

# ОТОПЛЕНІЕ И ВЕНТИЛЯЦІЯ.

---

П. О. ЕРЧЕНКО.

ПРОФЕССОРЪ КІЕВСКАГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА  
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА II.

---

Часть II.

Центральныя системы отопленія.

---



КІЕВЪ.

Типографія С. В. Кульженко, Пушкинская улица, собственный домъ, № 4.

1910.



## § 35. Центральныя системы отопленія.

Какъ мы видели въ первой части, мѣстные приборы отопленія—печи могутъ довольно хорошо и экономно въ смыслѣ потребленія топлива разрѣшить задачу отопленія. Печи кирпичныя обладаютъ очень большою теплоемкостью, имѣютъ невысокую температуру поверхности и при дровакомъ отопленіи являются какъ въ гигиеническомъ, такъ и экономическомъ отношеніи наилучшимъ приборомъ отопленія для небольшихъ зданій и вообще отдѣльныхъ квартиръ, при условіи, конечно, рациональной конструкціи и хорошаго ухода за ними.

При употребленіи минеральнаго топлива уже часть преимуществъ печей отпадаетъ, такъ какъ примѣненіе этого рода топлива почти всегда сопровождается выдѣленіемъ неприятныхъ и вредныхъ еѣриетыхъ газовъ и отдѣленіемъ угольной пыли. Въ большихъ же зданіяхъ, не раздѣленныхъ на отдѣльныя квартиры, обедуживаніе большого количества печей дѣлается уже затруднительнымъ, что всегда влечетъ за собой пониженіе надзора, а слѣдов., и ухудшеніе качества работы печей. Поэтому въ послѣднемъ случаѣ всегда предпочтительнѣе нѣкоторая централизація отопленія, заключающаяся въ томъ, что отдѣльные источники тепла—топливники сосредоточиваются въ одномъ мѣстѣ, почти всегда внѣ отапливаемаго помѣщенія и развивающееся здѣсь тепло тѣмъ или другимъ способомъ переносится уже въ отапливаемыя помѣщенія. Средствомъ для перенесенія тепла можетъ служить: воздухъ, вода и паръ, и въ зависимости отъ послѣдняго центральное отопленіе можетъ быть разныхъ системъ: воздушное, водяное, паровое отопленіе, а также и смѣшанное.

О достоинствахъ и недостаткахъ каждой изъ этихъ системъ будемъ уже судить впослѣдствіи, когда изучимъ каждую изъ нихъ въ отдѣльности.—Преимущество же вообще центральной системы передъ мѣстной ясно изъ предыдущихъ разсужденій.

Въ послѣдующемъ мы рассмотримъ системы: воздушнаго отопленія, водяного низкаго давленія, парового—и смѣшаннаго. На системахъ водяного отопленія средняго и высокаго давленія, одно время примѣнявшихся а теперь совершенно вышедшихъ изъ употребленія, мы останавливаться не будемъ.

---

## § 36. Система воздушнаго отопленія.

Система воздушнаго отопленія заключается въ томъ, что внизу подъ отопляемымъ помещеніемъ устраивается особая камера, въ которой располагается большая печь, называемая калориферомъ и выходящая своимъ топочнымъ отверстіемъ наружу камеры. Камера вертикальными каналами во внутреннихъ стѣнахъ зданія сообщается съ отопляемымъ помещеніемъ. Воздухъ въ камерѣ, нагрѣваясь отъ стѣнокъ калорифера, поднимается вверхъ по каналамъ и переноситъ пріобрѣтенное тепло въ верхнее помещеніе. Въ камеру же вмѣсто уходящаго теплаго воздуха по особымъ каналамъ снизу поступаетъ холодный и такимъ образомъ устанавливается непрерывный токъ воздуха.

Система эта является самой древнѣйшей изъ всѣхъ центральныхъ системъ и въ первый разъ была устроена еще въ 13-омъ столѣтіи въ Германіи въ Ратушѣ (городской домъ) г. Люнебурга и въ замкѣ Марбургъ. Устройство тогда было такое: въ подвалѣ были устроены большія изразчатая печи и теплый воздухъ проходилъ въ отопляемое помещеніе прямо черезъ отверстія, продѣланныя въ полу. Въ подвалѣ же входилъ наружный воздухъ; обратныхъ каналовъ, а также и вытяжныхъ еще не было. Въ такомъ видѣ устраивалась эта система довольно долго и еще въ 18-мъ столѣтіи по этому образцу было устроено отопленіе въ рабочей комнатѣ Фридриха Великаго въ новомъ дворцѣ въ Потсдамѣ, а также и въ вѣнскомъ Бургъ-театрѣ. Черезъ нѣсколько лѣтъ послѣ этихъ построекъ (въ 1792 г.) начала распространяться такъ называемая англійская система воздушнаго отопленія, гдѣ уже калориферы дѣлались изъ котельнаго желѣза и устраивались уже вытяжные каналы для вывода отработавшаго воздуха наружу.

Первый, кто далъ нѣкоторыя научныя основанія этой системы, былъ профессоръ Вѣскаго Политехникума Мейснеръ, издавшій въ 1821 году книгу: „Отопленіе нагрѣтымъ воздухомъ“. Мейснеръ предложилъ въ этой системѣ устраивать обратные каналы, по которымъ воздухъ, охладившійся въ помещеніи, направлялся опять внизъ для нагрѣванія, чѣмъ достигалось значительное сбереженіе топлива. Калориферы въ то время примѣнялись исключительно желѣзные. Въ такомъ видѣ система получила большое распространеніе и существовала долгое время. Первую теорію этого отопленія далъ капитанъ Брукманъ, установившій зависимость скорости движенія воздуха отъ разности температуръ нагрѣтаго и внѣшняго воздуха и отъ высоты канала.

Въ Россіи эта система отопленія существуетъ издавна и въ сочиненіи, изданномъ еще въ 1795 году, она уже упоминается, при чемъ авторъ этого сочиненія находитъ его очень плохимъ. Система эта устраивалась тогда по старому нѣмецкому образцу — съ кирпичными калориферами. Впослѣдствіи вошла въ употребленіе и англійская система, но въ чистомъ видѣ не могла удержаться вслѣдствіе малой теплоемкости при нашемъ су-

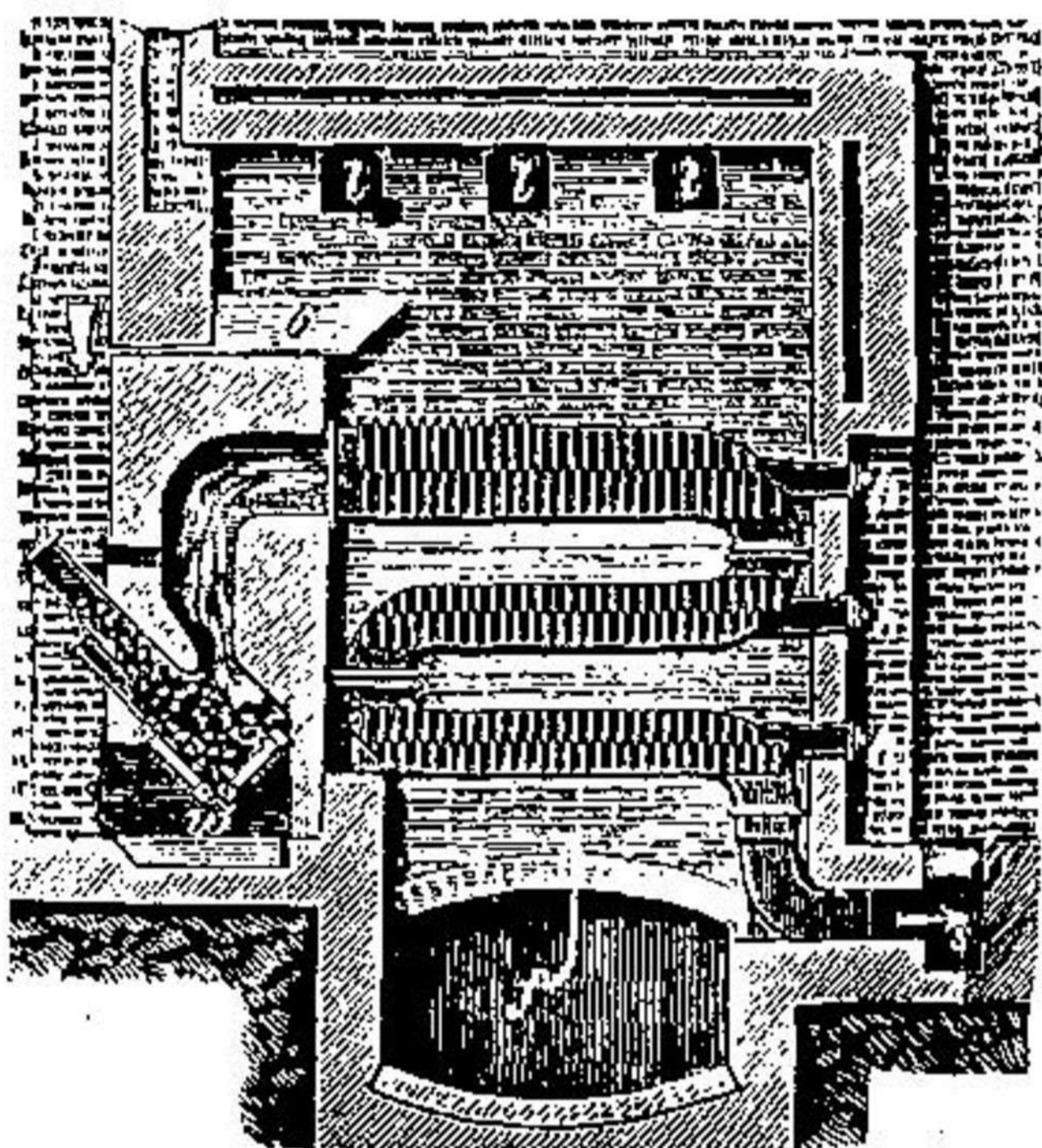
ровомъ климатѣ и въ послѣдствіи генераломъ Аммосовымъ былъ выработанъ типъ смѣшаннаго калорифера съ кирпичнымъ топливникомъ и чугунными или желѣзными дымоходами. Такая система получила у насъ названіе Аммосовскаго отопленія и особенныхъ еимпатій не вызвала, такъ какъ металлические трубы сильно раскаливались и воздухъ поступалъ въ помещеніе сильно испорченнымъ. Другіе конструкторы старались усовершенствовать кирпичные калориферы и послѣ ряда улучшеній произведенныхъ Войничкинымъ, Свѣзевымъ, Флавицкимъ и Лукашевичемъ въ настоящее время кирпичные калорифы достигли значительнаго совершенства и эта система отопленія получила за границей названіе русской системы. Это отопленіе получило наибольшее распространеніе въ 3-й четверти прошлаго столѣтія, но теперь вытѣсняется другими системами, имѣющими много преимуществъ передъ нею.

### § 37. Металлическіе калориферы.

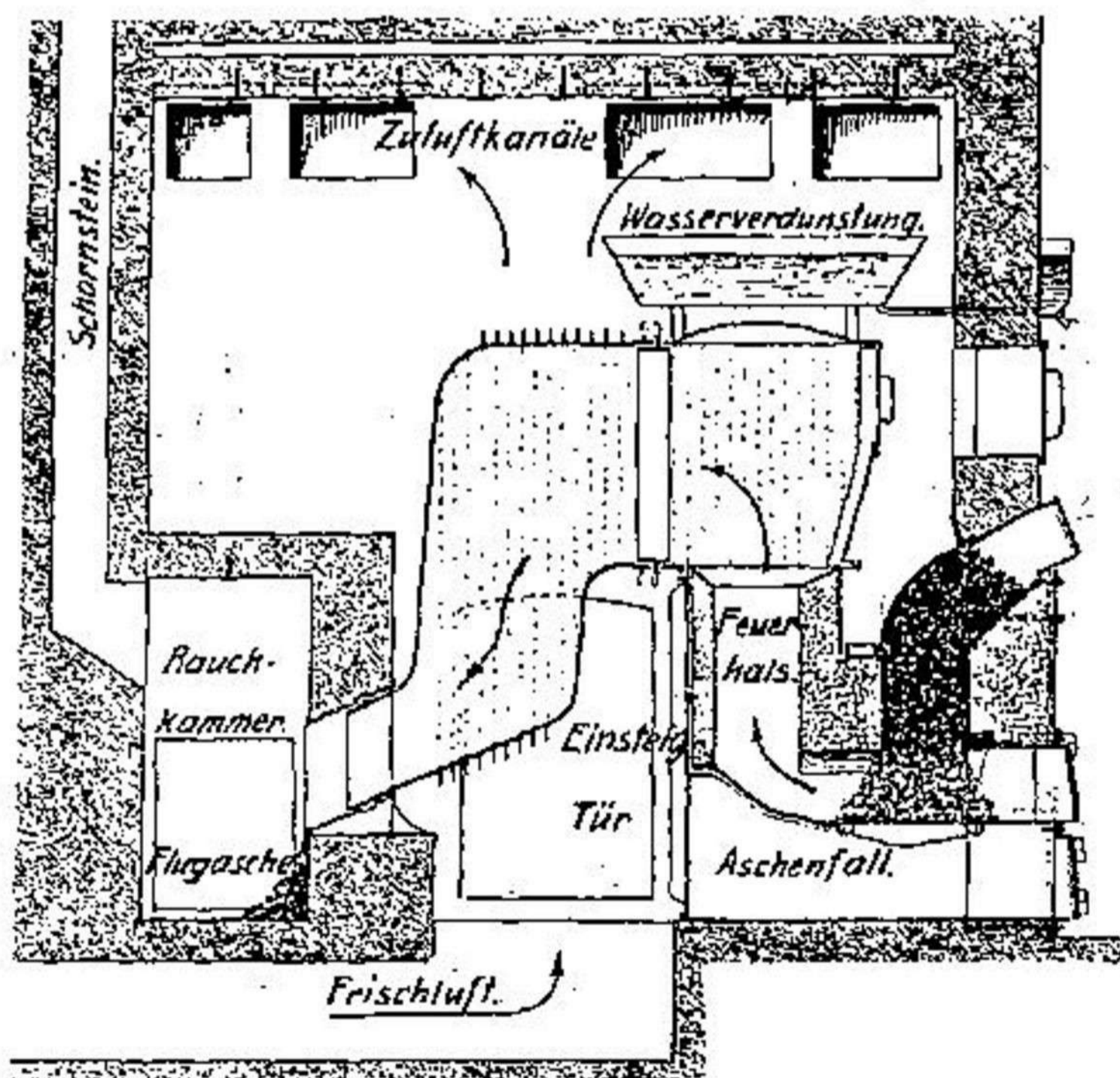
Этого рода калориферы отличаются ничтожною теплоемкостью, а потому для отопленія помещеній постоянно занятыхъ людьми въ нашемъ климатѣ являются непригодными вслѣдствіе большого колебанія температуры въ помещеніи. Но въ нѣкоторыхъ случаяхъ, гдѣ требуется нагрѣть помещеніе на непродолжительное время и при томъ очень скоро, то въ такомъ случаѣ являются пригодными металлические калориферы. Примеромъ такого рода отопленія могутъ служить тѣ церкви, которыя отапливаются только передъ служеніемъ, а въ остальное время стоятъ холодными. При такихъ калориферахъ теплый воздухъ быстро входитъ въ помещеніе и согрѣваетъ его, хотя наружныя стѣны еще долгое время остаются холодными.

По отношенію къ этимъ калориферамъ приложимы все тѣ требованія, какія были указаны въ 1-ой части относительно металлическихъ печей, т. е. должны быть и здѣсь приняты мѣры для достиженія полнаго горѣнія въ топливникѣ и для возможнаго пониженія температуры внѣшней поверхности; поэтому топливникъ въ такихъ калориферахъ долженъ быть выложенъ кирпичемъ или шамотной массой, а внѣшняя поверхность снабжена ребрами. Виды же и расположеніе каналовъ въ этихъ калориферахъ могутъ быть самыми разнообразными. На чер. (44), (45), (46) и (47) представлены различные виды такихъ калориферовъ. Всѣ топливники въ нихъ предназначены для минеральнаго топлива и для дровъ должны быть устроены иначе по образцу указанныхъ ниже кирпичныхъ калориферовъ. Дымоходы обыкновенно устраиваются въ видѣ нѣсколькихъ параллельныхъ вѣтвей, выходящихъ изъ верхней части широкаго вертикальнаго капала. Промежутки между ребрами должны быть около 1", для того чтобы можно было удобно ихъ очищать отъ пыли; для лучшей же очистки стѣнокъ калорифера отъ пыли горизонтальныхъ поверхностей слѣдуетъ, вообще, избѣгать. Для того чтобы не было въ отдаленныхъ углахъ перекаливанія поверхностей.

