котла (при $t_{\text{пит}} 47^\circ$ ) . . .	$D$	кг/ч	1980	1960	1780	2320
Среднее давление пара в котле . . .	$P_k$	ати	8,2	8,6	7,2	9,1
Состав газа за котлом . . . . .	$\text{CO}_2$	%	11,3	12,2	13,6	16,1
	$\text{O}_2$	%	9,2	8,6	6,3	4,0
	$\text{CO}$	%	—	0,1	0,1	0,1
Коэффициент из- бытка воздуха за котлом . . . . .	$\alpha$		1,8	1,65	1,48	1,25
Т-ра газов в огне- вой коробке . . . . .	$t_{o.k.}$	$^\circ\text{C}$	587	585	510	585
Т-ра газов за кот- лом . . . . .	$t_{y.g.}$	$^\circ\text{C}$	211	247	234	295
Разрежение за кот- лом . . . . .	$h$	мм водяного столба	18,7	15,2	8,4	15,5
К. п. д. котла (по прямому балансу)	$\eta_k$	%	24,7	73,0	83,0	80,0

## 8. Результаты работы

Итоги освоения топок скоростного горения для древесного топлива позволяют рекомендовать новое топочное устройство для всех случаев сжигания древесной щепы, отходов лесопиления, целлюлозно-бумажного производства и влажных дров взамен топок с ручной загрузкой топлива, шахтных и топок с механическими цепными решетками.

Установка топок скоростного горения позволит:

1. Устойчиво работать на топливе повышенной влажности, вплоть до 60%. Необходимо указать, что в обычных установках повышение влажности топлива приводит к очень резкому понижению мощности и экономичности установок. Скоростная топка позволяет обеспечить нормальную работу предприятий и транспортных энергосиловых установок в периоды поступления высоковлажного топлива. Одновременно она позволяет использовать такие влажные отходы производства, как кора, опилки, сульфитный щелок и др., которые ныне только засоряют предприятия и отравляют водоемы.

2. Значительно повысить паропроизводительность котельного агрегата при его работе на влажном древесном топливе. Резкое повышение форсировки слоя снимает ограничение мощности котла со стороны топочного устройства, обычно лимитируемой топками существующих типов.

Работа топки при малых избытках воздуха, а также по разомкнутому циклу сушки позволит заметно уменьшить объем газов, проходящих через агрегат, и тем самым повысить его мощность без увеличения хвостовых поверхностей нагрева.

При установке скоростной топки легко получить существенное увеличение радиационных поверхностей котла за счет установки зажимающей решетки или, что еще более действенно, за счет организации „радиационного пучка“. При этом в топочной камере обычных агрегатов удастся разместить по сути дела новый экраный котел, принимающий на себя основную тепловую работу.

3. Получить значительное повышение надежности работы котла при переменном составе топлива и резких изменениях нагрузки.

4. Получить экономию капиталовложений, вследствие простоты конструкции и отсутствия механизмов. Для котла мощностью 60/75 т/ч достигается экономия металла около 80—120 т.

5. Производить изготовление топки непосредственно на монтаже без заводской поставки оборудования.

6. Увеличить к. п. д. агрегата, главным образом, за счет сокращения при некачественном обслуживании средне-эксплуатационных потерь с химической и механической неполнотой горения, а также за счет уменьшения избытка воздуха и возможности работать по разомкнутому циклу сушки при влажном топливе.

Характерно, что несмотря на некоторое повышение напора дутья перед слоем, расход энергии на собственные нужды при скоростной топке оказывается не большим, чем обычно, а иногда меньшим. Это является следствием сокращения объема воздуха и газа и соответственного понижения сопротивления всего газо-воздушного тракта, что обычно перекрывает затрату на несколько повышенный напор дутья.

7. Механизировать топочный процесс при переходе от топок с ручной заброской дров на обычную колосниковую решетку. Непрерывность работы скоростной топки даже при периодической загрузке играет особо важную роль для судовых и других транспортных установок, так как повышает среднюю эксплуатационную скорость. Кроме того, появляется возможность применения к установкам, работающим на влажных дровах, безинерционных котлов, намного более компактных и легких, чем существующие системы со значительной аккумуляционной способностью.

Преимущества топки особо ярко выявляются при реконструкции котельных агрегатов, когда удается повысить паропроизводительность котла до пределов, ограниченных только условиями циркуляции и сепарации пара в котле. В отдельных случаях при реконструкции старых водотрубных котлов удается увеличить мощность котла в 2—2,5 раза. При этом общие габариты топочной камеры и основных газоходов остаются прежними и поэтому отпадает необходимость в подъеме котла и изменении его каркаса и фундамента. Таким образом, топка скоростного горения таит в себе весьма широкие возможности для повышения паропроизводительности существующих котельных, работающих на древесном топливе.

Изложенное позволяет считать топку скоростного горения наиболее простым и совершенным топочным устройством для сжигания щепы, древесных отходов и дров.

### 9. Перспективы применения

Ниже приводятся данные о реальных перспективах промышленного внедрения новых топок в ближайшее время.

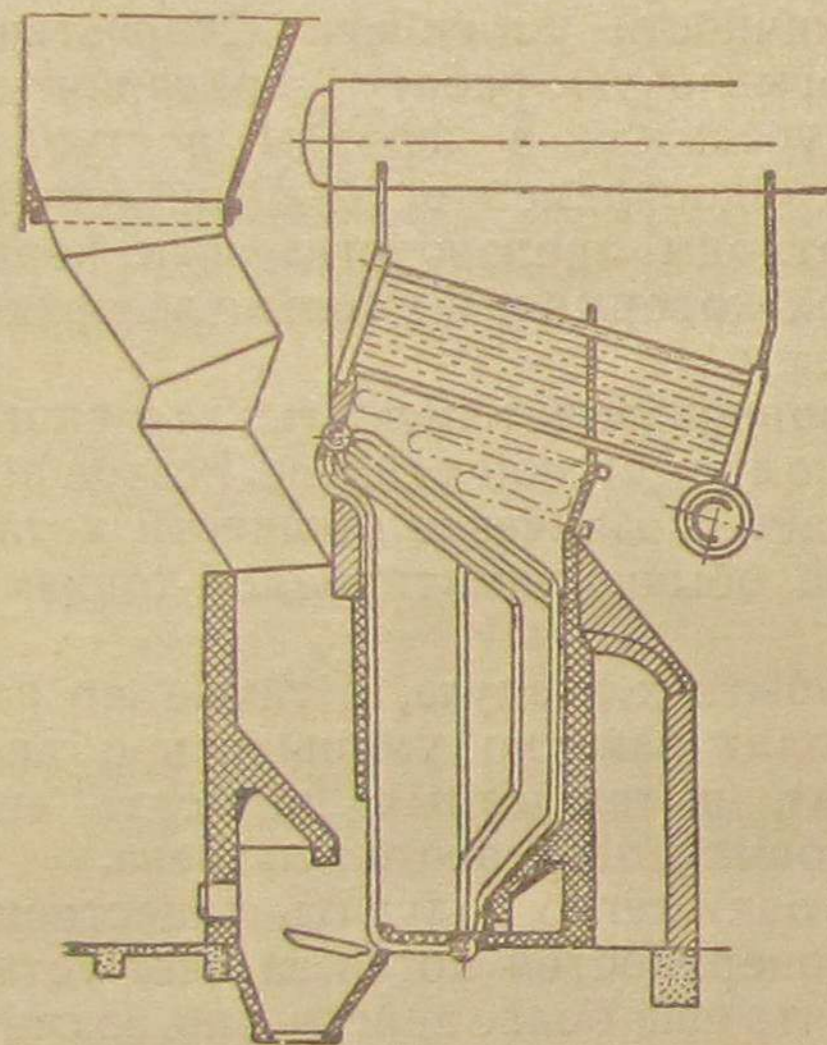


Рис. 39. Реконструкция котельного агрегата ТЭЦ бумажного комбината.

Топки для древесной щепы и отходов. Учитывая изложенные соображения о сокращении расхода топливной древесины и об ограниченном строительстве новых крупных котельных агрегатов, на ближайший период намечается установка скоростных топок взамен существующих шахтных и топок с цепными решетками при реконструкции установленных ранее котлов.