необходимо принимать мѣры къ возможно лучшему доступу холоднаго воздуха во всѣ мѣста. На этомъ же основаніи желательна, вообще, болѣе или ме-



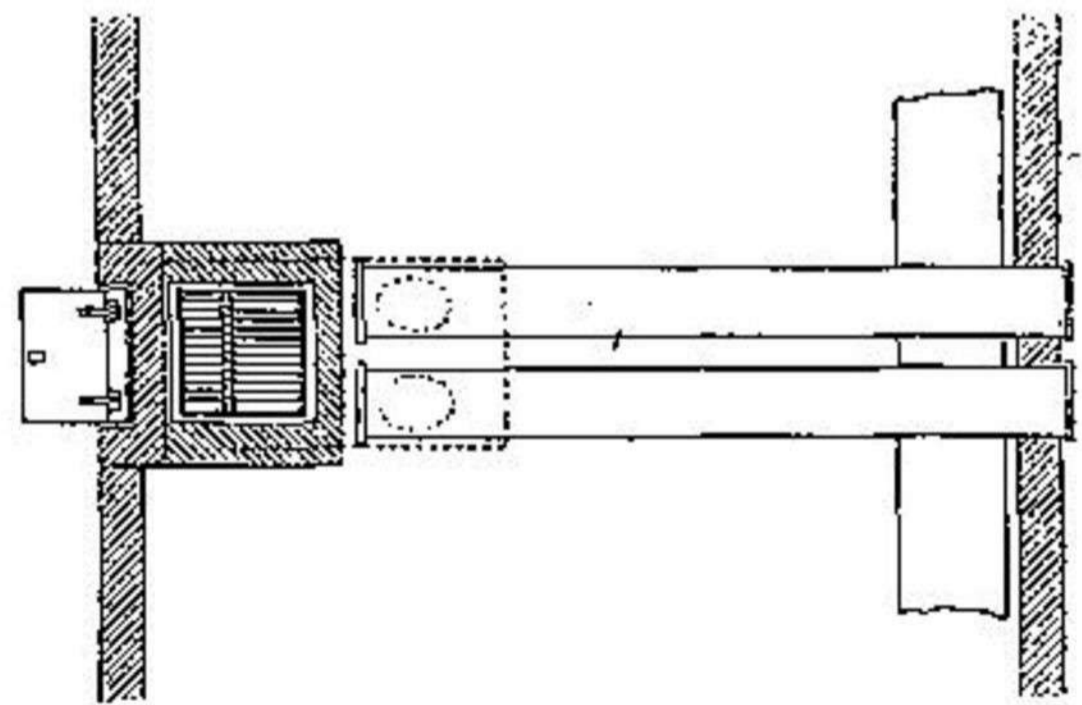
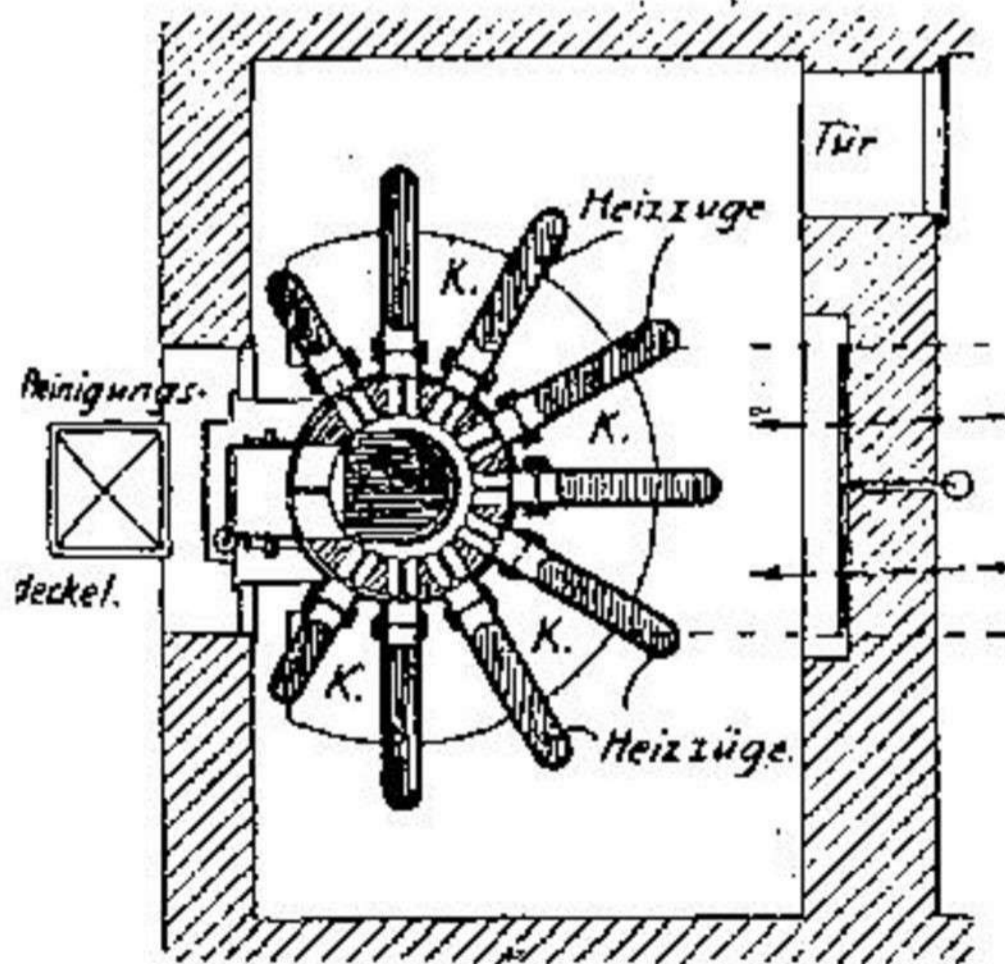
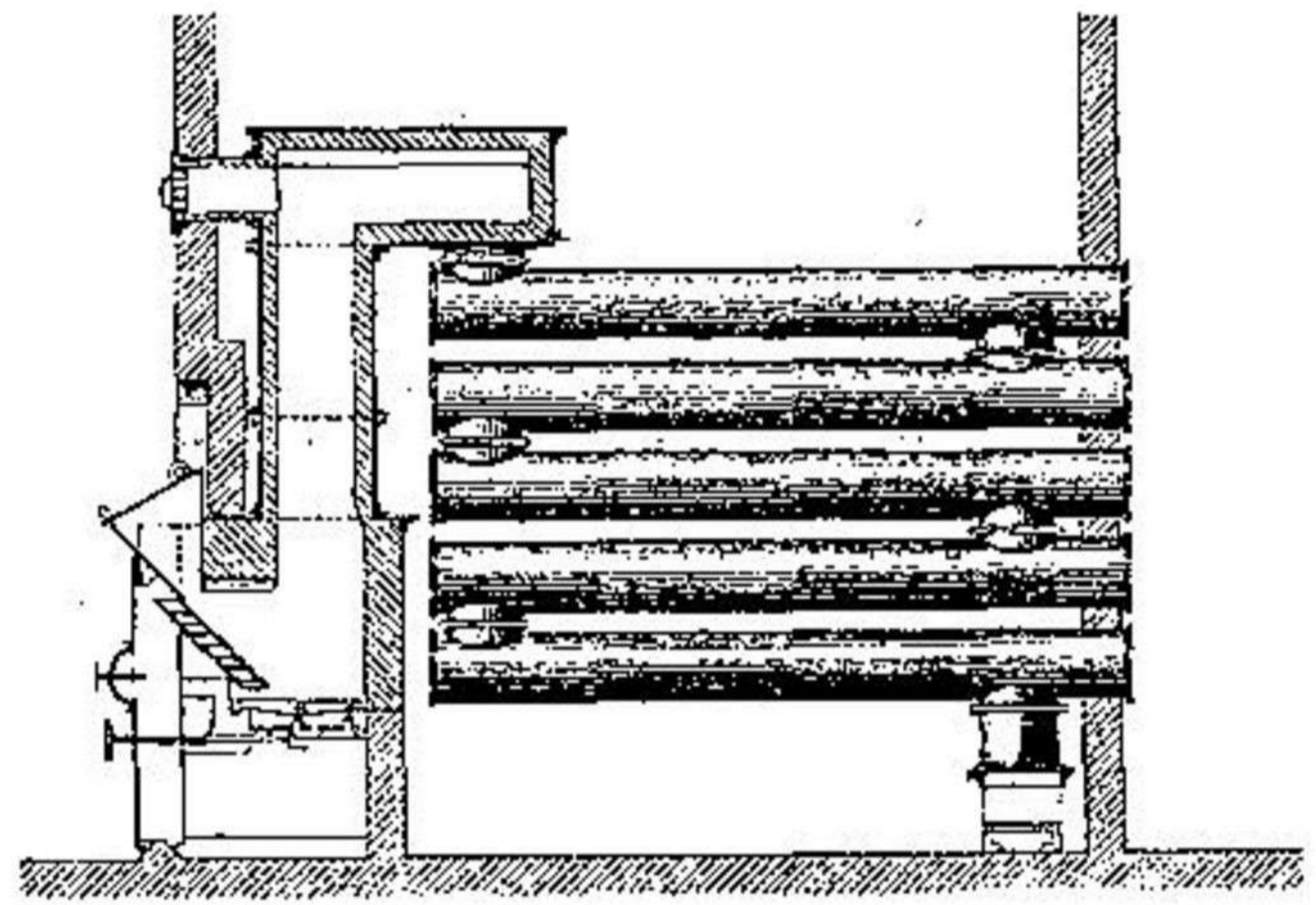
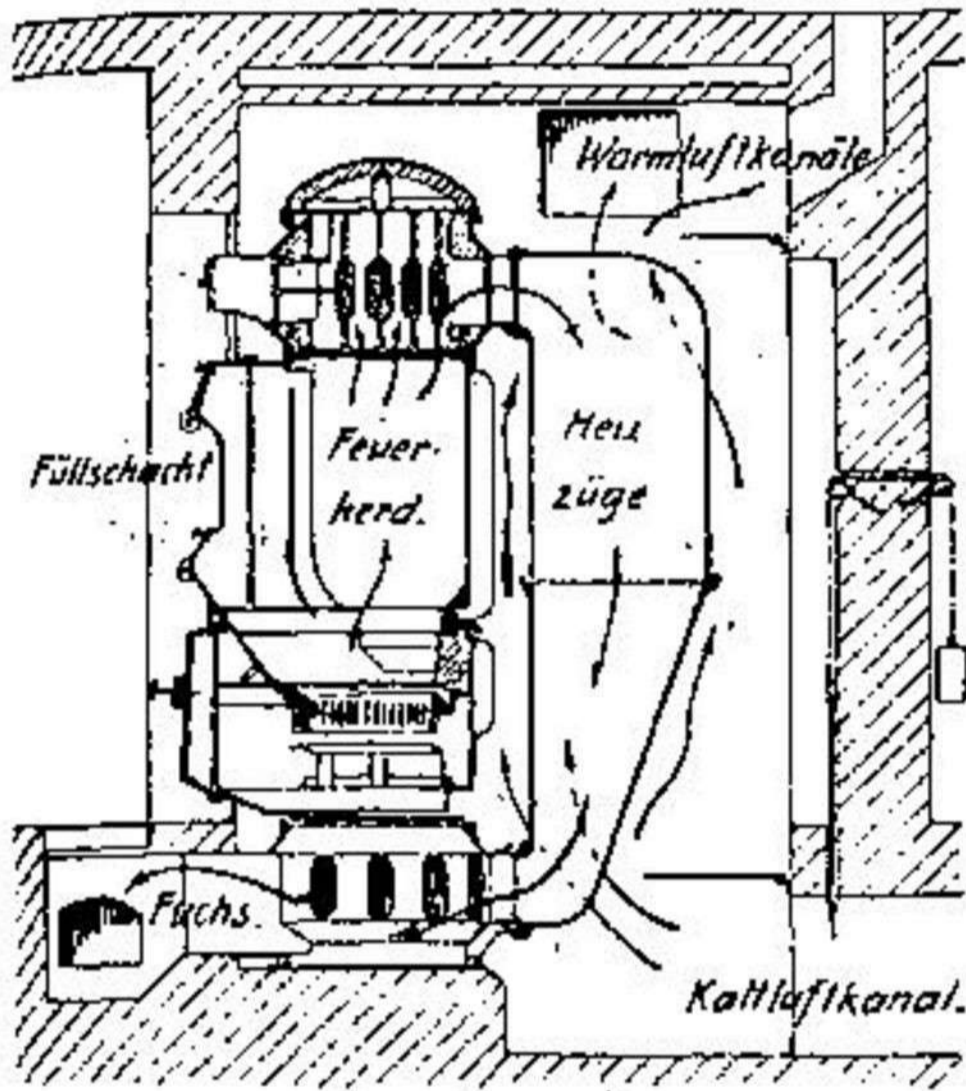
Черт. 44.



Черт. 45.

нѣе значительная скорость воздуха въ камерѣ. При большей скорости возможно устраивать калориферъ изъ гладкихъ трубъ, облегчающихъ содержаніе ихъ въ чистотѣ.

Вслѣдствіе сильваго перегрѣванія стѣнокъ калорифера происходитъ значительное расширеніе ихъ, и поэтому на возможность такого расширенія, а также и на плотность соединеній частей необходимо обратить серьезное вниманіе. При образованіи трещины въ стѣнкахъ калорифера дымовые газы легко переходятъ въ камеру, такъ какъ въ ней вслѣдствіе высокой температуры и длинныхъ вертикальныхъ воздушныхъ или такъ называемыхъ жаровыхъ каналовъ имѣетъ мѣсто значительное разрѣженіе. Вотъ почему въ этомъ отопленіи при образованіи даже небольшихъ трещинъ въ калориферѣ дымъ сейчасъ же проникнетъ въ отапливаемое помѣщеніе. По той же причинѣ отверстія для чистки внутренности калорифера должны



Черт. 46.

Черт. 47.