При этом достигается настолько резкое повышение паропроизводительности агрегатов, что появляется возможность избежать установки новых котлов. Решен вопрос о реконструкции котельной одного бумажного комбината. Существующие четыре котла Бабкок-Вилькокс мощностью 16—20 т/ч должны быть

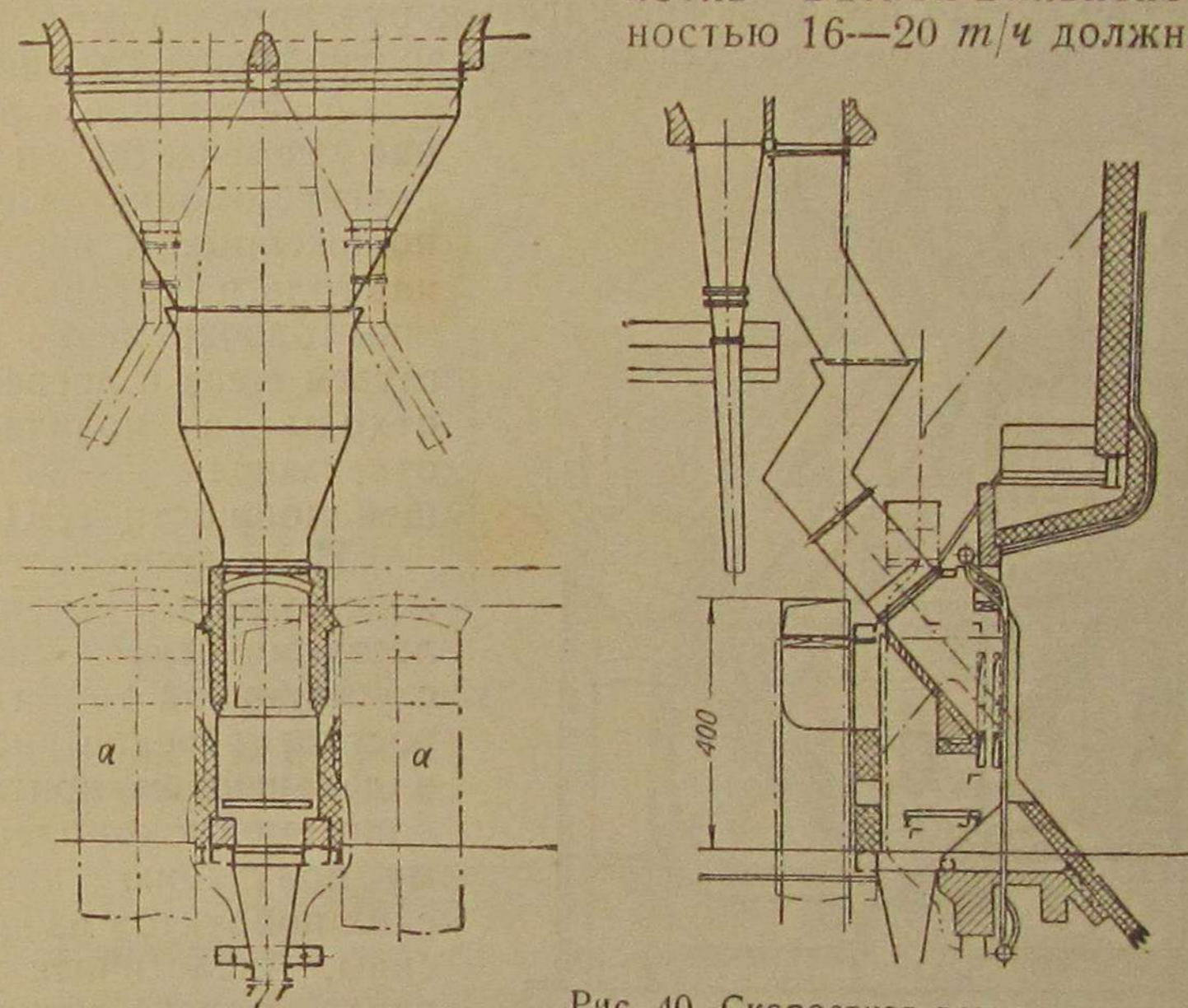


Рис. 40. Скоростная топка для котла № 1 ТЭЦ Сегежского бумкомбината.

реконструированы с увеличением паропроизводительности до 28—34 т/ч за счет замены устаревших цепных решеток топками скоростного горения с радиационным пучком в топочной камере, увеличения хвостовых поверхностей и замены тягодутьевой установки<sup>1</sup>. Габариты котла и здания остаются прежними. Схема реконструкции представлена на рис. 39.

Аналогичная реконструкция намечена для котельных нескольких бумкомбинатов, в которых предусмотрено, за счет повышения паропроизводительности существующих котлов, освободиться от необходимости строительства новых агрегатов.

В одном из случаев намечается возможность демонтировать три старых котла, освободив место в котельной для последующего существенного ее расширения.

<sup>1</sup> В дальнейшем предполагается переход котельной на комплексный процесс энергохимического использования древесины.

Значительные перспективы открываются для применения топок скоростного горения для утилизации коры, являющейся чрезвычайно трудно используемым отходом целлюлозно-бумажных комбинатов.

Намечено строительство новых утилизационных котельных со скоростными топками на отжатой коре на ряде комбинатов.

На ТЭЦ Сегежского комбината при переводе котла № 1 с цепных решеток на шахтно-мельничные топki, посредине между шахтами мельниц в качестве растопочного устройства установлена скоростная топка на щепе (рис. 40), способная самостоятельно нести нагрузку до 10—15 т/ч, а также сжигать кору и прочие отходы комбината в периоды стоянок котла № 2 со скоростной топкой для щепы<sup>1</sup>.

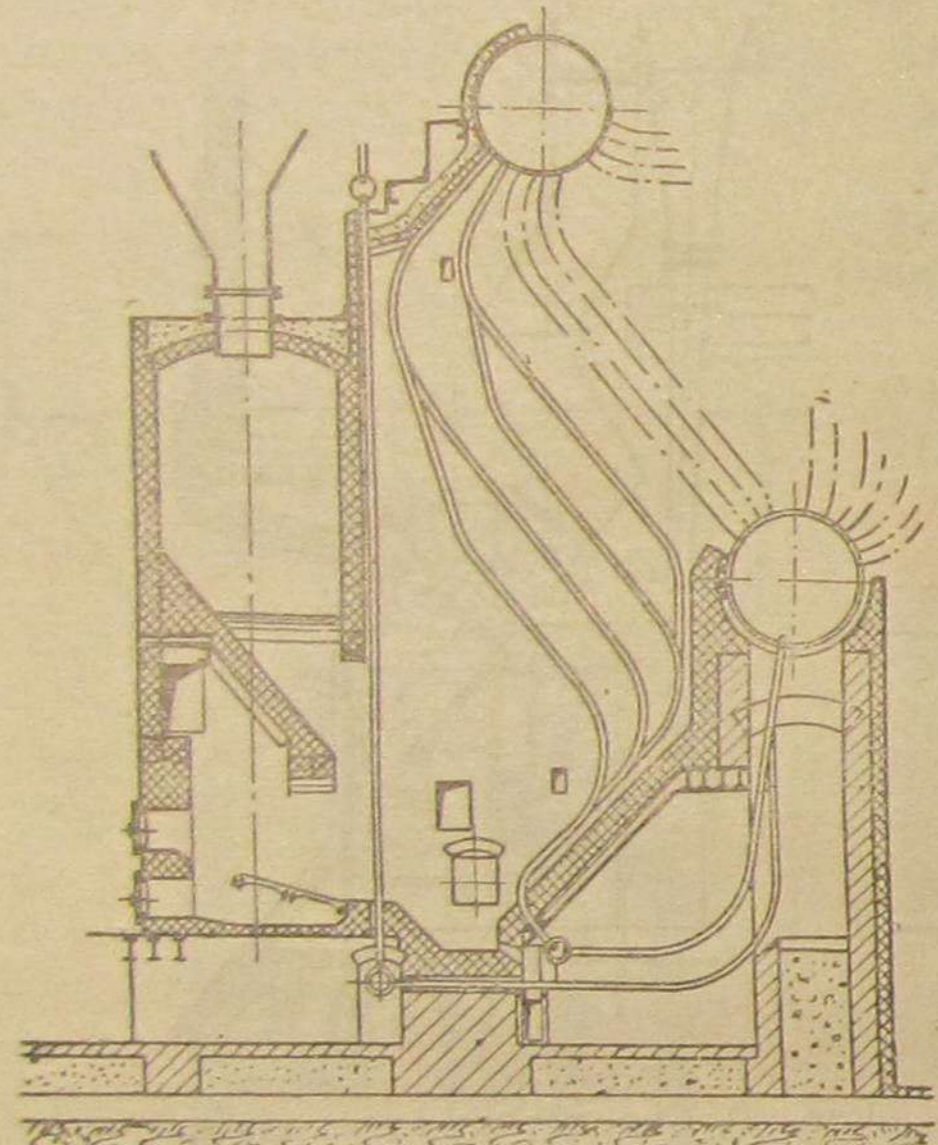


Рис. 41. Топка скоростного горения для котельной лесохимического завода.