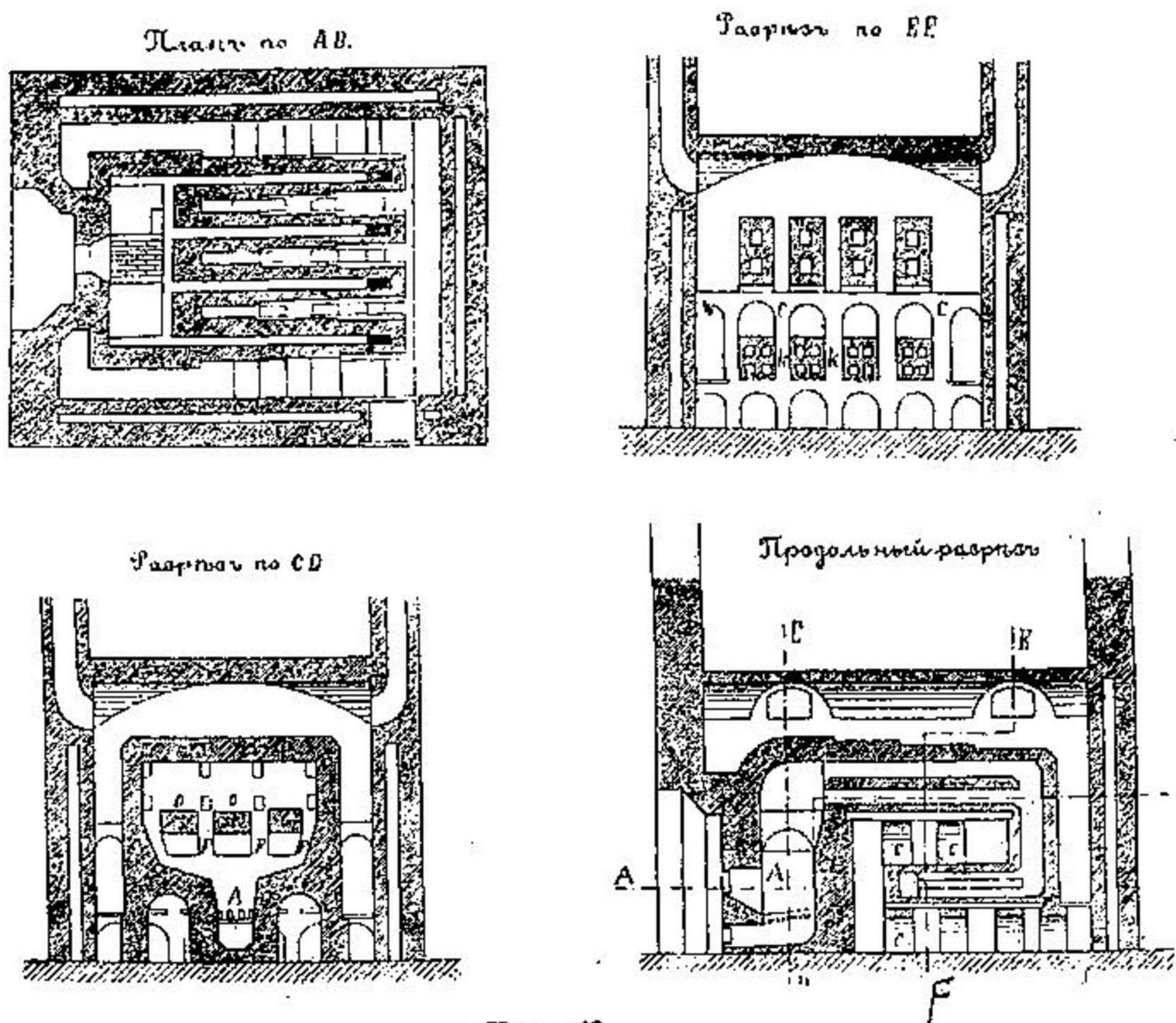
новозможности выходить наружу камеры. При проектированіи топокъ для калориферовъ, какъ для угля, такъ и для дровъ всегда слѣдуетъ помѣщать наполнительный конусъ, дающій возможность рѣже открывать дверцу топки для подбрасыванія топлива. Но конструкція этого конуса должна быть рациональна, чтобы топливо не зависало, и не ложилось кучей, а на рѣшеткѣ не могло образоваться пустыхъ мѣстъ. Надъ всеми почти кало-

риферами помѣщаются обыкновенно плоскіе сосуды съ водой для увлаженія воздуха, что нѣсколько уменьшаетъ непріятныя свойства перегрѣтаго воздуха. Въ тѣхъ случаяхъ, если отопленіе калорифера предполагается антрацитовое или коксовое, то топливникъ долженъ быть спроектированъ по образцу печного на чер. 23 (1-ая ч.) Если же употребляются чугуныя колосники, то подъ ними должны ставиться сосуды съ водой, какъ на чер. 44 и 46. Удобенъ также для такого топлива топливникъ, указанный на чер. 39 (1-ая ч. стр. 88).

### § 38. Калориферы большой теплоемкости.

Обыкновенно въ нашемъ климатѣ употребляются калориферы большой теплоемкости, т. е. кирпичные.

Калориферы эти, какъ и печи, устраиваются съ горизонтальными и вертикальными дымооборотами. Конструктивныя особенности этихъ калориферовъ находятся въ зависимости отъ мѣста, гдѣ они помѣщаются и отъ ихъ назначенія. Они устраиваются обыкновенно въ подвальномъ этажѣ сравнительно малой высоты и поэтому размѣры ихъ увеличены, сравнительно съ печами, въ горизонтальномъ направленіи.

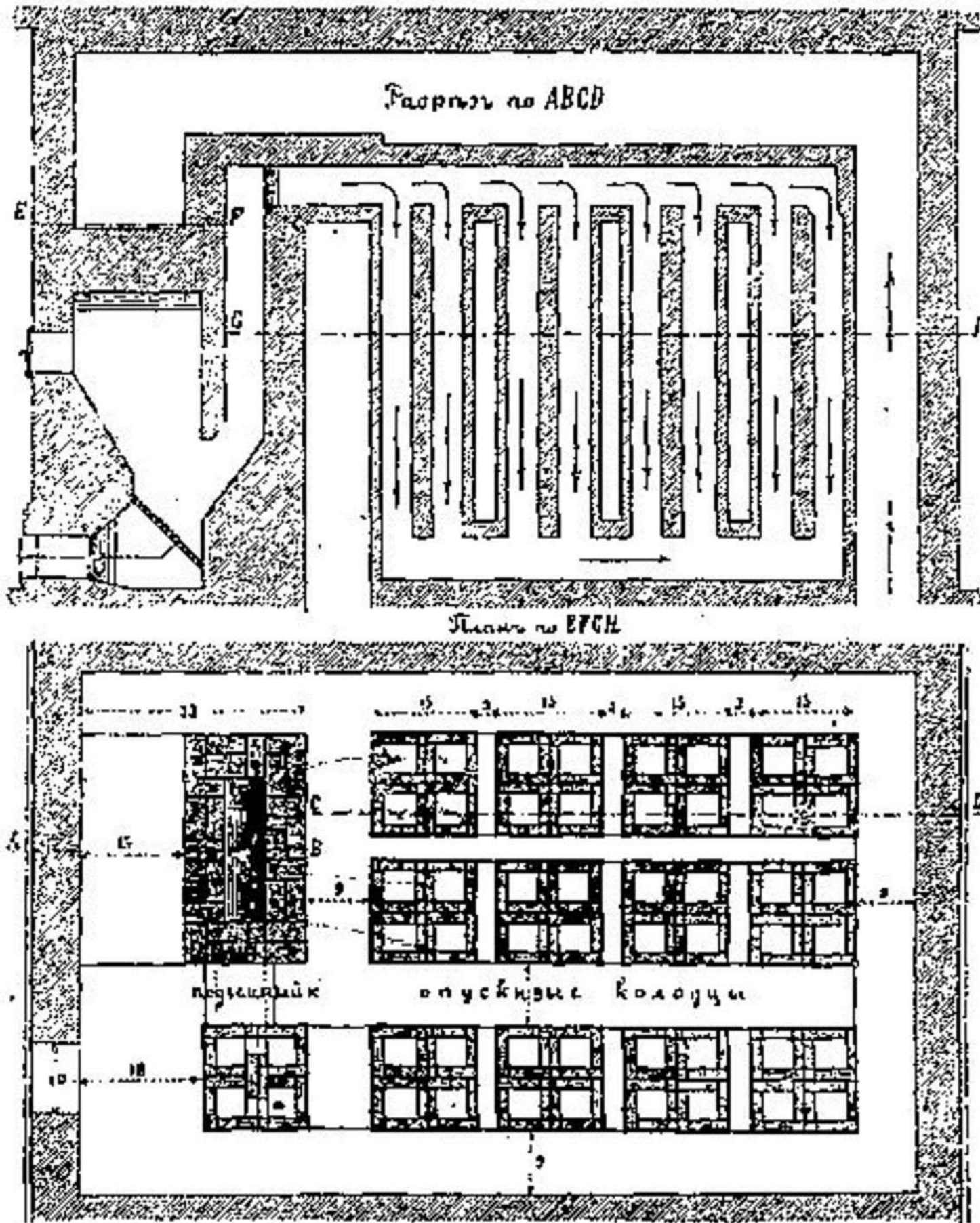


Черт. 48.

Изъ калориферовъ съ горизонтальными дымооборотами наилучшимъ можно считать калориферъ Войницкаго (черт. 48). Здѣсь толщина стѣнокъ

дымооборотовъ уменьшается по мѣрѣ удаленія ихъ отъ топливника, съ пониженіемъ температуры дыма. Всѣ горизонтальные обороты расположены на специальныхъ арках *e* и могутъ расширяться независимо одинъ отъ другого.

На черт. (49) указано устройство калорифера Лукашевича съ вертикальными дымоходами. Здѣсь дымъ такъ же какъ и въ его печахъ по одному восходящему каналу попадаетъ въ распределительную камеру откуда по нѣсколькимъ опускнымъ каналамъ уходитъ въ собирательную камеру и оттуда уже въ дымовую трубу. Дымоходы устанавливаются нѣсколькими рядами и въ промежуткахъ между ними циркулируетъ воздухъ. Для каждаго ряда

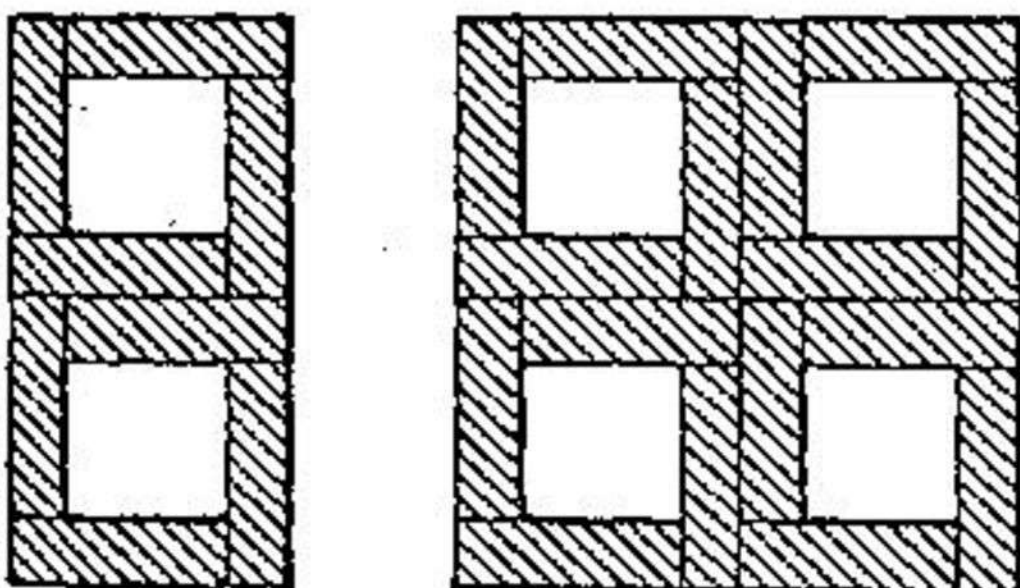


Черт. 49.

имѣются свои собирательная и распределительная камеры и всѣ собирательные каналы внизу соединены между собой. Кладка отдельныхъ дымо-

оборотовъ производится въ желѣзныхъ футлярахъ, и поэтому образованіе трещинъ въ такихъ калориферахъ не имѣетъ мѣста, всѣ опускные колодцы устраиваются толщиной въ  $\frac{1}{4}$  кирпича.

Въ этихъ калориферахъ вертикальные дымообороты могутъ быть либо одиночные, либо группируются по нѣскольку вмѣстѣ (черт. 50), въ



Черт. 50.



зависимости отъ того, требуется-ли развитъ поверхность нагрѣва или массу кладки (теплоемкости калорифера).—Топливникъ здѣсь такъ же, какъ и въ печахъ имѣетъ обычный видъ топливника Лукашевича, но такъ какъ въ калориферѣ сгораетъ обыкновенно довольно большое количество топлива и колосниковая рѣшетка получаетъ значительные размѣры, то вслѣдствіе этого въ послѣднемъ періодѣ нарушается правильность горѣнія а именно черезъ незанятую часть рѣшетки свободно можетъ проходить воздухъ, не участвуя въ горѣніи. Во избѣжаніе указаннаго необходимо особое устройство поддувала, которое раздѣляется листомъ во всю ширину на двѣ части (черт. 49) такимъ образомъ, что длина нижней части рѣшетки не болѣе 3-хъ вершковъ. Поддувальная дверца снабжена двумя рядами отверстій; верхнія отверстія могутъ закрываться особыми клапанами.

Когда въ послѣднемъ періодѣ угля скатываются на нижнюю часть рѣшетки, то верхнія отверстія поддувальной дверцы закрываются, и воздухъ притекаетъ только къ той части рѣшетки, гдѣ расположены уголь, способствуя полному ихъ сгоранію.

Толщина стѣнокъ топливника— $1\frac{1}{2}$  кирпича съ облицовкой внутри огнеупорнымъ кирпичемъ; толщина-же дымооборотовъ уменьшается по мѣрѣ удаленія ихъ отъ топливника и въ послѣднихъ опускныхъ каналахъ, при условіи установки металлическихъ футляровъ, какъ мы уже видѣли, доходитъ до  $\frac{1}{4}$  кирпича.

Въ рассматриваемомъ калориферѣ, съ цѣлью отнять у стѣнокъ возможно большее количество тепла, устраивается особое приспособленіе, дающее возможность соединять нижнюю часть дымооборотовъ съ наружнымъ воздухомъ (черезъ зольникъ) и тѣмъ устанавливая внутреннюю циркуляцію воздуха поелѣ прекращенія топки, когда уже нѣтъ дыма. Всѣ обороты снабжаются прочистными дверцами для удобной очистки ихъ.

По отношенію къ только что описанному калориферу можно сказать почти все то же, что было сказано въ 1-й части относительно печей Лукашевича, а именно, главнымъ образомъ, что здѣсь дымовые газы выходятъ въ дымовую трубу при высокой температурѣ и поэтому одного поворота горячихъ газовъ недостаточно.

Далѣе, дымъ съ очень высокой температурой изъ верхняго распределителя поступаетъ непосредственно въ каналы въ  $\frac{1}{4}$  кирпича и поэтому эти каналы чрезвычайно перекаливаются. Форма топливника здѣсь также неудобна, какъ и въ печахъ; устройство же поддувала очень сложно.

Вотъ поэтому лучше всего проектировать эти калориферы не съ однимъ поворотомъ газовъ, а съ двумя, т. е. изъ верхняго распределителя внизъ по ряду вертикальныхъ каналовъ, затѣмъ изъ нижняго сборника направлять газы опять вверхъ по одному каналу во второй сборникъ—верхній, а изъ послѣдняго уже второй разъ по вертикальнымъ каналамъ внизъ и изъ нижняго сборника въ дымовую трубу. Такая схема расположенія каналовъ позволяетъ сдѣлать стѣнки ихъ болѣе рационально въ смы-

елѣ толщины, и газы будутъ уходить въ дымовую трубу уже охлажденными. На этомъ принципѣ спроектированъ калориферъ изображенный на черт. (54 и 55), къ которому еще вернемся ниже.

Что касается внѣшней облицовки, то таковой можетъ быть или штукатурка, или изразцы, или наконецъ—кровельное желѣзо. Штукатурку здѣсь если и можно употреблять, то исключительно асбестовую, какъ было указано для печей. Изразцы примѣняются обыкновенно безъ поливы. Изъ всѣхъ этихъ видовъ облицовки на первомъ мѣстѣ надо поставить желѣзные футляры, затѣмъ асбестовую штукатурку, и наконецъ изразцы. Образование трещинъ наименѣе предотвратимо при послѣднемъ способѣ облицовки.

### § 39. Воздушная камера и каналы.

Калориферы помѣщаются въ особыхъ закрытыхъ помѣщеніяхъ, которыя называются *камерами*. Чтобы не происходило охлажденія извнѣ, стѣнкамъ камеры придаютъ толщину въ  $1\frac{1}{2}$  кирпича при необитаемыхъ подвалахъ и въ 1 кирпичъ, если подвалъ теплый; если же калориферъ находится въ самомъ отопляемомъ помѣщеніи, то толщина стѣнокъ камеры можетъ быть и въ  $\frac{1}{2}$  кирпича. Сверху камера перекрывается обыкновенно несгораемымъ потолкомъ; если же желательно, чтобы теплота изъ камеры не передавалась вовсе въ помѣщеніе, находящагося надъ нею этажа, то устраиваютъ двойной сводъ.