Аналогичное решение намечается и для других комбинатов, предложенных к переводу на уголь, на которых должны одновременно сжигаться щепы и древесные отходы в количестве, отвечающем 20—30% общей мощности ТЭЦ.

Ныне проводится реконструкция котельной лесохимического завода с установкой топki скоростного горения (рис. 41), в дальнейшем приспособляемой к комплексному получению химических продуктов из древесины. Аналогичная установка малой мощности сооружается на одном лесозаводе.

Таким образом, в ближайшие годы, несмотря на резкие ограничения сжигания щепы, только на предприятиях лесной и бумажной промышленности будет установлено около двадцати топок скоростного горения.

Это является наиболее яркой иллюстрацией эффективности применения нового метода сжигания древесной щепы и отходов.

Топки для сжигания высоковлажных дров. Область применения топki для работы на влажных дровах на установках небольшой мощности, по существу, является неограниченной.

Как только был закончен первый цикл работ по освоению топki на пароходе „Балмашов“, сразу же наметился ряд объектов для установки подобных топок.

<sup>1</sup> Пуск этой топki, состоявшийся 2/XI 1948 г., показал эффективность ее работы в сочетании с шахтно-мельничными топками.

На одном из целлюлозных заводов намечена установка топki под котлом паропроизводительностью 7 т/ч (рис. 42).

По предложению Министерства земледелия СССР разработан проект топki для сельской паровой электростанции мощностью 50 л. с. (рис. 43).

На одном из ленинградских заводов сооружается опытный рейдовый катер для лесосплава с котлом высокого давления и скоростной топкой (рис. 44).

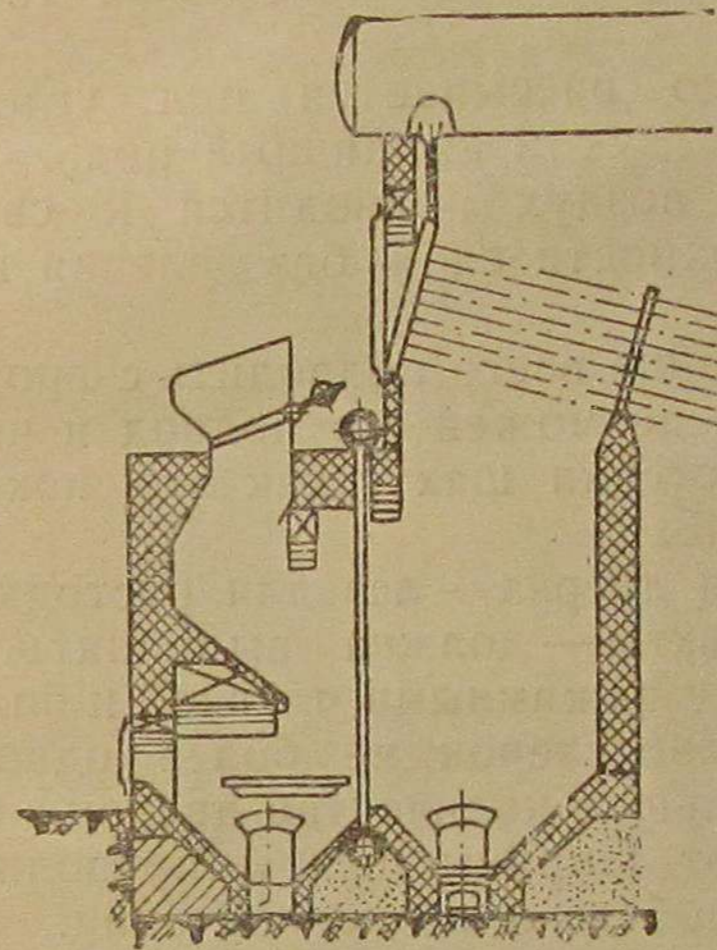


Рис. 42. Топка для дров под котел паропроизводительностью 6 т/ч.

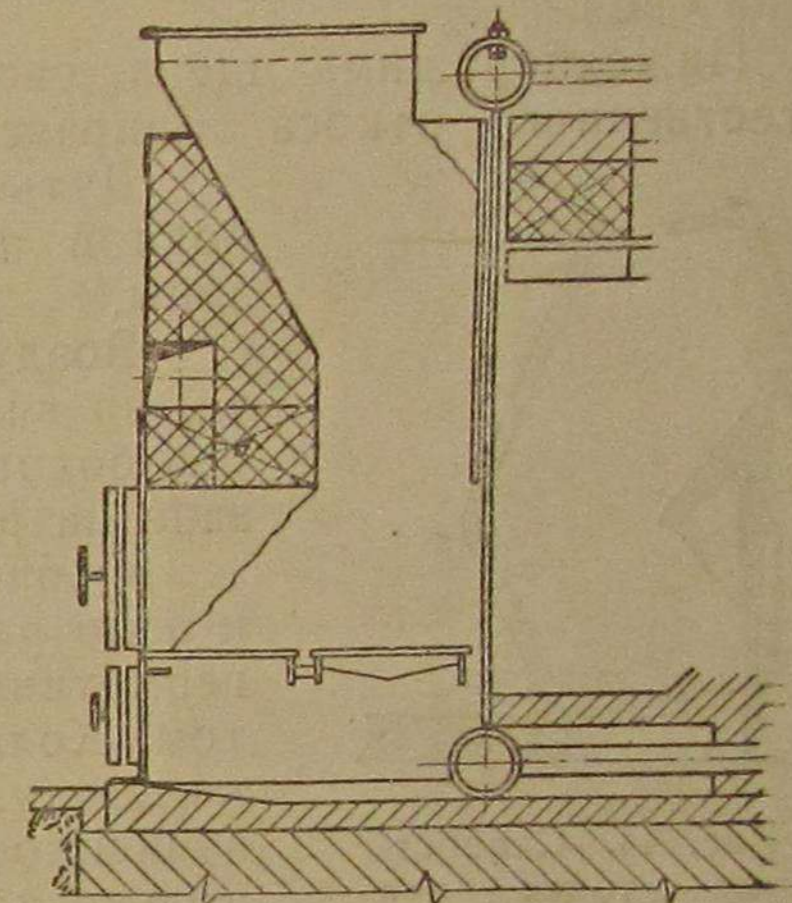


Рис. 43. Скоростная топка для сельской электростанции.

Дальнейшими задачами являются освоение и внедрение в промышленность метода комплексного энерго-химического использования древесины, а также задачи создания топок скоростного горения для других твердых топлив, в первую очередь для торфа, затем для каменных углей и сланцев.

#### ГЛАВА IV

### РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ТОПОК СКОРОСТНОГО ГОРЕНИЯ

#### 10. Расчет и проектирование

Топки для древесной щепы и отходов. При проектировании топок для указанных сортов топлива в качестве образца следует принимать топку, представленную на рис. 45, с возможными некоторыми отклонениями в размерах применительно к индивидуальным условиям установки.

Топка может компоноваться с существующими котлами паропроизводительностью от 6 до 90 т/ч, представляющими наибольший интерес для сжигания щепы.

Топка состоит из шахты, к которой непосредственно при-  
мыкает топливный рукав или кормушка. В зависимости от мощ-  
ности и ширины фронта котла применяются одна или две шахты,  
причем предпочтительнее делать две независимые шахты. Мини-  
мально допустимая ширина шахты по фронту 1200 мм. Шахты  
шириной свыше 4—4,5 м делать не рекомендуется. В се-  
редине высоты шахты создается пережим, доводящий слой  
до толщины 280—320 мм, в зависимости от крупности  
щепы. Для более крупной щепы принимается бо́льшая тол-  
щина слоя.

Ниже пережима щепка свободно рассыпается под углом  
естественного откоса, опираясь на глухой кирпичный под.

Дутьевой воздух подводится к сво-  
бодной поверхности слоя без деления на  
зоны.

Воздух лучше всего подводить с фрон-  
та, но вполне возможен его подвод и че-  
рез боковые стенки шахт, как это пока-  
зано на рис. 45.