Что касается самой площади камеры, то размѣры ея должны быть таковы, чтобы всѣ части ея были доступны для осмотра и удобны для чистки отъ накопляющейся въ ней пыли. Въ зависимости отъ этого разстояніе отъ стѣнокъ калорифера до стѣнокъ камеры дѣлается обыкновенно отъ 8 до 12 вершковъ, въ малыхъ-же калориферахъ допускается 4 вершка, но тогда необходимо должно быть устроено приспособленіе, чтобы можно было, не заходя въ камеру, вымести изъ нея пыль. Стѣны камеры должны быть хорошо оштукатурены, полъ тоже долженъ быть гладкимъ, лучше всего цементнымъ для того, чтобы хорошо можно было удалять пыль. Если возможно, всегда слѣдуетъ устраивать въ камерѣ окно, и для уменьшенія потери тепла переплетъ долженъ быть тройной. Входную дверь слѣдуетъ дѣлать небольшую и плотно пригнанную; еще лучше—двойную желѣзную. Такъ какъ, вообще, уходъ за камерой, какъ можно заключить изъ наблюденій за существующими устройствами, большею частью неудовлетворителенъ, то было-бы болѣе цѣлесообразно не разчитывать на выметаніе пыли изъ камеры, а установить нѣсколько тонкихъ газовыхъ трубъ съ отверстиями по длинѣ ихъ и соединить эту систему съ водопроводомъ. Пуская время въ времени воду въ трубы можно очень удобно обмывать стѣнки калорифера и

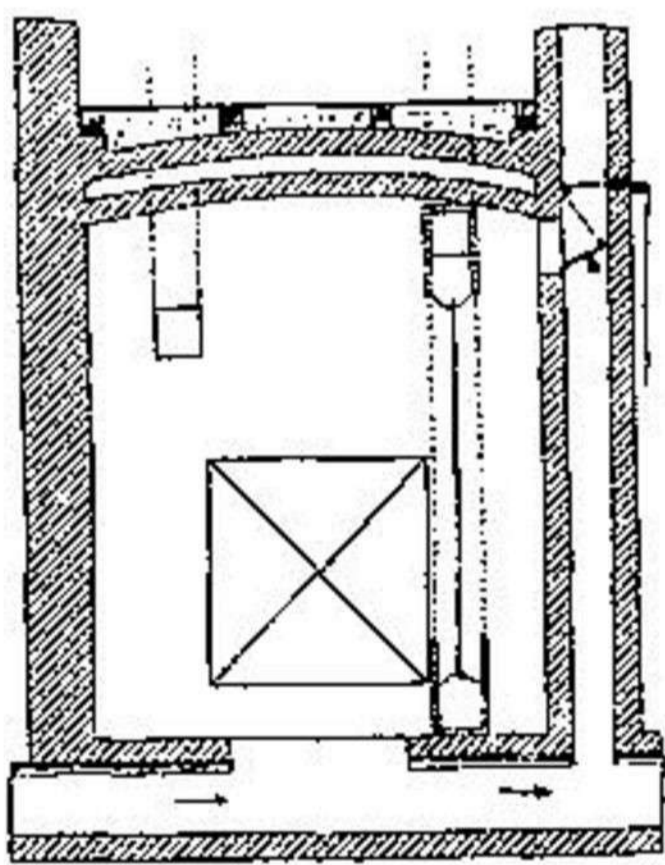
камеры. Въ такомъ случаѣ полъ долженъ имѣть необходимый уклонъ для стока воды, а стѣнки калорифера должны быть облицованы оцинкованнымъ желѣзомъ или изразцами. Разстояніе между калориферомъ и потолкомъ камеры должно быть не менѣе 1 арш. до 1 1/2 арш., чтобы воздухъ могъ здѣсь хорошо перемѣшаться и отсюда уже разосѣться въ отопляемыя помѣщенія по, такъ называемымъ, жаровымъ каналамъ.

Жаровые каналы устраиваются въ самой кладкѣ стѣпъ при постройкѣ зданія; имъ придаютъ по возможности вертикальное направленіе, гладкую поверхность и возможно меньшую длину. Наибольшее протяженіе въ горизонтальномъ направленіи допускается только до 10 метр.

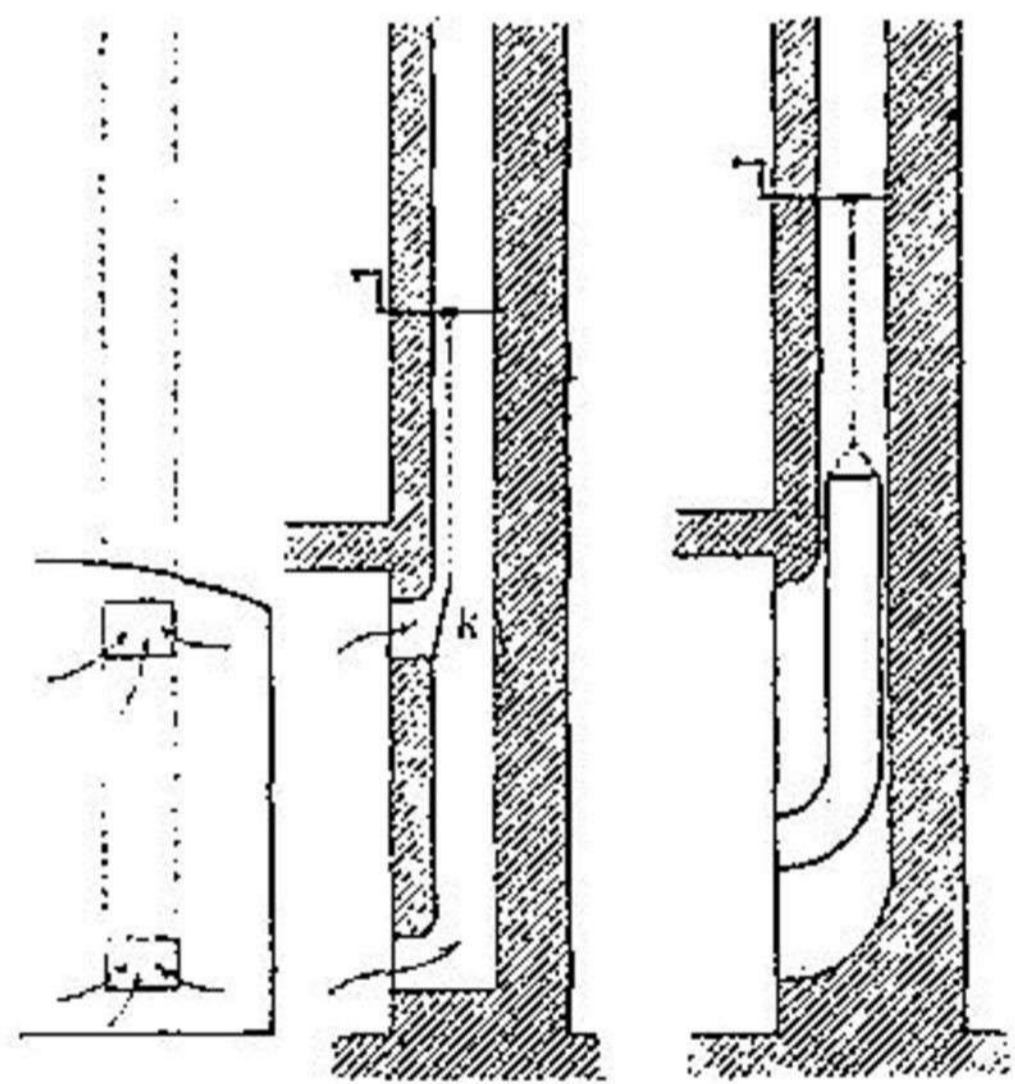
Начинаются они обыкновенно въ верхней части камеры и выходятъ въ отопляемомъ помѣщеніи у потолка.

Чтобы возможно было урегулировать количество воздуха, идущаго изъ камеры, у нижнихъ отверстій жаровыхъ каналовъ ставятся задвижки, которыя, при пусканіи въ ходъ и по урегулированіи системы, устанавливаются разъ навсегда.

Воздухъ изъ камеры поступаетъ во все помѣщенія съ одинаковой температурой, между тѣмъ, иногда является необходимость не столько отоплять какое нибудь помѣщеніе, сколько его вентилировать, и въ такомъ случаѣ температура вводимаго воздуха должна быть значительно ниже, чѣмъ какую имѣетъ воздухъ въ верхней части камеры. Для удовлетворенія подобнаго рода требованія система должна имѣть особое приспособленіе.



Черт. 51.



Черт. 52.

Это приспособленіе основано на томъ, что воздухъ въ различныхъ частяхъ камеры (по высотѣ ея) имѣетъ различную температуру; слѣдовательно, беря воздухъ изъ различныхъ частей камеры, мы получимъ различную температуру его. Для этого жаровые каналы устраиваются такимъ образомъ, что каждый жаровой каналъ имѣетъ два отверстія: въверху камеры и у пола ея. Одно изъ этихъ отверстій можетъ быть закрыто, а другое открыто, какъ показано на черт. 51 и 52. При такомъ устройствѣ каждое помѣщеніе можетъ получать воздухъ желаемой температуры.

Другое приспособленіе для той же цѣли заключается въ томъ, что входное отверстіе жарового канала дѣлается во всю высоту камеры; въ каналѣ этомъ на цѣпочкѣ виситъ труба, обращенная своимъ раструбомъ къ камерѣ (см. черт. 52). Верхній конецъ цѣпочки наматывается на катушку, рукоятка которой находится въ отопляемомъ помѣщеніи. Опуская или подымая при помощи цѣпочки трубу, мы можемъ брать воздухъ изъ какихъ угодно еловъ въ камерѣ.

При отопленіи жилыхъ помѣщеній устройства обратныхъ каналовъ слѣдуетъ избѣгать вообще, и отопленіе производится исключительно свѣжимъ воздухомъ, такъ какъ въ противномъ случаѣ помѣщенія при встрѣтившейся въ томъ надобности не могутъ быть изолированы одно отъ другого. Съ устройствомъ воздухопріемника для свѣжаго воздуха мы познакомимся при разсмотрѣніи вентиляціи зданій.

## § 40. Расчетъ воздушнаго отопленія.

Приступая къ расчету системы воздушнаго отопленія, мы должны прежде всего опредѣлить то количество тепла  $W$ , которое теряется помѣщеніемъ въ одинъ часъ и которое, слѣдовательно, долженъ возмѣстить калориферъ. Задавши же температурой  $t$ , до которой долженъ быть нагрѣтъ воздухъ, поступающій въ помѣщеніе, находятъ объемъ послѣдняго;  $t$  берется въ предѣлахъ  $35^{\circ}$ — $50^{\circ}$ ; при высшей температурѣ воздуха, температура поверхности калорифера должна быть очень высокой, вслѣдствіе чего происходитъ обугливаніе органической пыли, придающее воздуху непріятный специфическій запахъ; температура ниже  $35^{\circ}$  также неудобна, потому что пришлось бы вводить въ помѣщеніе много воздуха и, слѣдовательно, устраивать большіе калориферы, камеры и проч., а кромѣ того, напрасно подогрѣвать большое количество холоднаго воздуха, если отопленіе производится свѣжимъ воздухомъ и по заданію такого объема не требуется. Нагрѣтый воздухъ, охлаждаясь отъ  $t$  до комнатной, температуры  $t_1$ , долженъ выдѣлить  $W$  калорій тепла; слѣдовательно,

$$W = \frac{(t - t_1) V \cdot c}{1 + \alpha t}$$

гдѣ

$V$ —объемъ воздуха, протекающаго въ помѣщеніе въ 1 часъ

а  $c$  — теплоемкость его.

Винномомъ  $(1 + \alpha t)$  мы можемъ пренебречь, потому что величина его слишкомъ незначительна сравнительно съ тѣми погрѣшностями, какія получаются при расчетѣ величины  $W$ .

Слѣдовательно,

$$W = (t - t_1) V . c \quad (1)$$

откуда

$$V = \frac{W}{(t - t_1) . c} \quad (2)$$

Если система устроена съ обратными каналами, то калориферъ долженъ нагрѣвать притекающій къ нему воздухъ на температуру  $(t - t_1)$ , и расчетъ ведется по формулѣ (1); если-же калориферъ предназначенъ и для вентиляціи (отопленіе свѣжимъ воздухомъ), и температура притекающаго свѣжаго воздуха будетъ  $t_0$ , то воздухъ долженъ быть нагрѣтъ на температуру  $(t - t_0)^0$ . Количество тепла, которое долженъ выдѣлить калориферъ въ 1 часъ

$$W_0 = (t - t_0) V . c \quad (3)$$

Это величина, очевидно, больше найденной по формулѣ (1).

По формулѣ (1) мы можемъ опредѣлить  $t$ , если задаться величинами  $V$  и  $t_1$ .

Если при этомъ  $t$  получится больше  $50^0$ , то придется измѣнить объемъ  $V$  вентиляціи. Затѣмъ уже по формулѣ (3) найдемъ  $W_0$  — количество теплоты, которое долженъ выдѣлить калориферъ. Весь вышеуказанный расчетъ велся для случая одного помѣщенія или для случая нѣсколькихъ помѣщеній, но гдѣ объемъ вентиляціи не задается. Если-же требованія нагрѣванія и вентиляціи въ нѣсколькихъ помѣщеніяхъ различны, напр., въ одномъ помѣщеніи требуется вентиляція тремя объемами въ часъ, а въ другомъ—однимъ, то въ такомъ случаѣ расчетъ усложняется, и если нѣтъ особыхъ приспособленій для измѣненія температуры доставляемаго воздуха, о которыхъ мы говорили въ предыдущей главѣ, то система не можетъ удовлетворить всѣмъ требованіямъ отопленія и вентиляціи.

Въ этомъ случаѣ уже требованія располагаются по степени ихъ важности, и расчетъ системы ведется такъ, чтобы удовлетворить наиболѣе важнымъ требованіямъ относительно вентиляціи.

## § 41. Расчетъ калорифера.

Чтобы разсчитать калориферъ, мы должны знать коэффициентъ полезнаго дѣйствія всей системы воздушнаго отопленія. Этотъ коэффициентъ опредѣляется опытнымъ путемъ.

Для этого необходимо измѣрять количество и температуру воздуха, протекающаго по каналамъ какой нибудь существующей системы.

Эти измѣренія должно дѣлать до начала топки калорифера и затѣмъ уже, затопивши калориферъ, продолжать измѣренія черезъ опредѣленные промежутки времени даже послѣ прекращенія топки, пока температура воздуха не приметъ первоначальнаго значенія. Зная-же при этомъ количество сгорѣвшаго на рѣшеткѣ топлива и теплотворную его способность, можно легко опредѣлить коэффициентъ полезнаго дѣйствія калорифера. Для калориферовъ, расположенныхъ внѣ отопляемаго помещенія, коэффициентъ этотъ, при соблюденіи всѣхъ вышеприведенныхъ требованій при устройствѣ калориферовъ, можетъ достигнуть 70%; если-же калориферъ расположенъ въ самомъ отопляемомъ помещеніи, то этотъ коэффициентъ доходитъ до 80%.

Зная-же величину коэффициента полезнаго дѣйствія калорифера и количество тепла, которое онъ долженъ выдѣлить, мы можемъ рассчитать калориферъ, какъ рассчитывали печь; начинаемъ расчетъ съ топки: опредѣляемъ величину рѣшетки, емкость топливника и т. д. Продолжительность топки принимается при этомъ бѣльшая, чѣмъ въ печахъ (обыкновенно 4—5 час.), ибо для ухода за калориферомъ полагается отдѣльная прислуга.

Расчетъ поверхности дымооборотовъ не можетъ быть сдѣланъ точно, потому что здѣсь, какъ и раньше въ печахъ, процессъ теплопередачи и тепловыдѣленія не установившійся, а непрерывно мѣняется, поэтому здѣсь приходится пользоваться только практическими данными. Для калориферовъ металлическихъ, количество тепла выдѣляемое съ 1 кв. м можно принять въ 1200 cal. для ребристыхъ и 2000 cal. гладкихъ трубъ.

Въ повѣйшихъ же калориферахъ большой теплоемкости, какъ было сказано выше, дымообороты дѣлаются либо одинарные, либо двойные, либо четверные (см. черт. 50, гдѣ помещены двойной и четверной каналы). Наибольшая поверхность нагрѣва получается при одинарныхъ оборотахъ, наименьшая-же при четверныхъ (если количество оборотовъ одинаково, напр., четыре одинарныхъ и одинъ четверной). Такъ какъ теплоемкость всѣхъ этихъ каналовъ неодинакова, то и количество тепла, выдѣляемое этими оборотами въ единицу времени, тоже различно.

Если топка производится два раза въ сутки, то количество тепла, выдѣляемое поверхностью одинарныхъ оборотовъ, можно принять равнымъ 390 съ одного кв. метра въ 1 часъ, для двойныхъ—430, для четверныхъ—520 калорій. Если-же топка производится одинъ разъ въ сутки, то соотвѣтствующія числа будутъ: 215 для одинарныхъ оборотовъ, 240—для двойныхъ и 290 для четверныхъ. Для типа же калориф. на черт. (53) можно брать до 300 cal, вычитая въ толстыхъ мѣстахъ углы, какъ дѣлали это въ печахъ.