Фронтальная дверка — лаз для растопки  
и осмотра шахты — должна выполняться  
герметичной, с нажимными планкой и бол-  
том. Количество дверок не более одной  
на шахту. Большое количество дверок вне  
зависимости от ширины шахты приводит  
только к неудобствам в эксплуатации.

Основным расчетным размером топки  
является площадь подвода дутья (дутьевая  
плоскость)

$$R_{\text{дуть.}} = b \cdot h_{\text{дуть.}}$$

где  $b$  — ширина топки в свету,

$h_{\text{дуть.}}$  — высота дутьевой плоскости).

Расчеты показали, что для котлов паропроизводительностью  
до 90 т/ч повышение мощности топки при переходе от котла  
одного типоразмера к другому удастся осуществить за счет  
увеличения ширины фронта топки в соответствии с ростом  
ширины котла. При этом удастся сохранить высоту дутьевой  
плоскости одинаковой для всех типов котлов в пределах  $D =$   
 $= 6 — 90 \text{ т/ч}$ , лишь повышая нагрузку этой плоскости по мере  
роста паропроизводительности.

На рис. 45 высота дутьевой плоскости принята равной  
1100 мм. Следует считать, что в среднем около 200 мм вы-  
соты будет занято золой и шлаком и что активная высота дуть-  
евой плоскости будет равна 900 мм. Тогда тепловое напря-  
жение дутьевой плоскости для котлов 6—90 т/ч будет лежать  
в пределах  $U_{\text{дуть.}} = 2,5 \cdot 10^6 — 13 \cdot 10^6 \text{ кал/м}^2 \text{ ч}$ .

Необходимый расчетный напор в дутьевом коробе должен  
соответственно составлять 30—150 мм в. ст.

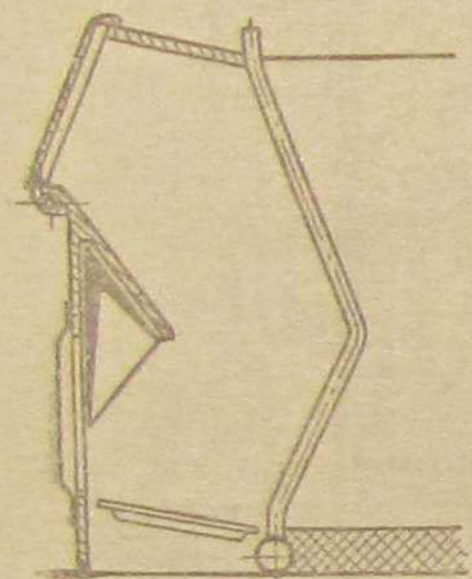


Рис. 44. Скорост-  
ная топка для  
котла рейдового  
катера.

Для приближенных расчетов при сжигании щепы можно  
принимать следующую зависимость минимального напора от  
тепловой нагрузки плоскости дутья  $\Delta p = 12 U_{\text{дуть.}}$ , где  $U_{\text{дуть.}}$  —  
тепловое напряжение плоскости дутья, выраженное в  $10^6 \text{ кал/м}^2 \text{ ч}$ .  
При значительной добавке отжаты коры сопротивление слоя  
понижается, при добавке опилок повышается.

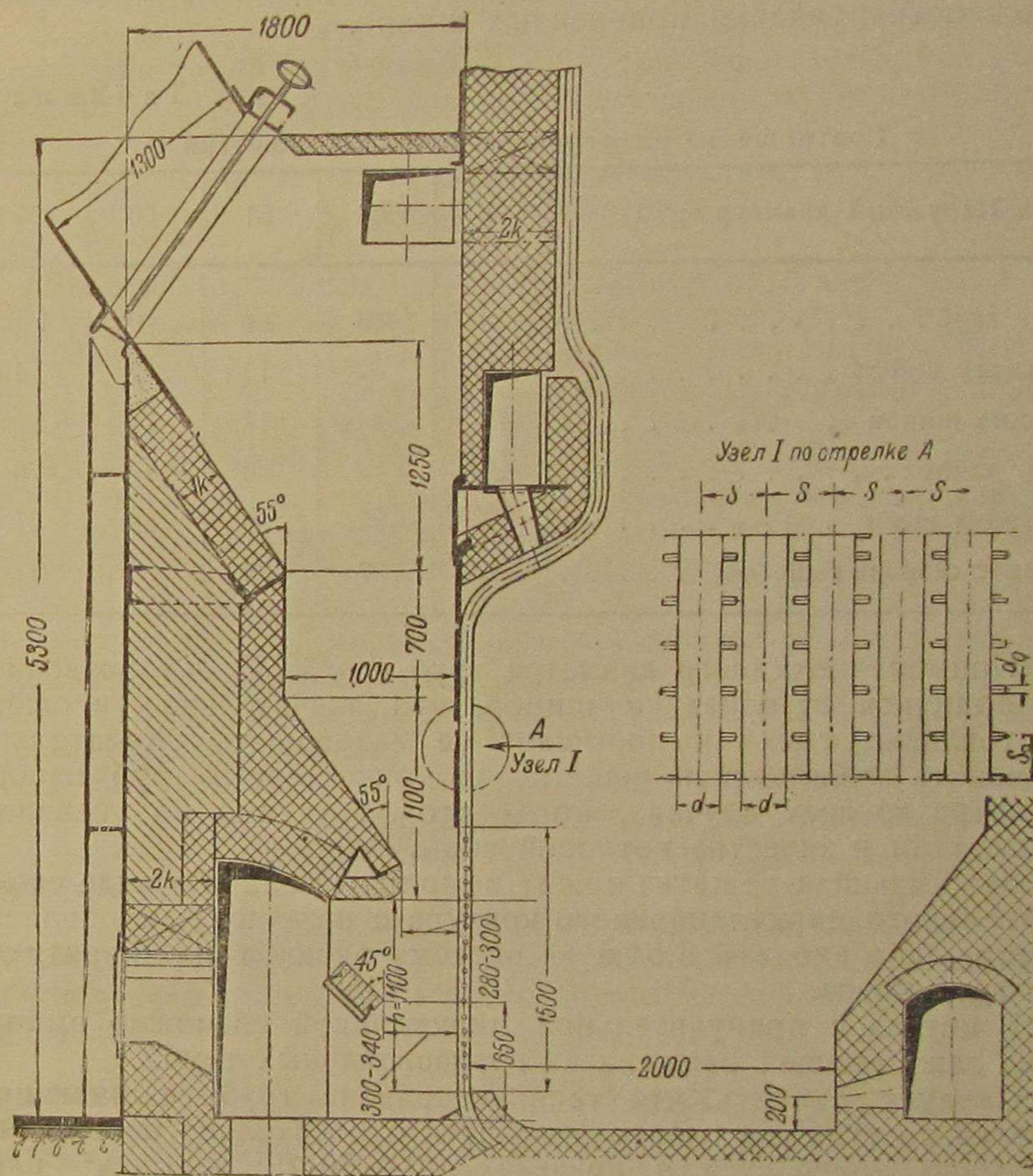


Рис. 45. Чертеж типовой топки для сжигания щепы. Продольный разрез.

Зажимающая решетка может выполняться из труб различ-  
ного диаметра. Рекомендуемое соотношение между диаметром  
и шагом труб решетки приведено в табл. 6.

Поперечные шипы значительно повышают аэродинамическую  
устойчивость слоя. Их установка обязательна при ширине щели  
между трубами более 25 мм. Шипы должны быть наварены  
по высоте труб на протяжении 1500—1800 мм. Располо-



женные выше участки труб закрываются от истирания щепой навесными чугунными плитами. Целесообразно наваривать шипы не на все трубы, а через трубу, как это представлено на рис. 45.

Как показали результаты эксплуатации, истирания труб в нижней открытой части зажимающей решетки, где происходит активное горение, совершенно не наблюдается. Поэтому толщина стенок труб должна выбираться только исходя из условия возможности приварки поперечных шипов.

Таблица 6

Соотношения размеров зажимающей решетки

Наружный диаметр труб	$d$	38	51	60	83
Шаг труб . . . . .	$s$	60	90	90	120
Диаметр шипов . . . . .	$d_0$	—	12	12	14
Высота шипов . . . . .	$h_0$	—	18	18	22
Шаг шипов . . . . .	$s_0$	—	60	60	70
Ширина щели . . . . .	$\delta$	22	39	30	37
Живое сечение решетки . . . . .	$\omega_0$	37	39	39	27

Применение малого диаметра труб  $d = 38/32$  мм позволяет освободиться от приварки шипов, что значительно упрощает изготовление топки и повышает ее надежность. Желательно применять зажимающую решетку из тонкостенных труб малого диаметра во всех случаях, когда это допустимо по условиям циркуляции и качества котловой воды.