Такимъ образомъ, принявъ для расчета извѣстный типъ воздушной системы (съ вентилляціей или безъ нея) и имѣющіяся данныя ( $W$ ,  $t$ ,  $t_0$ , продолжительность топки и т. д.), мы опредѣляемъ то количество тепла,

которое долженъ выдѣлить калориферъ, а слѣдовательно, и общую его поверхность. За данныя можно принять еще поперечные размѣры дымооборотовъ, въ зависимости отъ размѣровъ имѣющаго кирпича, и высоту калорифера, въ зависимости отъ высоты помѣщенія, гдѣ онъ находится; тогда уже можно будетъ опредѣлить число дымоходовъ. За низшую температуру надо брать такъ же какъ и при печахъ среднюю за 3 зимнихъ мѣсяца и рассчитывать калориферъ на одну топку одинъ разъ въ сутки.

Иногда можетъ быть дано такое заданіе, что калориферъ долженъ работать то съ вентиляціей, то безъ нея; если рассчитать калориферъ на отопленіе свѣжимъ воздухомъ (вентиляція) въ теченіе круглыхъ сутокъ, то размѣры его получатся слишкомъ большими для даннаго случая; по этому рассчитываютъ его на отопленіе безъ вентиляціи и всѣ полученныя цифры увеличиваютъ соотвѣтственно величинѣ вентиляціи.

## § 42. Расчетъ жаровыхъ каналовъ.

Перейдемъ къ расчету жаровыхъ каналовъ. Намъ извѣстно то количество воздуха, которое должно пройти черезъ данный каналъ въ помѣщеніе, температура его и положеніе калорифера относительно помѣщенія; по этимъ даннымъ, пользуясь формулами теченія газовъ по трубамъ можно рассчитать сѣченіе каналовъ.

Въ этомъ случаѣ примѣняется слѣдующая формула:

$$\frac{h}{1 + \alpha t_0} - \frac{h}{1 + \alpha t} = \frac{v^2}{2g(1 + \alpha t)} + \frac{v^2}{2g(1 + \alpha t)} \cdot w,$$

гдѣ

$h$  — обозначаетъ высоту канала

$t$  — температуру горячаго воздуха

$t_0$  — ввѣшнюю температуру

$v$  — скорость воздуха

и  $w$  — сумму сопротивленій, куда входятъ: треніе воздуха о стѣнки и другія единичныя сопротивленія вслѣдствіе поворотовъ, внезапнаго расширенія каналовъ и проч. Слѣдовательно, можно эту величину представить въ такомъ видѣ:

$$w = R + \Sigma \zeta$$

величина же  $R$  выражается слѣдующимъ образомъ

$$R = \frac{\rho l v}{f}$$

гдѣ  
 $\rho$ —нѣкоторый численный коэффициентъ тренія  
 $l$ —длина канала  
 $u$ —периметръ сѣченія  
 и  $f$  площадь сѣченія.

Для опредѣленія  $\rho$  въ данномъ случаѣ можно пользоваться слѣдующей формулой Ритшеля, выведенной имъ изъ опытовъ съ кирпичными каналами при малыхъ скоростяхъ

$$\rho = 0,0065 + \frac{0,0604}{u-48}, \text{ гдѣ } u \text{ въ с.-м.}$$

Для единичныхъ сопротивленій  $\zeta$  обыкновенно принимаютъ такія величины:

для прямоугольнаго поворота  $\zeta = 1,1$   
 „ закругленнаго „ 0,25  
 „ поворота подъ угломъ  $135^\circ$  0,3  
 „ открытаго клапана безъ рѣшетки 0.

Болѣе подробно на расчетахъ каналовъ остановимся въ отдѣлѣ вентиляции.

Но все-таки, при всемъ желаніи, точно рассчитать всѣ скорости по этимъ формуламъ, почти невозможно вслѣдствіе множества входящихъ сюда величинъ, а также вслѣдствіе различныхъ случайностей. Поэтому, чтобы быть обеспеченнымъ на счетъ хорошаго результата отопленія, лучше всего рассчитывать каналы эти съ нѣкоторымъ запасомъ, а именно брать ближайшій большій въ частяхъ кирпича п потомъ уже, при пускѣ отопленія въ ходъ, урегулировать необходимыя скорости задвижками въ устьяхъ каналовъ въ камерѣ.

При устройствѣ системы каждый жаровой каналъ снабжается такой задвижкой, и послѣ урегулированія отопленія эти задвижки укрѣпляются неподвижно. Такая регулировка возможна только въ томъ случаѣ, если въ однихъ каналахъ скорость меньше необходимой, а въ другихъ больше; если же въ однихъ каналахъ она меньше нужной, а въ другихъ она нормальна, тогда такая регулировка непримѣнима. Поэтому сѣченія каналовъ, какъ упомянуто уже выше, необходимо рассчитывать всегда съ извѣстнымъ запасомъ (до  $25\%$ ).

*Примѣръ расчета калорифера.* Допустимъ намъ требуется отопить 3-хъ этажный домъ такихъ размѣровъ: 18,5 м. на 11,5 м., высота каждаго этажа 4,2 м. Всѣхъ оконъ въ этажѣ 16. Взявши среднюю температуру зимнихъ мѣсяцевъ для Кіева —  $5,2^\circ\text{C}$ , получимъ общій расходъ тепла въ 17,340 cal. въ часъ.



Если примемъ т-ру нагрѣва воздуха въ 35°, а внутреннюю т-ру въ 18°, то воздухъ будетъ охлаждаться, такимъ образомъ, на 17° и поэтому каждый метръ его выдѣлитъ 5,1 cal. а всего воздуха потребуется

$$\frac{17,340}{5,1} = 3400 \text{ куб. м.}$$

Объемъ всего отапливаемого помещенія составляетъ 2630 куб. м. и поэтому въ часъ будетъ доставлено свѣжаго воздуха 1,3 объема.

Этотъ воздухъ надо уже согрѣвать на 41°C, на что потребуется

$$42,000 \text{ cal.}$$

Калориферъ возьмемъ съ вертикальными оборотами для дровъ чер. (53 и 54), съ 1 кв. м. котораго мы можемъ получить до 300 cal. и поэтому потребуется общая поверхность калорифера въ 140 кв. м.

Если по разчету получается большой калориферъ, то гораздо выгоднѣе въ такомъ случаѣ поставить 2 въ половину каждый. Тогда при наружной температурѣ выше—5,2° можно топить полнымъ ходомъ одинъ малый калориферъ вмѣсто большого съ неполной топкой. Поэтому и въ данномъ случаѣ поставимъ 2 калорифера по 70 кв. м.

При проектированіи топливниковъ для калорифера длину его надо выбирать такъ, чтобы въ немъ могли помѣщаться нѣкоторыя дрова безъ распиловки. Подходящими для этого дровами является такъ назыв „полуторка“ т. е. длиною въ 1½ арш. Поэтому длина топливника внутри должна быть неменѣе 120 см.

Количество топлива будетъ такое

$$\frac{42,000}{2800 \cdot 0,7} = \approx 21 \text{ kg. въ 1 часъ}$$

или въ сутки 500 kg., а на одинъ калориферъ 250 kg. и средній объемъ топлива 0,625 куб. м.

При проектированіи печей мы считали наивыгоднѣйшей толщ., слоя дровъ въ 40 см. при продолжительности топки въ 2 часа. Здѣсь мы можемъ и даже выгоднѣе продлить топку до 5 часовъ, и поэтому толщина слоя топлива можетъ быть до 1 метра, но горящій слой и здѣсь долженъ быть также не болѣе 40 с.-м., остальная же часть будетъ служить наполнительной шахтой, для того чтобы не подкладывать топлива во время топки и тѣмъ не охлаждать ее. Въ такомъ случаѣ ширина топливника получается

$$\frac{0,625}{1 \text{ м. } 1,06 \text{ м.}} = 0,59 \text{ м.},$$

гдѣ 1,06 м. длина полѣна. Такимъ образомъ, ширина топливника получилась въ 2¼ кирпича.

Площадь рѣшетки опредѣлится изъ слѣдующихъ соображеній. Такъ какъ горящій слой у насъ долженъ быть не болѣе 40 с.-м., то изъ 250 kg. всего топлива въ горѣннн будетъ участвовать только 100 kg., поэтому

рѣшетка должна быть рассчитана на это количество топлива и площадь ея будетъ такая

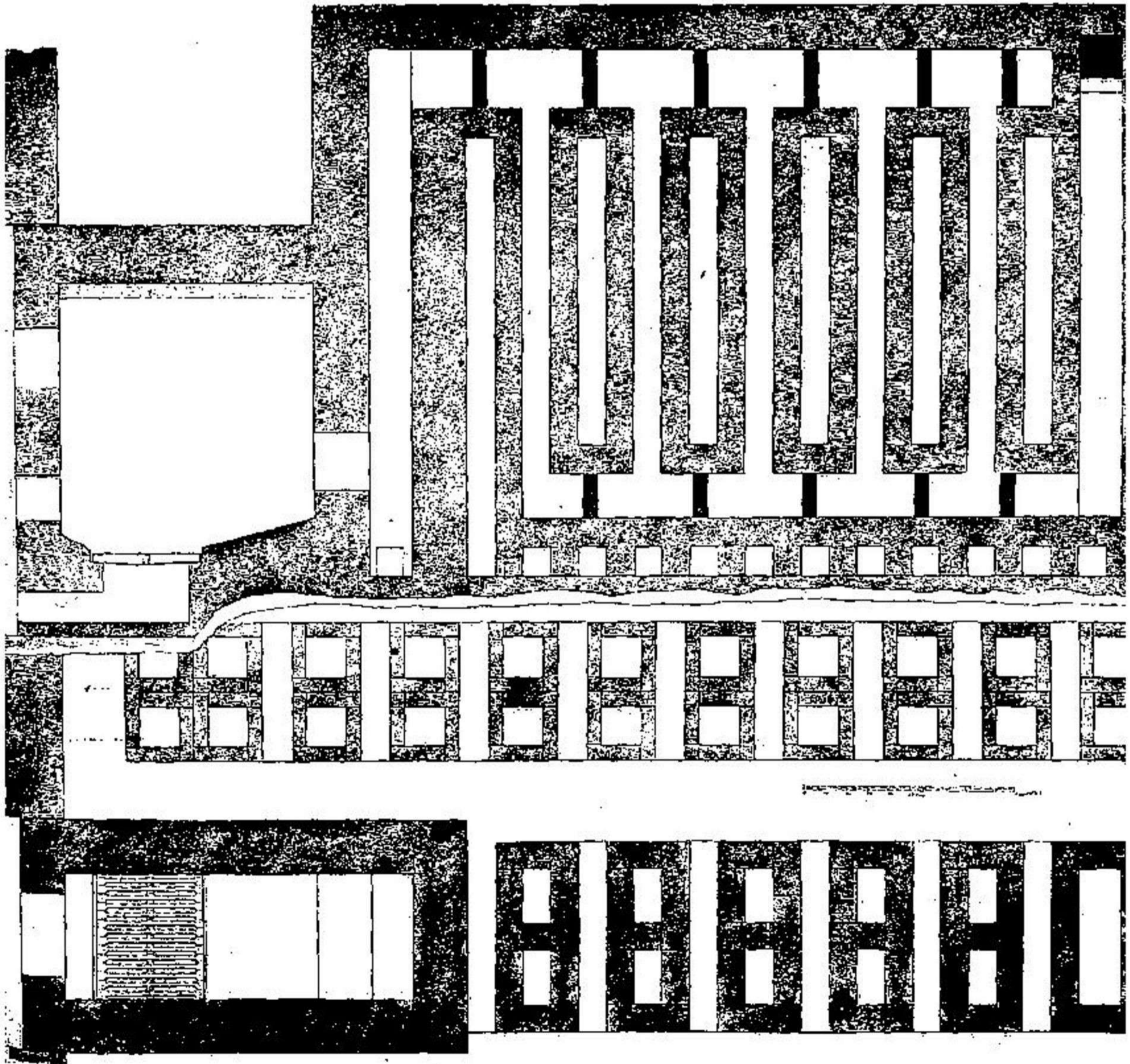
$$\frac{100 \text{ kg.}}{400 \text{ kg.}} = 0,25 \text{ кв. м.}$$

и при ширинѣ 0,59 м. длина ея получится въ 0,42 м.

Количество каналовъ опредѣлимъ такъ. Возьмемъ высоту калорифера въ 2,2 метра; при всей поверхности нагрѣва въ 70 кв. м. периметръ всѣхъ каналовъ получится въ

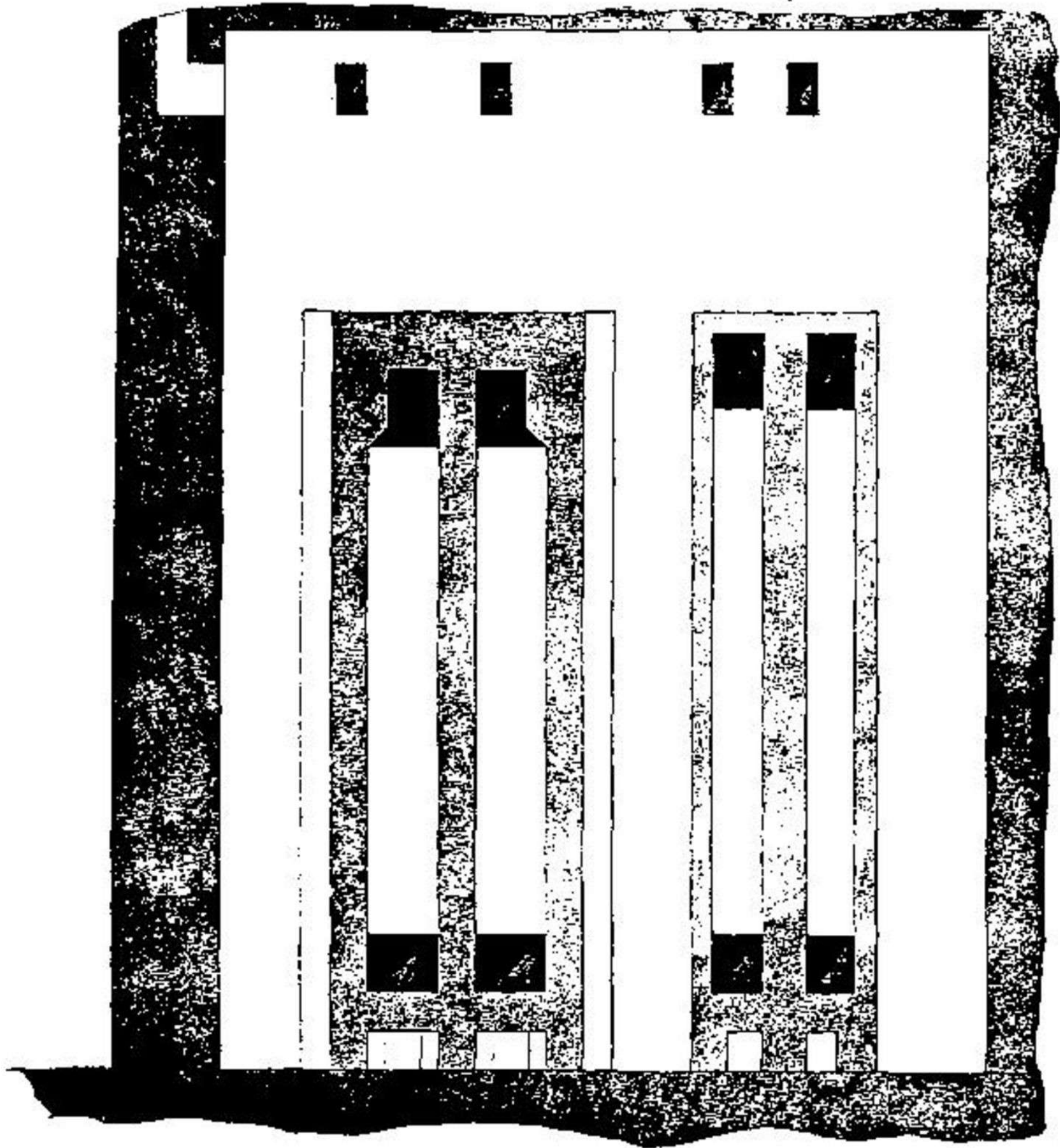
$$\frac{70}{2,2} = 32 \text{ метра.}$$

При каналахъ, какъ указано на черт. (53 и 54), периметръ пары такъныхъ столбовъ (въ  $\frac{1}{2}$  кирпича и въ  $\frac{1}{4}$  кирпича) составляетъ 4,5 метра,



Черт. 53.

а потому потребовалось-бы всего 7 пар. каналовъ. Но такъ какъ тонкихъ каналовъ, какъ видно изъ плана (фиг. 53), можно установить больше, чѣмъ толстыхъ на той же длинѣ, а также еще остается мѣсто рядомъ съ топливникомъ, да еще и самъ топливникъ и первый каналъ даетъ нѣкоторую поверхность нагрѣва, то 7 толстыхъ каналовъ будетъ въ данномъ



Черт. 54.

случаѣ много и поэтому возьмемъ такихъ каналовъ только 6. На той же длинѣ располагаемъ и тонкіе, которыхъ, какъ видно изъ чер. (53), получится уже 11 штукъ. Подсчитывая теперь всю поверхность нагрѣва за вычетомъ угловъ въ толстыхъ стѣнкахъ, найдемъ, что она составляетъ нѣсколько болѣе 70 кв. метр. и егѣдоват., установку каналовъ и число ихъ надо признать правильнымъ.

Каково же будетъ положеніе при большомъ морозѣ? При  $-25^{\circ}$ , напр., потеря тепла помѣщеніемъ будетъ уже не 17,460 cal. а 32,500 cal. (при  $18^{\circ}$  внутри) и воздухъ уже долженъ быть перегрѣтъ надъ комнатнымъ на  $32,5^{\circ}$ , т. е. имѣетъ  $50,5^{\circ}$ , при условіи сохраненія того же объема воздуха. Холод-

ный воздухъ долженъ быть нагрѣтъ уже на  $75^{\circ}$ , на что потребуется 76,500 cal.; это количество при двойной топкѣ наши 2 калорифера могутъ обезпечить и, слѣд., вопросъ разрѣшается удовлетворительно.

---

#### § 44. Достоинства и недостатки системы воздушнаго отопленія.

Къ недостаткамъ этой системы прежде всего слѣдуетъ отнести ея сильную зависимость отъ вліянія вѣтра. Прежде всего, вѣтеръ можетъ нарушать правильность поступленія свѣжаго воздуха въ камеру и для устраненія этого обстоятельства можно рекомендовать забирать воздухъ въ 2-хъ мѣстахъ на противоположныхъ сторонахъ зданія; въ мѣстахъ же соединенія обоихъ каналовъ долженъ быть установленъ поворотный клапанъ. Далѣе, вѣтеръ, охлаждая въ сильной степени стѣны, въ то же время можетъ повысить внутри помѣщенія давленіе настолько, что для теплаго воздуха будетъ затрудненъ входъ и поэтому это помѣщеніе будетъ слабѣе обогреваться.

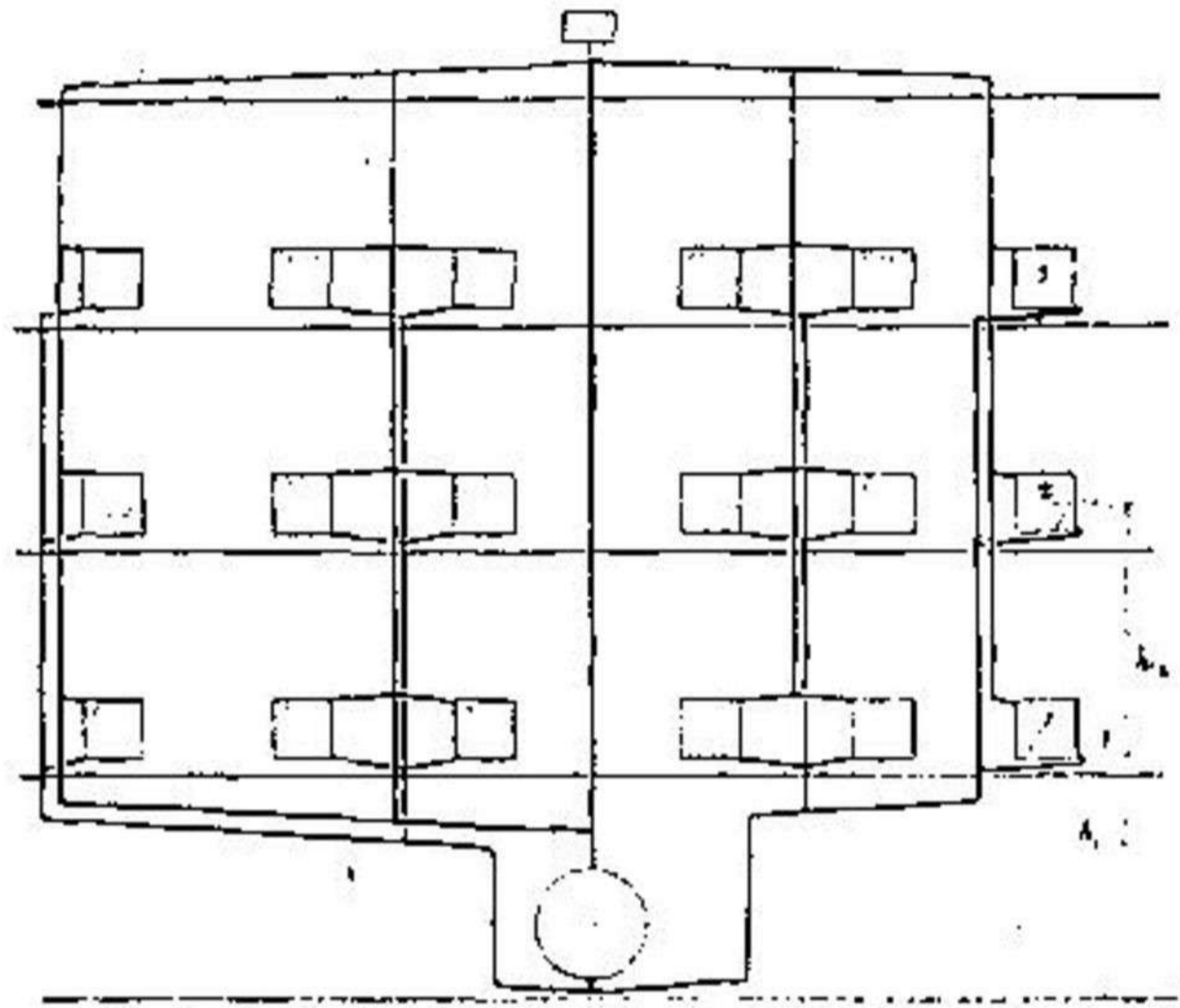
Наилучшимъ средствомъ противъ указанныхъ недостатковъ можно считать примѣненіе вентилятора. Въ настоящее время съ распространеніемъ и удешевленіемъ электрическаго тока установка вентиляторовъ не вызоветъ большихъ расходовъ, какъ первоначальныхъ, такъ и эксплуатаціонныхъ; между тѣмъ, такое устройство дастъ много преимуществъ этой системѣ отопленія, позволяя значительно большую централизацию, при одной и той же поверхности калорифера, такъ какъ при увеличенной скорости воздуха отдача тепла съ единицы поверхности калорифера увеличивается, а при вентиляторѣ можно и въ горизонтальномъ направленіи проводить воздухъ на значительное разстояніе. При такихъ условіяхъ эта система вполне могла бы конкурировать съ другими центральными системами въ гигиеническомъ отношеніи, превосходя ихъ своею сравнительною дешевизною.

Особенно удобно указаннымъ только что способомъ можно бы было улучшить отопленіе въ старыхъ зданіяхъ съ воздушнымъ отопленіемъ по старой системѣ съ плохими растрескавшимися калориферами, тѣсными и грязными камерами, и проч.

---

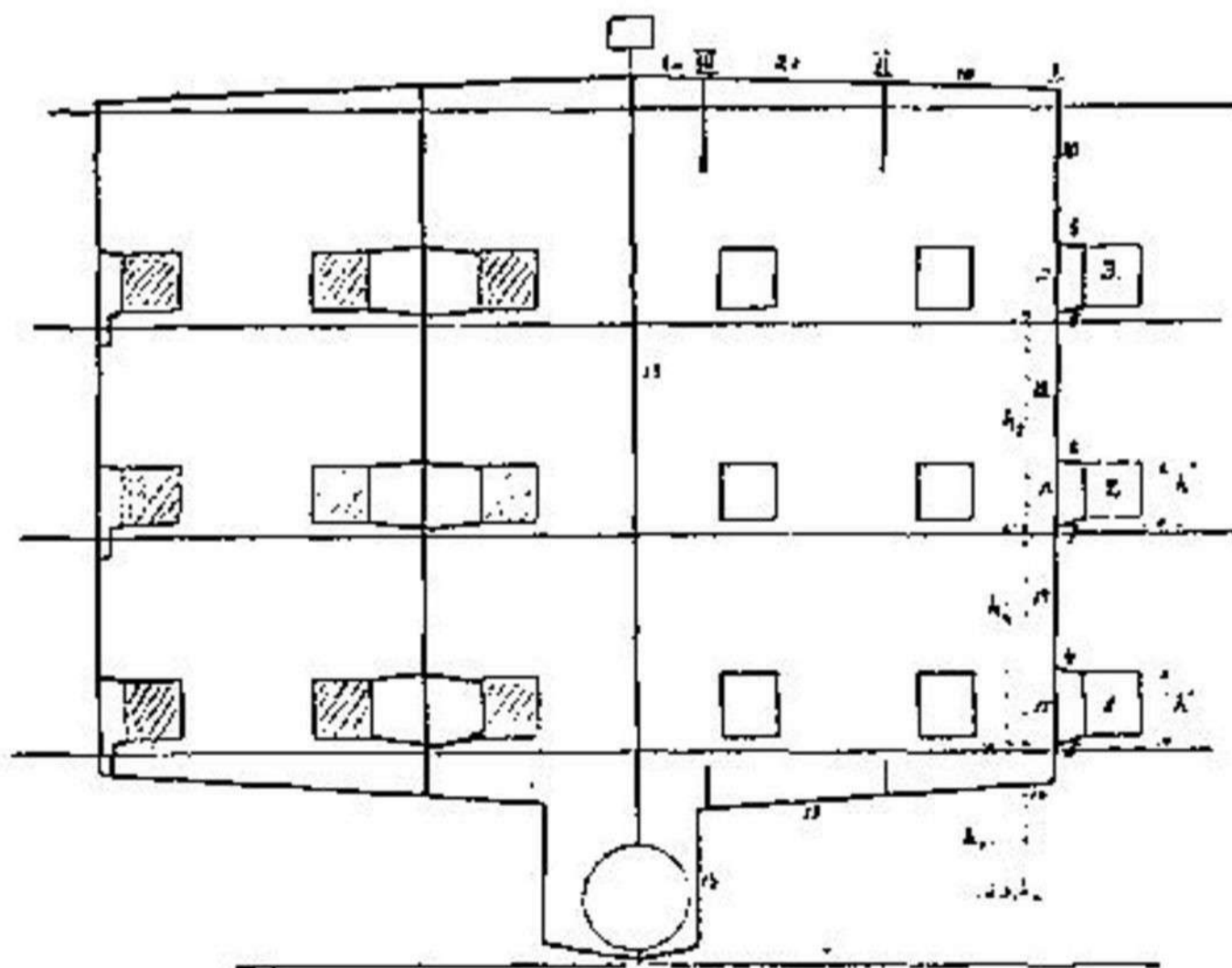
## § 45. Водяное отопленіе низкаго давленія.

Система водяного отопленія состоитъ въ томъ, что вода нагревается въ котлѣ и затѣмъ, циркулируя по трубамъ, разноситъ приобретенную теплоту по отапливаемымъ помещеніямъ. Вода заполняетъ весь котель и трубопроводъ полностью и даже часть верхняго резервуара, такъ называемаго, расширителя.



Черт. 55.

На чертежахъ (55 и 56) показаны схемы этого отопленія, при чемъ въ лѣвой части первой фигуры распределеніе снизу, а въ правой и во всей второй—сверху. Примѣненіе каждой изъ этихъ системъ зависитъ отъ мѣстныхъ условій въ каждомъ частномъ случаѣ.



Черт. 56.

Теплоемкость этой системы отопленія можно варіировать по желанію: напр., взявъ котель съ большимъ объемомъ воды, мы получимъ систему

съ большой теплоемкостью и топку здѣсь можно производить періодически. Если-же возьмемъ котелъ малаго объема при сравнительно сильно развитой поверхности нагрѣва, то получимъ систему съ малою теплоемкостью. При нашихъ условіяхъ климата, точно такъ же, какъ и въ предъидущихъ случаяхъ указывалось, предпочтительнѣе, конечно, система съ большой теплоемкостью, поэтому у насъ нужно стараться примѣнять котлы большого объема, и такъ какъ обыкновенно уходъ за ними поручается не особенно опытнымъ людямъ, то лучше простѣйшей конетрукціи.

Система водяного отопленія состоитъ изъ слѣдующихъ частей: 1) водогрѣйнаго котла, 2) циркуляціонныхъ трубъ, по которымъ движется вода, 3) компенсаторовъ, 4) нагрѣвательныхъ приборовъ, выделяющихъ теплоту въ отапливаемые помещенія, 5) крановъ и вентилей для регулированія скорости теченія воды въ частяхъ системы, 6) воздушныхъ трубокъ для удаленія воздуха изъ циркуляціонныхъ трубъ и 7) расширительнаго сосуда, установленнаго въ самой высшей точкѣ системы и сообщающагося съ атмосферой, такъ что при топкѣ давленіе не можетъ повышаться, откуда и названіе этой системы— „низкаго давленія“.

## § 46. Водогрѣйный котелъ.

Какъ уже сказано выше, котелъ выбирается съ большимъ объемомъ воды и возможности простой конетрукціи, причемъ давленіе въ немъ только гидростатическое и зависитъ отъ высоты столба воды до верхняго уровня расширительнаго сосуда.

Обмуровка этихъ котловъ дѣлается такая же, какъ и въ паровыхъ котлахъ за исключеніемъ топливника. Такъ какъ топка производится здѣсь не непрерывно, а періодически, то и топливникъ въ такомъ случаѣ долженъ быть къ этому приспособленъ. Лучшимъ типомъ здѣсь можно считать топливникъ, какой примѣняется въ калориферахъ, въ зависимости отъ рода топлива. Дымоходы же слѣдуетъ располагать такъ, чтобы наиболѣе горячіе были выше, а охлажденные въ самомъ низу, тогда использование тепла дымовыхъ газовъ будетъ наилучшее.

Но всегда лучше вмѣсто одного большого котла ставить два меньшихъ, что выгоднѣе какъ въ отношеніи экономіи въ топливѣ, ибо можно топить не всѣ котлы сразу въ зависимости отъ внѣшней температуры, такъ и въ смыслѣ удобства при исправленіяхъ всякаго рода, когда нельзя совершенно прервать отопленія. Въ этомъ случаѣ котлы нужно соединить между собою и съ подъемной трубой такъ, чтобы каждый изъ нихъ могъ быть совершенно изолированъ. Одинъ же большой котелъ, установленный соотвѣтственно самой низкой внѣшней температурѣ, при повышеніи по-

слѣдней уже долженъ будетъ работать не полнымъ ходомъ, а потому и неэкономно.

Водогрѣйные котлы помѣщаются внѣ отопливаемаго помѣщенія по возможности ниже его на этажъ; обыкновенно они ставятся въ подвальныхъ помѣщеніяхъ, а если и послѣднія должны отопливаться, то еще ниже—во второмъ подвальномъ этажѣ. Если надъ котельной находится жилое помѣщеніе, то его необходимо, какъ можно лучше, изолировать при посредствѣ воздушнаго прослойка съ циркуляціей въ немъ воздуха, такъ какъ въ противномъ случаѣ въ верхнемъ помѣщеніи будетъ очень жарко.