Зажимающая решетка может выполняться либо в виде самостоятельного циркуляционного контура с независимыми коллекторами, либо входить в общую систему экранов или кипяточных труб котла.

В котлах с принудительной циркуляцией возможно выполнение зажимающей решетки из горизонтальных труб.

Следует заметить, что тепловосприятие труб зажимающей решетки со стороны слоя оказывается относительно небольшим и обычно колеблется в пределах  $40 \div 80 \cdot 10^3$  кал/ч/м<sup>2</sup> площади проекции зажимающей решетки. Это объясняется тем, что слой щепы и угля, непосредственно примыкающий к трубам, довольно сильно охлаждается и играет защитную роль, что позволяет подходить к зажимающей решетке с теми же требованиями, что и к обычным экранным поверхностям.

При проектировании топки следует обращать особое внимание на предупреждение дымления через верхнюю часть шахты. Для этого нужно соблюдать условия бесперебойного опускания щепы по топливным рукавам. Во всех случаях желательно применение коленчатых рукавов (рис. 23). Данных для расчета

и выбора конструктивных форм коленчатых рукавов привести пока нельзя. Поэтому при проектировании таких рукавов необходимо руководствоваться следующими общими соображениями.

1. Углы наклона прямых колен не должны быть слишком малы или велики. Их следует принимать ориентировочно в пределах  $55 - 70^\circ$ . Углы наклона обратных колен лучше не делать менее  $70^\circ$ .

2. Переход от широкого сечения топливного бункера к узкому сечению шахты должен изменяться постепенно от колена к колену, при примерно равных отношениях ширины предыдущего колена к последующему.

3. Сужающихся колен желательно избегать, во всяком случае не следует допускать сужения одновременно по двум направлениям.

Ширина топливного рукава по фронту не должна быть уже ширины шахты более чем по 200 мм на сторону. Весьма полезно скашивать нижние двугранные углы топливных рукавов приваркой наклонных полос. Это позволит избежать задержек движения щепы.

4. Для прекращения подачи щепы в шахту необходимо применять штыковой затвор из отдельных ломиков, закрываемых вручную по отдельности. Затвор желательно устанавливать возможно ниже для уменьшения запаса щепы в шахтах.

Нет необходимости усложнять или механизировать этот затвор, так как им пользоваться приходится очень редко. Ломики должны иметь диаметр 20 мм и шаг 100—120 мм. Они должны обязательно выполняться из стали СТ-4 или СТ-5, а не из торгового железа.

Отсос газов из швель-шахты может производиться либо непосредственно в топочную камеру, за счет имеющегося там разрежения, либо по разомкнутому циклу сушки в газоход за установкой.

Последнюю схему можно применять в тех случаях, когда средне-годовая влажность топлива равна или превышает 45%.

Расчетное понижение влажности топлива в шахте может быть принято:

$$\text{при } W_p = 45 - 50\%; \Delta W_{\text{шахт.}} = 3\%;$$

$$\text{при } W_p = 50 - 60\%; \Delta W_{\text{шахт.}} = 5 - 7\%.$$

Применение эжекторов, как это было сделано в топке ТЭЦ Соликамского бумкомбината (рис. 21), по данным опыта не вызывается необходимостью.

Окна для отсоса газов следует выбирать, исходя из пропуска около 10% общего количества продуктов сгорания топлива, при температуре  $50 - 70^\circ$  и скорости отсоса около 5—8 м/сек.

При разомкнутом цикле газопроводы должны устанавливаться с некоторым уклоном для стекания влаги и смолы, ко-

которые всегда могут выпадать из отсасываемых газов. Необходима установка дренажных трубок, снабженных гидравлическими затворами, а также лазов для очистки.

Кирпичный под в основании топочной камеры может снабжаться рукавом для аварийного выгреба щепы и угольков, но можно обойтись и без рукава, производя аварийный выгреб щепы через фронтной лаз.

Размеры топочной камеры для существующих типов котлов определяются их габаритами. При этом представляется возможным при установке скоростной топки повысить тепловое напряжение топочного объема до  $400 \div 600 \cdot 10^3 \text{ кал/м}^3 \cdot \text{ч}$ . Эти данные не подтверждены опытом, а основаны на наблюдениях над работающими топками, когда топочный факел далеко не заполнял всего объема камеры. Выполненных котлов с подобными тепловыми нагрузками топочного объема пока нет и поэтому их можно принимать лишь при условии правильного выполнения вторичного острого дутья.

Для обеспечения дожигания щепы и угольков, вынесенных через зажимающую решетку, против нее на поду топочной камеры устраивается подвод нижнего вторичного дутья через общую дутьевую щель или ряд отдельных сопел. За счет действия этого дутья достигается абсолютно полное выдувание золы и частиц топлива, которые могли бы оседать на поду топочной камеры. Устройство спускного рукава на поду камеры не вызывается необходимостью. Нужно только предусматривать установку боковых лазов, через которые можно было бы производить удаление угольков и щепы, накапливающихся при аварийной остановке вентилятора.

Это позволяет располагать под топочной камеры на уровне пола зольного помещения (без подвала), что значительно сокращает высоту котельного агрегата.

Расстояние по горизонтали от сопел нижнего дутья до зажимающей решетки желательно делать не более  $2 \div 2,2 \text{ м}$ . Расчетная скорость выхода воздуха при нормальной нагрузке около  $30 \text{ м/сек}$ . Крайне желательно устройство верхнего вторичного дутья в таком виде, как это показано на рис. 45. Совершенно обязательна надежная защита дутьевого короба и сопел, которые подвергаются двойному воздействию пламени как со стороны топочной камеры, так и со стороны шахты в периоды дожигания топлива, находящегося в ней, при преднамеренной длительной остановке котла или в моменты упуска топлива из рукавов.

Сопла верхнего вторичного дутья желательно размещать возможно ниже и ближе к открытой части зажимающей решетки. Скорость выхода воздуха из сопел  $15 \div 30 \text{ м/сек}$ .

Расчетное распределение воздуха может быть принято следующим:

общий коэффициент избытка воздуха в топке  $\alpha_T = 1,15$ ;

количество воздуха, подаваемого к слою, определяется величиной  $\alpha_{сл} = 0,8 \div 0,9$ ;

количество нижнего вторичного дутья  $\alpha_{низ} = 0,2 \div 0,25$ ;

количество верхнего дутья  $\alpha_{верх} = 0 \div 0,15$ .

Для возможности полного прекращения подачи воздуха при остановке топки необходимо устанавливать плотные шиберы на воздухопроводах, подводящих основной воздух в шахту. Остальные шиберы могут выполняться как дросельные задвижки.

Температура подогрева дутья определяется соображениями компоновки всего котельного агрегата. Конструкция топки не налагает ограничений на величину подогрева воздуха. Работа на холодном воздухе также возможна при влажности топлива до  $W_p = 60\%$ .

Расчетные потери тепла от химической и механической неполноты горения могут быть приняты:

для нормальной нагрузки  $q_3 + q_4 = 2\%$ ;

для максимальной нагрузки  $q_3 + q_4 = 3\%$ .

Во всех случаях применения скоростной топки для сжигания древесной щепы и отходов желательно применять экранные трубы, расположенные в топочной камере в виде радиационного пучка так, как это сделано для топки котла № 2 ТЭЦ Сегежского комбината (рис. 26 и 28). При этом в большинстве случаев, даже при мощных котлах и высоких тепловых напряжениях топочного объема, удается обойтись без боковых экранов, собирая все радиационные поверхности в один-два коллектора. Достигаемое при этом значительное сокращение числа лючков и проходов труб через кладку заметно повышает надежность котла.

Кроме того, резко улучшается соотношение между эффективной и строительной поверхностями нагрева, что вместе с уменьшением количества коллекторов дает весьма ощутительную экономию на металле и стоимости постройки котла.

При расчете радиационного пучка нужно руководствоваться следующим.