На конструкціи и установкахъ обыкновенныхъ котловъ мы останавливаться не будемъ, такъ какъ это можно найти въ курсѣ „Паровыхъ котловъ“, но въ послѣднее время для водяного и парового отопленія стали часто примѣнять спеціальныя котлы, составленные изъ отдѣльныхъ чугуновыхъ элементовъ безъ обмуровки и поэтому на нихъ слѣдуетъ остановиться, но такъ какъ эти котлы скорѣе малой теплоемкости, то у насъ они ставятся больше для парового отопленія, а потому мы тамъ ихъ и разсмотримъ.

---

## § 47. Циркуляціонныя трубы.

Схемы проводки трубъ мы уже видѣли выше. Что касается матеріала, то здѣсь могутъ примѣняться какъ желѣзныя, такъ и чугуныя трубы, при чемъ малыхъ діаметровъ употребляются исключительно желѣзныя трубы.

Соединенія трубъ діаметромъ до 3 дм. производятся при помощи наръзки и муфтъ при большемъ же діаметрѣ—при помощи фланцевъ.

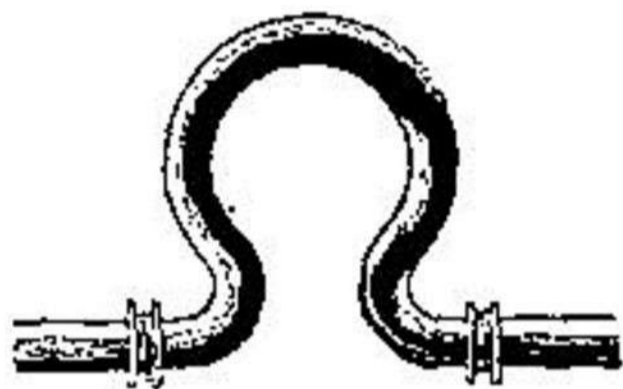
Трубы могутъ быть уложены или вдоль стѣнъ по ихъ поверхности, или внутри самыхъ стѣнъ въ особо оставленныхъ пазахъ, которые затѣмъ задѣлываются либо кирпичемъ наглухо, либо съемными гипсовыми щитами, болѣе удобными въ случаѣ исправленія трубъ.

Такъ какъ вода содержитъ въ себѣ воздухъ, который при нагреваніи выдѣляется, то, чтобы въ трубахъ не могло быть застоя воздуха, горизонтальнымъ вѣтвямъ даютъ нѣкоторый уклонъ  $\left(\frac{1}{100} - \frac{1}{200}\right)$  въ сторону движенія воды, такъ что въ этомъ случаѣ движеніе пузырьковъ воздуха направлено противъ движенія воды, вслѣдствіе чего послѣднее будетъ нѣсколько замедляться и поэтому такой уклонъ можно рекомендовать только при значительномъ напорѣ. При маломъ же напорѣ, лучше дѣлать уклонъ въ сторону противъ движенія воды и въ такомъ случаѣ воздухъ уже не будетъ мѣшать движенію воды, а, напротивъ, еще помогать.

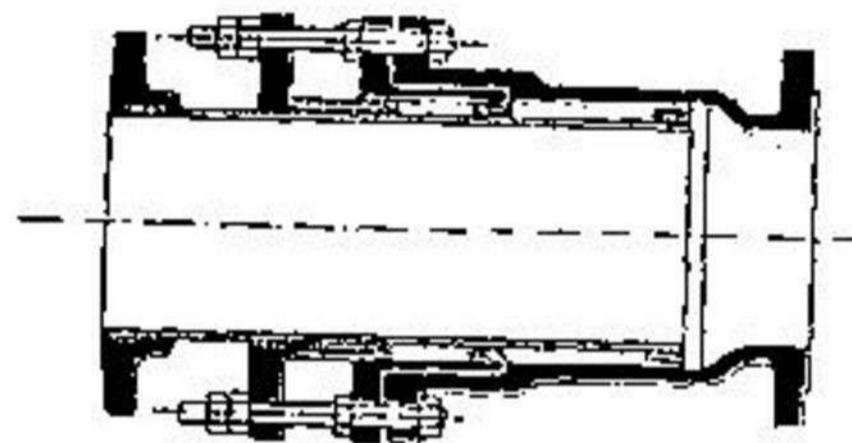
---

## § 48. Компенсаторы.

Вся система трубъ водяного отопленія располагается такъ, чтобы она представляла достаточную упругость для удлиненія при нагрѣваніи. Но если почему-либо сдѣлать этого нельзя, или, если длина трубъ уже очень велика, напр., болѣе 60 метровъ, то для возможности свободнаго расширенія ихъ вводятся компенсаторы. Но кромѣ этого, компенсаторы могутъ имѣть еще другое назначеніе, а именно, облегчать разборку отдѣльныхъ звеньевъ и уменьшать напряженія въ стыкахъ при расширеніи трубъ, такъ какъ въ противномъ случаѣ стыки начинаютъ всегда разстраиваться.

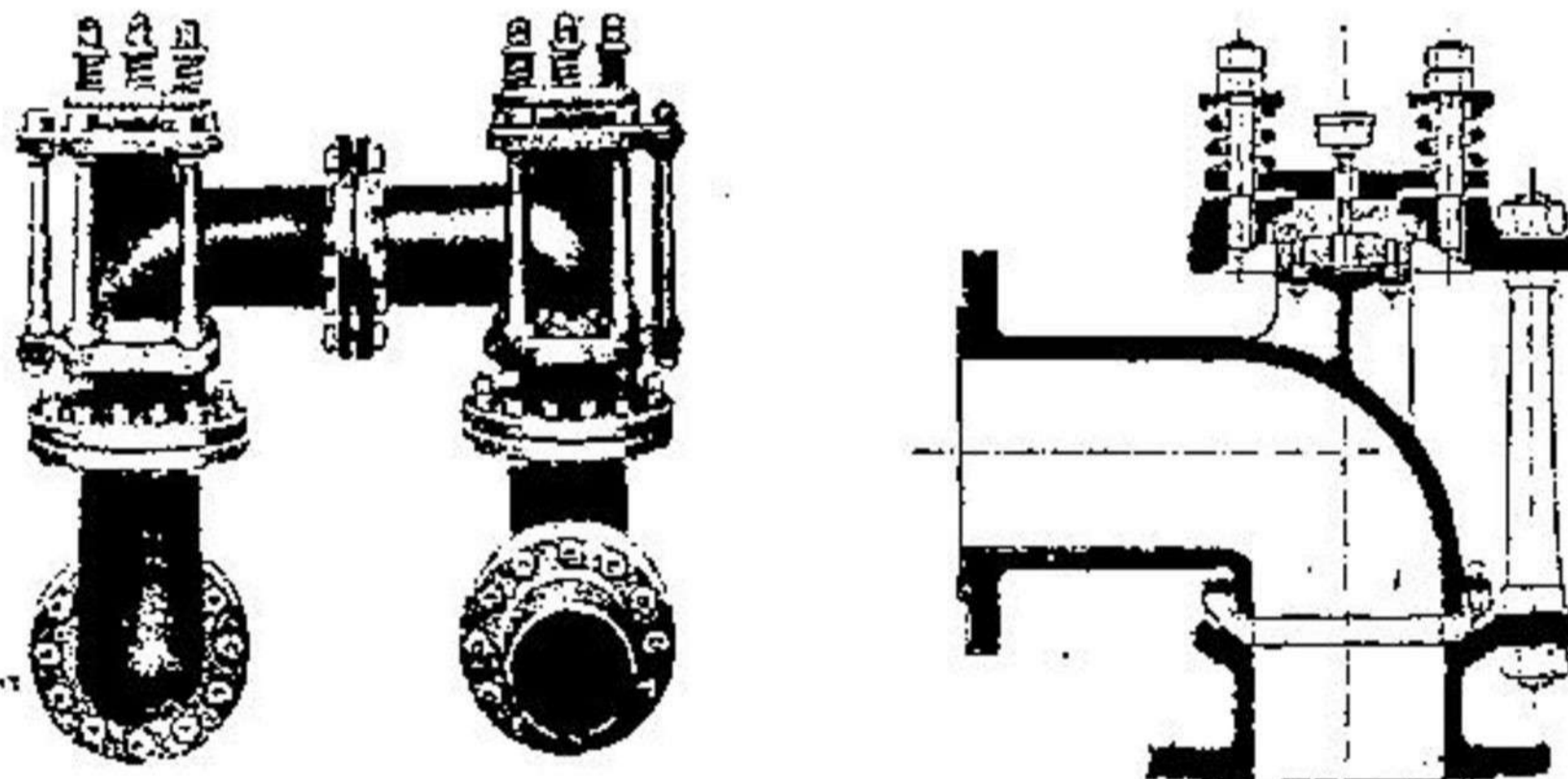


Черт. 57.



Черт. 58.

На черт. 57 представленъ компенсаторъ въ видѣ изогнутой трубы изъ красной мѣди, который употребляется для трубъ небольшого діаметра до 3 дм. При трубахъ-же большаго діаметра устраивается компенсаторъ съ сальникомъ (черт. 58), въ которомъ конецъ трубы, можетъ двигаться сво-



Черт. 59.

бодно. Примѣняется еще также и конструкція показанная на черт. 59, гдѣ вслѣдствіе шарнирнаго соединенія и поворота подъ угломъ трубы могутъ свободно перемѣщаться.

## § 49. Нагрѣвательные приборы.

Обыкновенно для передачи тепла помещенію не пользуются водоносными трубами, а ставятъ специально предназначенные для этого приборы, которые бываютъ очень разнообразной конструкціи: либо съ ребристыми, либо съ гладкими, наружными поверхностями.



Примѣненіе первыхъ основано на томъ, что коэффициентъ передачи тепла отъ воды къ металлу довольно великъ, а отъ металла къ воздуху—малъ. Если возьмемъ общее уравненіе теплопередачи:

$$N = k \tau = \frac{1}{\frac{1}{\varphi} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{\psi}} \tau,$$

то, предполагая, что здѣсь  $\varphi$  коэффициентъ передачи тепла отъ воды къ металлу—очень великъ, членъ  $\frac{1}{\varphi}$  будетъ очень малъ. Кроме того, сюда входитъ еще членъ  $\frac{e}{\lambda}$ , гдѣ  $e$  толщина стѣнки трубы—величина сравнительно очень малая, а  $\lambda$ —коэффициентъ внутренней теплопроводности для металла—величина большая; поэтому и второй членъ въ этомъ выраженіи будетъ величина незначительная. Въ такомъ случаѣ, пренебрегая этими двумя членами въ знаменателѣ, получимъ

$$N = \psi \cdot \tau.$$

Слѣдовательно, количество теплоты, передаваемой единицей поверхности трубы, равно коэффициенту теплопередачи отъ чугуна къ воздуху и поэтому, развивая внѣшнюю поверхность, при небольшой, сравнительно, внутренней, получается увеличеніе передаваемого тепла трубой, какъ можно заключить изъ полученнаго выраженія, пропорціонально увеличенію поверхности. Но на самомъ дѣлѣ это не такъ и на количество передаваемой теплоты оказываетъ большое вліяніе толщина реберъ и ширина промежутка между ними; при незначительной толщинѣ реберъ коэффициентъ  $\lambda$  очень уменьшается и тогда уже температура внѣшней поверхности ребристой трубы будетъ не вездѣ одинакова, а потому и самая эта формула въ такомъ случаѣ уже не примѣнима.

Вообще-же можно сказать, что реберная поверхность передаетъ тепло еѣ единицы внѣшней поверхности приблизительно только половину того, сколько даетъ единица поверхности гладкой.

Но все таки реберная поверхность является болѣе выгодной, чѣмъ гладкая, такъ какъ при одинаковомъ вѣсѣ съ послѣдней даетъ гораздо большую поверхность для теплопередачи.

Ребристыя поверхности могутъ быть какъ горизонтальныя, такъ и вертикальныя, но приливныя ребра должны быть непремѣнно вертикальными для облегченія движенія воздуха возлѣ нагрѣвательныхъ приборовъ. На черт. 60 представленъ простѣйшій типъ реберной трубы. Соединеніе съ циркуляционными трубами производит-

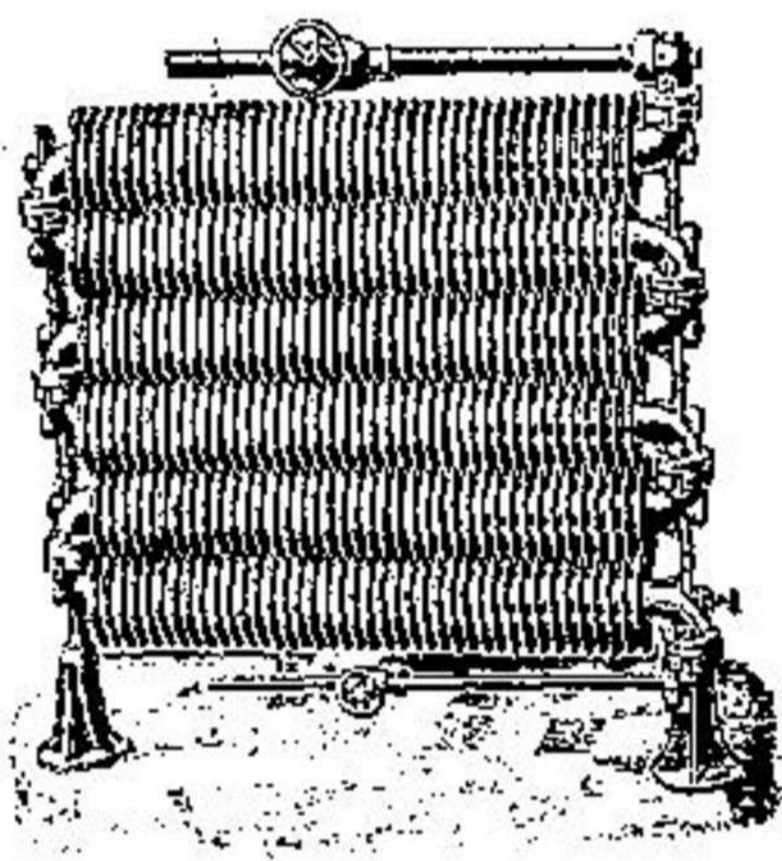


Черт. 60.

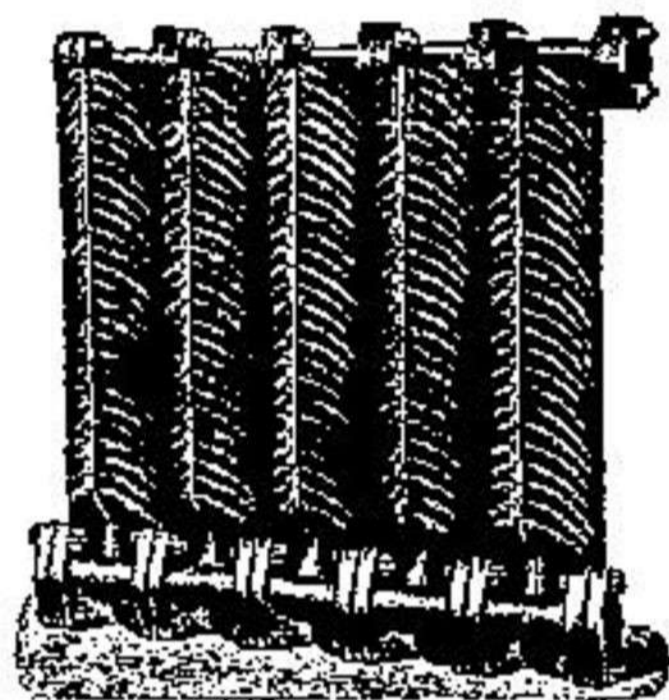
ся посредствомъ фланцевъ; при соединеніи съ желѣзными трубами меньшаго чѣмъ ребристая труба діаметра къ ея фланцамъ прикрѣпляются особо отлитые фланцы еѣ эксцентрическими въ нихъ от-

верстями съ винтовой рѣзбой въ высшей точкѣ при входѣ воды и въ низшей при выходѣ. Этимъ соединеніемъ избѣгаютъ застоя воздуха, воды и осадковъ въ трубѣ и достигаютъ, слѣдовательно, того, что вся поверхность ея принимаетъ участіе въ передачѣ тепла помещенію.

Нѣсколько ребристыхъ трубъ, соединенныхъ въ одинъ приборъ, называются ребристой батареей. Въ такомъ случаѣ форма трубы мѣняется въ зависимости отъ способа соединенія. Для примѣра на черт. 61 пока-



Черт. 61.



Черт. 62.