Температура газов на выходе из топки определяется по методу ЦКТИ [12] с учетом новых уточненных значений коэффициентов по последней работе Гурвича и Кендысь [13]

$$\Theta = \frac{Bo_T^{0,6}}{1 + Bo_T^{0,6}}, \quad (1)$$

где

$$\Theta = \frac{T_0}{T_T} \text{ — безразмерная температура на выходе из топки,}$$

равная отношению абсолютной температуры газов, покидающих топку в  $K^\circ$ , и теоретической абсолютной температуре сгорания топлива в топочной камере  $T_T$  в  $K^\circ$ ;

$Bo_T$  — критерий Больцмана для топки, рассчитываемый по формуле

$$Bo = \frac{B \Sigma \overline{VC}}{4,96 \cdot 10^{-8} \varepsilon H_p T_T^3 (1-\xi)}, \quad (2)$$

где

$B$  — часовой расход топлива в кг;  $\Sigma \overline{VC}$  — средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива, выходящих в топочную камеру (за вычетом части газов, отбираемых в шахте при работе по разомкнутому циклу сушки).

Эта величина определяется соотношением

$$\Sigma \overline{VC} = \frac{(\Sigma VCt)_T - (\Sigma VCt)_0}{T_T - T_0} \text{ (ккал/кг град.)}, \quad (3)$$

где

$(\Sigma VCt)_T$  — теплосодержание в ккал продуктов сгорания 1 кг топлива при температуре газов и избытке воздуха в выходном сечении топки;  $(\Sigma VCt)_0$  — теплосодержание в ккал продуктов сгорания 1 кг топлива при теоретической температуре сгорания в топочной камере и избытке воздуха в выходном сечении топки.

При расчете этой величины следует учитывать возможный отбор части продуктов сгорания и влаги топлива в шахте при разомкнутом цикле сушки, а также отдачу тепла от слоя к зажимающей решетке, непосредственно прилегающей к нему. В этом случае

$$(\Sigma VCt)_T = Q_p'' + Q_b - Q_{раз.ц} - Q_{з.р} - Q_{з+4}, \quad (4)$$

где

$Q_p''$  ккал/кг — низшая рабочая теплотворная способность топлива; при влажности топлива  $W_p^c = W_p - \Delta W^c$  и  $V$  — объем продуктов горения 1 кг топлива с влажностью  $W_p^c$ ;

$Q_b = a_T L_{мин} C_b t_b$  (ккал/кг) — тепло воздуха, вносимое в топку на 1 кг топлива при избытке на выходе из топки  $a_T$ , теоретически необходимом количестве  $L_{мин}$  (нм<sup>3</sup>/кг) теплоемкости  $C_b$  (ккал/нм<sup>3</sup>°C) и средней температуре воздуха при входе в топку  $t_b$  (°C);

$Q_{раз.ц} = (\Sigma VCt)$  (ккал/кг) — теплосодержание продуктов сгорания, отбираемых из шахты топки при разомкнутом цикле;

$Q_{з.р}$  (ккал/кг) — тепло, непосредственно отдаваемое слоем топлива к зажимающей решетке, определяемое по формуле

$$Q_{з.р} = \frac{q_{з.р} H_{з.р}}{B},$$

где

$q_{з.р}$  (ккал/м<sup>2</sup>ч) — удельное тепловосприятие 1 м<sup>2</sup> проекции зажимающей решетки. (Эту величину можно оценить значениями порядка  $q_{з.р} = (40 \div 80) 10^3$  ккал/м<sup>2</sup>ч);

$H_{з.р}$  (м<sup>2</sup>) — площадь проекции зажимающей решетки, непосредственно прилегающей к слою и не защищенной плитами;

$Q_{з+4}$  (ккал/кг) =  $q_{з+4} Q_p''$  — потери тепла с химическим и механическими недожогами.

Теоретическую абсолютную температуру сгорания топлива в топочной камере определяют также из аналогичного выражения

$$T_T = \frac{Q_p'' + Q_b - Q_{раз.ц} - Q_{з.р} - Q_{з+4}}{(\Sigma VC)_T} + 273^\circ \text{K}. \quad (4a)$$

В значение объема газов, входящих в сумму произведений  $(\Sigma VC)$ , входят только газы, выходящие из слоя в топочный объем за вычетом газов разомкнутого цикла. Остальные величины, входящие в формулу (2):

$H_p$  (м<sup>2</sup>) — эффективная радиационная поверхность нагрева, определяется как сумма эффективной радиационной поверхности экранов (вычисляемая обычным способом) и полной поверхности труб радиационного пучка, вынесенных в топочный объем и омываемых и облучаемых факелом по всей окружности  $H_p = H_{экр} + H_{рад.пуч}$ ,

$\xi$  — коэффициент, учитывающий обратное излучение радиационных поверхностей. При температурах радиационных поверхностей из голых, гладких труб, не превышающих 300°, эта величина может быть принята равной нулю;

$4,96 \cdot 10^{-8}$  — коэффициент излучения абсолютно черного тела в ккал/м<sup>2</sup>ч град.<sup>4</sup> и

$\varepsilon$  — условная степень черноты топки, отнесенная к теоретической температуре сгорания в топочной камере и рассчитываемая по формуле

$$\varepsilon = \frac{m \times}{1 + \frac{1-a}{a} \phi \times}, \quad (5)$$

где

$m = 0,2$  — опытный коэффициент;  $a$  — степень черноты пламени для топки данного размера;  $\times$  — коэффициент, учитывающий загрязнение радиационных поверхностей золой и сажей.

Для работы на древесном топливе, при отсутствии длительных периодов работы на малых нагрузках этот коэффициент может быть принят  $\kappa = 1$ , а при возможном наличии таких периодов его значение следует снижать до  $\kappa = 0,95$ , как и для других слоевых топок,  $\psi$  — степень экранирования топki, определяемая как отношение суммарной эффективной радиационной поверхности к суммарной поверхности всех ограждений топочной камеры (поверхности всех стен  $F_{ст}$  и поверхности труб радиационного пучка).

$$\psi = \frac{H_{экр} + H_{рад. пуч}}{F_{ст} + H_{рад. пуч}} \quad (6)$$

Степень черноты пламени  $a$  для радиационного пучка даже при относительно больших общих размерах топочной камеры до  $V_T = 60 \text{ м}^3$ , в связи с загромождением ее объема трубами, должна определяться по формуле

$$a = a_0 (1 - l^{-\kappa p l}), \quad (7)$$

где

$a_0$  — степень черноты бесконечно толстых слоев пламени (для пламени факела древесного топлива в скоростной топке можно принимать значения  $a_0 = 0,55$ );

$p$  — давление в топочной камере в  $\text{атм}$ ;

$l$  — средняя толщина излучающего слоя газов — находится по формулам для межтрубного излучения, представленным в нормах теплового расчета котельного агрегата ЦКТИ,

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } 3,0 < \frac{s_1 + s_2}{d} < 7,0; \frac{l}{d} = 1,87 \frac{s_1 + s_2}{d} - 4,1 \text{ (м)} \\ \text{при } 7,0 < \frac{s_1 + s_2}{d} < 13,0; \frac{l}{d} = 2,82 \frac{s_1 + s_2}{d} - 10,6 \text{ (м)} \end{array} \right\} \quad (8)$$

Здесь  $s_1$  и  $s_2$  — шаги труб по ширине и глубине пучка и  $d$  — диаметр труб в метрах.

Величина коэффициента ослабления лучей в пламени ориентировочно может быть принята  $k = 1,3$ , как получившаяся одинаковой для резко отличных топлив (мазут и доменный газ).

Расчет прямой отдачи в скоростной топке был проведен по вышеприведенной методике для топок с радиационным пучком и без него. Результаты эксплуатации дали вполне удовлетворительное совпадение расчетных температур по котлоагрегату с действительными. Поэтому, несмотря на отсутствие пока непо-

средственных измерений температур на выходе из топki, можно руководствоваться вышеизложенными рекомендациями как базирующимися на рациональных соображениях и в общем подтвержденными практикой.

При проектировании радиационного пучка желательно применять большие шаги между трубами  $s_1$  и  $s_2$  во избежание чрезмерного местного переохлаждения отдельных участков факела, особенно при понижении нагрузки топki. В выполненных и запроектированных установках значения  $s_1$  принимались от 360 до 540 мм и  $s_2 = 450-600$  мм при трубах  $\varnothing 51$  и 60 мм.

Часть топочного объема непосредственно за зажимающей решеткой желательно не загромождать трубами радиационного пучка, чтобы оставить свободный объем для встречи основного факела газов, выходящего через зажимающую решетку, со струями нижнего и верхнего вторичного дутья, и обеспечить условия для дожигания частиц топлива и угольков, вынесенных через зажимающую решетку. Глубину этого свободного объема желательно принимать не менее 2 м. Высоту — до сопел верхнего вторичного дутья около 2 ÷ 3 м.

Так как наличие факела в топке исключает возможность хлопков и взрывов, то установки взрывных клапанов в шахтах или на стенках топочной камеры не требуется.

Число гляделок в топочной камере должно быть сокращено до минимума, определяемого только необходимостью обдувки.

На потолке шахты необходимо оставлять шуровочные окна. Такие же окна нужно иметь на топливных рукавах. Для предохранения от проникновения горения в верхнюю часть шахты в периоды работы на особо сухом топливе, а также для заливки слоя топлива при остановках котла, в верхней части шахт необходимо устанавливать трубки для противопожарной заливки слоя топлива.

Эти трубки следует располагать горизонтально по всей ширине шахты. Отверстия для выхода воды должны располагаться на верхней полуокружности труб с целью обеспечения ее равномерного распределения по ширине шахт. Вентиль противопожарной заливки должен находиться у рабочего места кочегара.

**Топки для отходов лесопиления.** Для котлов малой мощности — до 3 т/ч, работающих на отходах лесопиления (опилки, горбыли, рейки и т. п.) и питающихся неочищенной водой, целесообразно устройство выносной топki скоростного горения по схеме, представленной на рис. 43.

Установка зажимающей решетки из охлаждаемых водой труб не обязательна. В этом случае она может быть выполнена в виде решетки из огнеупорного кирпича, поставленного на ребро и перекрытого горизонтальными рядами в перевязку, как это показано на рис. 35. Опыт эксплуатации такой топki в Лисинском леспромпхозе показал надежность работы кирпичной зажимающей решетки при сжигании опилок, корья и обрезков. Одновременно этот же опыт позволил сделать выводы о недопустимости ра-

боты топки с кирпичной зажимающей решеткой на дровах, так как при неаккуратной загрузке поленьев решетка через три-четыре месяца полностью разрушается.

Размеры щелей решетки при кладке из кирпича  $230 \times 115 \times 65$  мм оказываются равными  $50 \times 118$  при живом сечении  $28\%$ . Такая решетка вполне обеспечивает устойчивое залегание слоя опилок при проверенных тепловых нагрузках зеркала горения до  $1,5 \times 10^6$  кал/м<sup>2</sup>ч, причем, очевидно, возможно и дальнейшее повышение нагрузки.

Толщину слоя топлива в пережиме при работе топки без дутья при малых форсировках желательно иметь до 250 мм. При установке вентилятора ее целесообразно увеличить до 300 мм.

Что касается топок для сжигания высоковлажных дров, то пока еще имеется слишком мало данных для установления оптимальных соотношений. Для котлов паропроизводительностью до 3–5 т/ч можно применять топки по типу паровой, представленной на рис. 38, 5 и 6.

## 11. Обслуживание и эксплуатация

Обслуживание скоростных топок чрезвычайно просто. Для обеспечения надежной, высокопроизводительной и безопасной работы необходимо соблюдать следующие основные условия.

1. Обязательно, чтобы шахты топки всегда были полностью заполнены топливом. Нельзя допускать понижения уровня топлива ниже штыковых затворов. При нормальном уровне топлива в шахте процесс горения топлива в основном идет ниже пережима. Над пережимом происходит только подсушка топлива. Газы, выходящие из шахты, должны содержать минимальное количество горючих и иметь температуру  $40-60^\circ\text{C}$ . Повышение температуры газов в шахте указывает на нарушение нормального процесса и на проникновение очагов горения в шахту. В этом случае необходимо ручное вмешательство для опускания слоя и заполнения шахты топливом. Кочегар должен следить за температурой газов, выходящих из шахты, и за ходом оползания топлива по рукавам и шахте.

2. Регулирование производительности котла достигается только изменением количества воздуха, подводимого к слою. Органами управления топкой являются шиберы или направляющие аппараты вентилятора и дымососа. Следует помнить, что тепловая инерция скоростной топки весьма мала, особенно при высокой степени экранирования топочных стен, а тем более при наличии радиационного пучка. Поэтому изменение нагрузки котла и изменение количества дутьевого воздуха, подводимого к слою, должны следовать друг за другом с минимальным отставанием во времени.

3. Разрежение в топочной камере всегда нужно поддерживать возможно меньшим. Желательно даже работать при некотором давлении в топке, однако, не допуская дымления из

шахт. Следует помнить, что в топочную камеру через зажимающую решетку всегда при любых нагрузках выходит раскаленный факел горящего газа более или менее одинакового состава. Поэтому можно совсем не опасаться хлопков в топочной камере, что позволяет поддерживать минимальное разрежение в топке и значительно уменьшать присос воздуха в топку. Разрежение в верхней части шахты должно поддерживаться возможно меньшим. Желательно, чтобы оно держалось в пределах 0–1 мм. В том случае, если при этом режиме шахты начинают дымить, необходимо сузить пережим в шахте, сократить толщину слоя и тем самым уменьшить количество газов, идущих в шахты.

4. Соотношение между количеством первичного воздуха, подводимого к слою, и вторичного нижнего и верхнего дутья должно устанавливаться при наладке котла по показаниям газоанализатора. Вполне возможно получить содержание  $\text{CO}_2$  в топке  $17-18\%$  без опасений появления химического недожога. Желательно при наладке установить оптимальное положение шиберов на отдельных дутьевых коробах и, не трогая их при эксплуатации, регулировать котел только путем изменения общего количества воздуха. Количество нижнего вторичного дутья должно быть достаточным для полного вздымания всех угольков с пода топки. Если это условие вызывает ненужный рост избытка воздуха, необходимо повысить выходные скорости воздуха, уменьшив сечение сопел.

5. Котел со скоростной топкой на древесном топливе может работать в диапазоне нагрузок от 0 до  $100\%$ . Необходимо только помнить о возможности отложений смолы и сажи на хвостовых поверхностях нагрева при длительной работе на очень малых нагрузках. Нужен постоянный и весьма тщательный надзор за температурой отходящих газов за котлом, не допускающий чрезмерного ее понижения. Весьма важно при работе на малых нагрузках производить регулярную и тщательную обдувку водяного экономайзера и воздухоподогревателя.

6. При кратковременном и почти полном сбросе нагрузки котла необходимо полностью прикрыть дутье и тягу. Важно обеспечить полное прекращение подачи воздуха к слою. Прекращать подачу топлива в шахту нет необходимости. За все время пребывания котла в горячем резерве шахты топки должны быть заполнены топливом.

7. При остановке котла необходимо почти полностью прикрыть дутье и тягу, а затем отсечь топливо ломиками. Топливо, оставшееся в шахте, необходимо постепенно выжечь до конца. Во время выжигания происходит наибольший нагрев верха шахт. Поэтому нужно следить, чтобы выжиг топлива происходил с минимальной интенсивностью. Весьма полезно, по мере опускания слоя в шахте, несколько раз смочить его водой из труб противопожарной заливки.

8. При необходимости аварийной остановки котла нужно полностью закрыть дутье, а затем прикрыть тягу. Для уско-

рения потухания топлива, оставшегося в шахтах, нужно несколько раз залить его водой. Ломики, отсекающие топливо, необходимо поставить сразу же, как это представится возможным в аварийной обстановке. После прекращения горения топлива, оставшееся в шахтах, необходимо удалить через нижний люк или фронттовую дверцу.

9. Растопка топки производится со стороны фронттовой дверки при обязательно полностью заполненной топливом шахте. Для предупреждения легких хлопков, которые могут получиться в топочной камере, полезно разложить по поду топки у решетки небольшой костер из дров. Дутье к слою можно подавать практически сразу после разведения огня.

10. В остальном обслуживание котельного агрегата со скоростью топкой не отличается от обычного.

11. Непрерывная эксплуатация топки может производиться до тех пор, пока слой золы и шлака, накапливающийся в шахте, не достигнет такой высоты, которая будет приводить к заметному понижению паропроизводительности агрегата. При периодических остановках топки, обычно приурочиваемых к планово-предупредительному ремонту котла, необходимо очистить шахты, под и стены топочной камеры от золы и шлака и, в случае необходимости, произвести их ремонт.

Необходимо следить за состоянием труб зажимающей решетки. Если обнаружено заметное истирание труб топливом, то места, подверженные истиранию, должны быть защищены либо навеской чугунных плиток, либо установкой защитных пластин. Следует периодически проверять плотность шиберов, затворов, лазов и особенно фронттовой дверки и затвора люка в нижней части шахты, а также систематически следить за скоплением смолы в газопроводах от шахты при разомкнутом цикле и прочищать дренажные трубы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Померанцев В. В., Сверхмощная слоевая топка, „Советское котлотурбостроение“, 1936, № 10.
2. Научно-технический отчет ЦКТИ за 1936 г., изд. ОБТИ Главкотлотурбопрома, 1937, стр. 117.
3. Сверхмощная слоевая топка-генератора, „Рабочее изобретательство в энергомашиностроении“, изд. Госконторы справочников и каталогов Наркоммаша, 1938, стр. 29.
4. Померанцев В. В., Топка с искусственно повышенной устойчивостью слоя, „Советское котлотурбостроение“, 1940, № 7.
5. Скоростное сжигание топлив, Информационное письмо ИП-8 ОБТИ Главкотлотурбопрома, 1940.
6. Иванов Г. И., Померанцев В. В., Теренкаль В. Р., Скоростная топка ЦКТИ — опыт освоения и типовая конструкция для сжигания древесной щепы и отходов, Информационное письмо Уральского отделения ЦКТИ № 21, Машгиз, 1944.
7. Хитрин Л. Н., Колодцев Х. И. и др., Опыты по исследованию скоростной газификации слоя топлива, — опыты на древесном угле 1940—1941, отчеты ВТИ.
8. Померанцев В. В., Стернин Б. Б., Топка скоростного горения для ТЭЦ Сегежского комбината, „Котлотурбостроение“, 1949, № 1.
9. Каганов А. М., Судовая топка скоростного горения для высоковлажных дров, „Речной транспорт“, 1948, № 3.
10. Каган С. М., Характеристика движения газов сквозь слой сыпучих материалов, „За новое советское энергооборудование“, сборник статей молодых специалистов ЦКТИ, изд. ОБТИ Главкотлотурбопрома, 1939.
11. Сильницкий А. К., Местные топлива в мелких промышленных топках. Лениздат, 1946, стр. 130.
12. Нормы теплового расчета котельного агрегата, Машгиз, 1945.
13. Гурвич А. М. и Кендысь П. Н., Новые данные по теплопередаче в топках паровых котлов, „Котлотурбостроение“, 1948, № 3.
14. Исследование процессов горения натурального топлива. Под редакцией проф. Г. Ф. Кнорре, Госэнергоиздат, 1948.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
<i>Глава I. Проверка основных положений работы топки</i>	
1. Испытания на моделях . . . . .	7
2. Опыты на станде . . . . .	9
<i>Глава II. Промышленные топки скоростного горения для древесной щепы, отходов и дров</i>	
3. Первая топка . . . . .	19
4. Вторая топка . . . . .	20
5. Третья топка . . . . .	39
6. Топка для древесных отходов . . . . .	46
7. Топка для сжигания высоковлажных дров . . . . .	49
<i>Глава III. Итоги освоения скоростных топок на древесном топливе и перспективы их применения</i>	
8. Результаты работы . . . . .	55
9. Перспективы применения . . . . .	56
<i>Глава IV. Руководящие указания для проектирования и обслуживания топок скоростного горения</i>	
10. Расчет и проектирование . . . . .	59
11. Обслуживание и эксплуатация . . . . .	70
Литература . . . . .	73

Технический редактор *Е. А. Длугоканская*

Корректор *Е. С. Кушлю*

Подписано к печати 14/ХII 1948 г. М-33058. Печ. лист. 4<sup>3</sup>/<sub>4</sub>. Уч.-изд. лист. 5,65.

Тираж 1200 экз. Заказ № 2463

Типография „Профинтерн“, Ленинград, пр. Римского-Корсакова, 87

## ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МАШГИЗ

Москва, Третьяковский проезд, 1

### ЛИТЕРАТУРА ПО ВОПРОСАМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Гельфенбейн С. Х., **Газовые турбины (Библиография)**, 1946, 24 стр., 2 р. 50 к.

Аннотированное библиографическое описание свыше 200 наименований руководящих и наиболее ценных статей, появившихся за последние 10 лет в мировой технической литературе.

Для инженеров и конструкторов, работающих в области газотурбостроения, и студентов энергетических вузов.

Дешкин В. Н., **Методика испытания и исследования котельных установок**, 1947, 315 стр., 30 руб. в пер.

Методика постановки, организации и проведения испытаний котлоагрегатов в целом и отдельных элементов котла.

Для инженерно-технических работников котлотурбостроения и студентов энергетических вузов.

Динерман А. П., **Статическая и динамическая балансировка роторов турбин**, 1946, 100 стр., 7 руб.

Описание и анализ современных методов балансировки вращающихся частей мощных турбин. Конструкции балансировочных устройств, станков и аппаратов и правила пользования ими.

Для инженеров, техников и мастеров, работающих в области производства и эксплуатации паровых турбин.

Кантор С. А., **Регулирование турбомашин**, 1946, 200 стр., 12 руб. в пер.

Обзор исполненных и принципиально возможных схем регулирования и подробный материал о предельном регулировании турбомашин.

Для инженерно-технических работников энергетической промышленности.

Карабин А. И., **Пути экономии сжатого воздуха, Рационализация выработки и потребления**, 1947, 106 стр., 8 р. 50 к.

Мероприятия по увеличению производительности и экономичности компрессоров, уменьшению утечек и непроизводительных расходов сжатого воздуха.

Для инженерно-технических работников, занимающихся эксплуатацией сжатого воздуха.

Кац А. М., **Расчет, конструкция и испытания воздуходувок типа РУТС**, 1946, 159 стр., 8 руб.

Методы расчета, описание конструкций и результаты испытаний воздуходувок (по материалам технической литературы и на основе самостоятельных исследований автора).

Для конструкторов и инженеров-производственников.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

**М А Ш Г И З**

Москва, Третьяковский проезд, 1

**ЛИТЕРАТУРА  
ПО ВОПРОСАМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Карпов В. П., **Основы технической термодинамики**, допущено Министерством высшего образования СССР в качестве учебного пособия для вузов, 1948, 316 стр., 15 р. 70 к. в пер.

Теоретические основы технической термодинамики. Термодинамика газов и паров. Основные термодинамические циклы двигателей. Элементы химической термодинамики.

Для студентов вузов автомобильной специальности и слушателей военных академий.

Кириллов И. И. и Кантор С. А., **Теория и конструкция паровых турбин**, 1947, 307 стр., 60 руб. в пер.

Методика тепловых и механических расчетов, современные принципы конструирования и главные вопросы эксплуатации турбин.

Для инженерно-технических работников турбостроения и студентов вузов.

Корнилов Ю. Г. и Пивень В. Д., **Основы теории автоматического регулирования в применении к теплосиловым установкам**, 1947, 308 стр., 27 руб. в пер.

Основы теории автоматического регулирования агрегатов с одним и несколькими регулируемыми параметрами. Обзор современных конструкций регуляторов и элементов их расчета.

Для инженеров и студентов-энергетиков.

Корсаков В. С., **Технология гидромашиностроения, Водяные турбины, центробежные и поршневые насосы**, 1948, 168 стр., 9 р. 50 к. в пер.

Особенности и новейшие направления в технологии изготовления турбин и насосов применительно к обрабатывающим и сборочным цехам.

Для инженерно-технических работников гидромашиностроения.

**Книги можно приобрести в магазинах Когиза и других  
книготорговых организаций.**

Наложенным платежом книги высылаются по почте (без задатка) областными (краевыми) отделениями Когиза и „Книга-почтой“ Могиза

**МОСКВА, 12, ПРОЕЗД КУЙБЫШЕВА, 8**

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
52	2-я сверху	(рис. 45,5)	(рис. 38,5)	Авт.
53	11-я сверху	(рис. 42,6)	(рис. 38,6)	Авт.
54	Табл. 5, графа 3-я	3,13 = ; 259 =	3,13 ; 259	Тип.
54	„ 3-я	24,7	74,7	Авт.
66	12-я сверху	$(\sum V C t)_T$	$(\sum V C t)_0$	Авт.
66	14-я сверху	$(\sum V C t)_0$	$(\sum V C t)_T$	Авт.
68	Ф-ла (7)	$a = a_0(1 - l^{-kp l})$	$a = a_0(1 - e^{-kp l})$	Авт.

В. В. Померанцев. Зак. 5.

25 FEB 1949