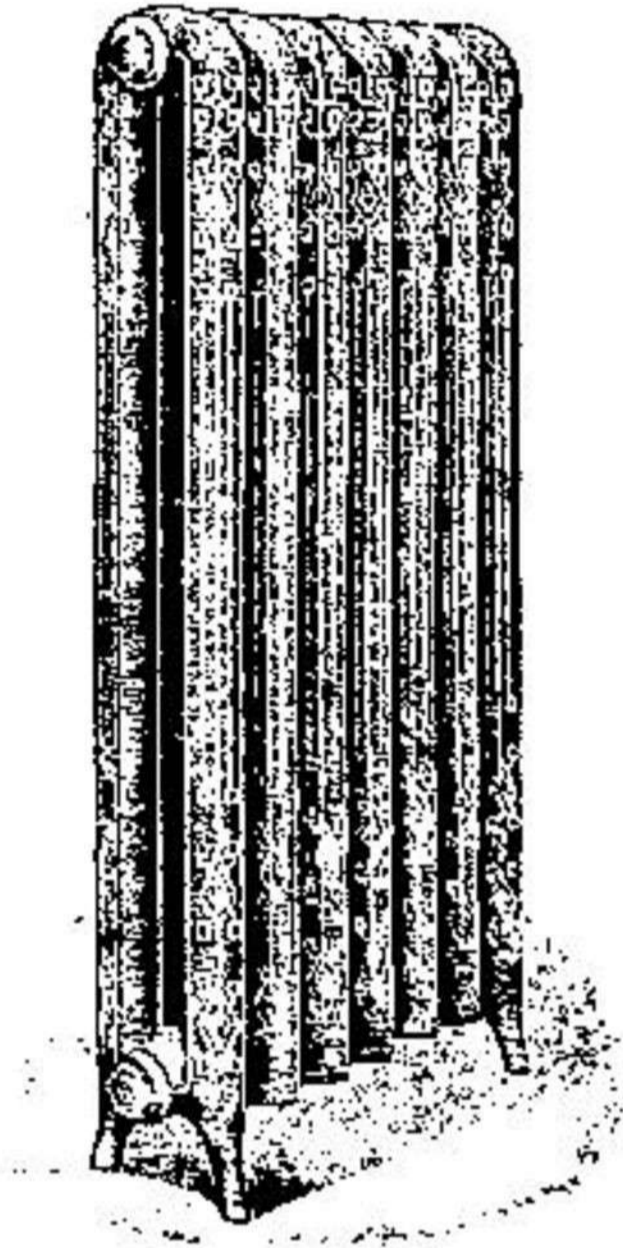
зана батарея изъ такъ пазыв. „S“-образныхъ трубъ, а на черт. 62— батарея съ косыми ребрами.

Въ послѣднее время въ качествѣ нагрѣвательныхъ приборовъ получили большое распространеніе и начали сильно вытѣснять ребристыя батареи такъ называемые *радиаторы*, появившіеся первоначально въ Америкѣ, откуда ихъ и англійское названіе („излучатель“), отчасти неправильное, такъ какъ они передаютъ тепло не однимъ только лученепусканіемъ. Эти приборы по ихъ удобной приспособляемости къ различнымъ условіямъ, большому развитію поверхности и красивой формѣ превосходятъ всѣ другіе нагрѣвательные приборы и въ то же время они вполне удовлетворяютъ всѣмъ гигиеническимъ требованіямъ.

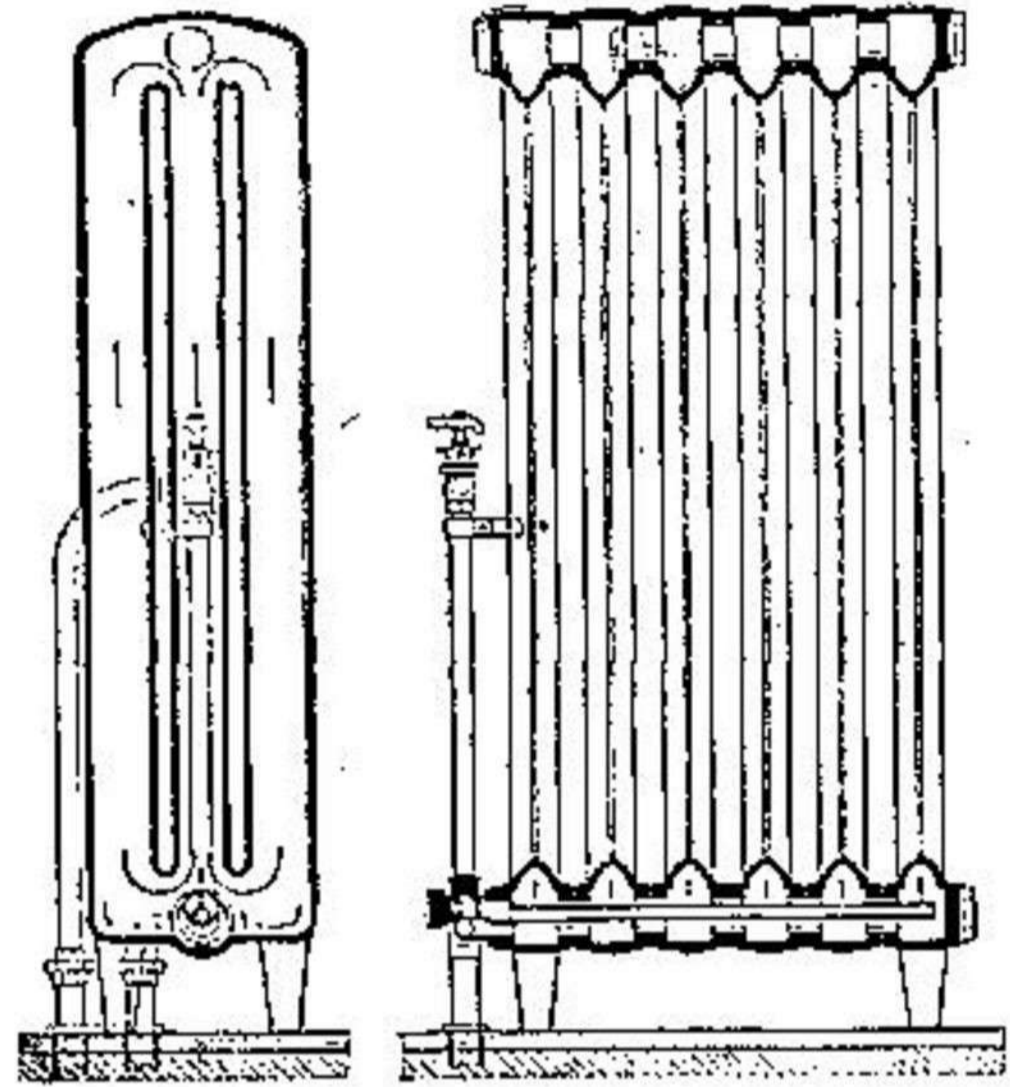
На фиг. (63) показанъ одинъ изъ типовъ радиаторовъ. Они дѣлаются высотой отъ 300 до 1300 мм. и испытываются на давленіе 7 атм. Соединеніе отдѣльныхъ элементовъ въ батареи производится удобнѣе всего при посредствѣ коническихъ ниппелей съ правой и лѣвой рѣзбой, какъ показано на фиг. (64), и обязательно соединять элементы какъ вверху, такъ и внизу\*). Число вертикальныхъ каналовъ въ отдѣльномъ элементѣ можетъ

\*) Собственно говоря, на фиг. 64 показано сѣченіе радиатора въ 3 вѣтви въ каждомъ элементѣ вмѣсто 2-хъ фиг. 63 и кромѣ того этотъ приборъ приспособленъ уже для парового отопленія особаго вида, о чемъ будетъ рѣчь ниже. Для водяного же отопленія внутренней трубочки съ отверстиями, проходящей черезъ нижній рядъ ниппелей не надо и кромѣ того вода поступаетъ въ верхнюю часть прибора, а выходитъ внизу. Для возможности закрыванія ключемъ особенной формы, ниппеля имѣютъ внутреннюю поверхность не цилиндрическую, а шестигранную или восьмигранную, куда и вставляется ключъ.

быть различнымъ: отъ 1 до 4-хъ. Увеличенное число каналовъ обусловливаетъ и большее развитіе поверхности нагрѣва при одномъ и томъ же занимаемомъ радиаторомъ мѣстѣ. Для лучшей очистки радиаторовъ отъ пыли ихъ надо устанавливать такъ, чтобы всѣ части были доступны; для той же цѣли слѣдуетъ лучше избѣгать всякихъ украшеній на поверхности



Черт. 63.



Черт. 64.

радиаторовъ фиг. (63). Устанавливаются радиаторы или на приливаемыхъ къ нимъ чугунныхъ ножкахъ, или на особыхъ кронштейнахъ.

Кромѣ разсмотрѣнныхъ двухъ видовъ водяныхъ печей, применяются приборы еще и другихъ видовъ, но, сравнительно, очень рѣдко.

Что касается мѣста установки приборовъ для передачи тепла, то въ практикѣ обыкновенно принято для надлежащей равномерности температуры въ помещеніи ставить ихъ въ тѣхъ именно мѣстахъ, гдѣ больше всего происходитъ потеря теплоты, при этомъ стараются не ставить ихъ на виду и не занимать много мѣста. Обыкновенно радиаторы и ребристыя батареи ставятся въ особо устроенныхъ подъ окнами нишахъ. Но при такихъ условіяхъ здѣсь получаютъ два несмѣшивающихся воздушныхъ тока: одинъ отъ нагрѣвательнаго прибора (теплый) и другой отъ окна (холодный), что является неудобнымъ, такъ какъ при приближеніи къ окну ощущаются оба тока.

Для того, чтобы это непріятное явленіе уничтожить обыкновенно предлагаютъ нишу со стороны помещенія закрыть сплошнымъ щитомъ, идущимъ отъ подоконника до пола; въ щитѣ же около пола сдѣлать рядъ отверстій для входа комнатнаго воздуха въ нишу, а въ подоконникѣ такія же отверстія для выхода его. Въ такомъ случаѣ уже холоднаго тока не получается отъ окна, но зато при такомъ устройствѣ количество передаваем-

мага приборомъ тепла уменьшается и поэтому для одинаковаго дѣйствія съ открытымъ онъ долженъ имѣть большую поверхность, не говоря уже о большой потерѣ тепла, на чемъ остановимся впоследствии.

Вообще, вопросъ о наиболѣе рациональномъ размѣщеніи нагрѣвательныхъ приборовъ будетъ разсмотрѣнъ въ отдѣлѣ парового отопленія, такъ какъ тамъ это имѣетъ наиболѣе существенное значеніе.

## § 50. Опредѣленіе поверхности нагрѣвательныхъ приборовъ.

Количество тепла, выдѣляемое какой нибудь нагрѣвательной поверхностью, находится въ зависимости, какъ отъ температурной разности, такъ и отъ той скорости, съ какой воздухъ притекаетъ къ этому прибору и уходитъ отъ него. Съ увеличеніемъ скорости воздуха увеличивается въ значительной степени и отдача тепла. Такъ, напр., въ камерахъ для подогрѣванія воздуха, гдѣ онъ движется съ большой скоростью, для передачи одного и того же количества тепла требуется поверхность въ нѣсколько разъ меньшая, чѣмъ для обыкновеннаго обогрѣванія какой ниб. комнаты.

На томъ же основаніи для каждой формы нагрѣвательнаго прибора существуетъ опредѣленная высота, при которой получается наибольшее выдѣленіе тепла, такъ какъ, если съ одной стороны при увеличеніи высоты прибора увеличивается скорость движенія воздуха, то съ другой—температурная разность въ верхней части прибора уменьшается и вотъ взаимодействие этихъ 2-хъ причинъ и обуславливаетъ наивыгоднѣйшую высоту. Вообще-же, болѣе низкіе приборы имѣютъ на нѣсколько процентовъ лучшую отдачу, чѣмъ высокіе. Скорость воздуха зависитъ еще отъ разстоянія между стѣной и приборами: оказывается, наилучшіе результаты получаются, если это разстояніе для радиаторовъ составляетъ 10 с.-м., а для ребристыхъ трубъ—5 с.-м. Зависимость эта обуславливается треніемъ воздуха о стѣнки. На этомъ же основаніи оказываютъ большое вліяніе на теплоотдачу и тѣ щиты, которые закрываютъ нагрѣват. приборъ: при надлежащемъ разстояніи щита отъ прибора, а также при совершенно свободномъ проходѣ воздуха внизу и вверху, отдача тепла бываетъ почти та же, какъ и безъ щита. Если же щитъ едѣланъ рѣшетчатымъ и воздухъ входитъ и выходитъ только черезъ боковыя отверстія, то отдача тепла уменьшается на 10%.

Коэффициенты по отдачѣ тепла нагрѣвательными поверхностями въ послѣдніе 2—3 года были установлены довольно точно въ институтѣ по

отопленію и вентиляціи при Шарлоттенбургскомъ Политехникумѣ, пользуясь общей формулой

$$W = Fk(t_m - t_i) \text{ cal.},$$

гдѣ  $F$  — поверхность прибора,

$k$  — коэф. теплопередачи на  $1^\circ\text{C}$  разности между средней температурой внутри прибора и температ. окружающаго воздуха

$$t_m = \frac{t_c + t_a}{2},$$

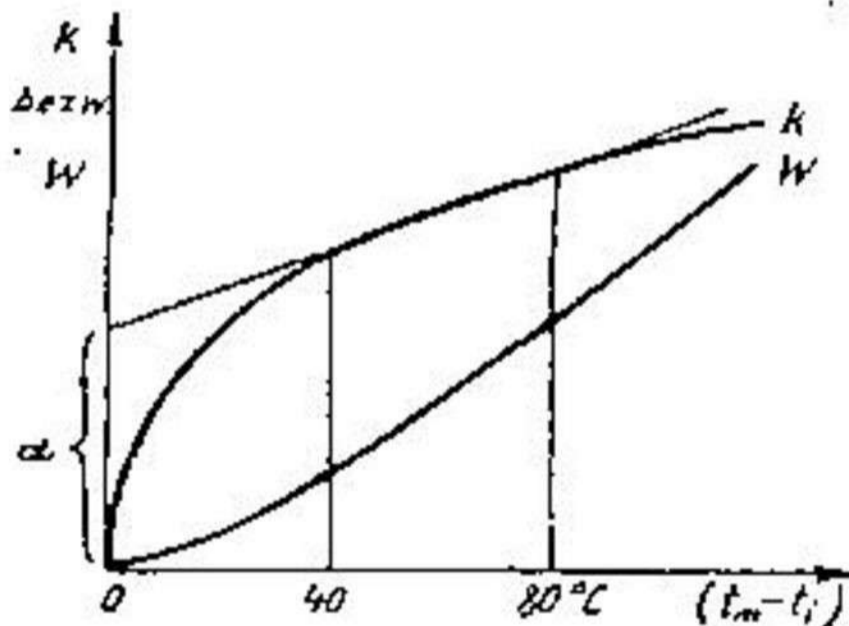
гдѣ  $t_c$  — температ. воды поступающей въ приборъ и

$t_a$  — „ „ „ выходящей изъ прибора

$t_i$  — температура помещенія.

Опыты были произведены для многочисленныхъ значеній  $t_m$  и  $t_i$ , и если полученные результаты изобразить графически, то мы получимъ нѣкоторую кривую для  $k$ , какъ функцію разности  $t_m - t_i$ ; черт. 65 Эта кривая вначалѣ быстро возрастаетъ, а затѣмъ на нѣкоторомъ протяженіи подходит близко къ прямой и для разностей  $(t_m - t_i)$  между  $40^\circ$  и  $100^\circ$  ее можно выразить приблизительно у-іемъ

$$k = \alpha + \beta(t_m - t_i) \dots$$



Черт. 65.

Это ур-іе соотвѣтствуетъ проведенной на чертежѣ (65) прямой линіи, отсѣкающей на оси ординатъ отрѣзокъ  $\alpha$ , величина же  $\beta$  одинакова для всѣхъ нагрѣват. приборовъ и въ указанныхъ выше предѣлахъ температурныхъ разностей

$$\beta = 0,033 = 1/30$$

Для примѣра возьмемъ радиаторъ въ 4 элемента; по табл. (20) для этого прибора  $\alpha = 4,6$  и такимъ образомъ при  $40^\circ$  т-рной разности

$$k = 4,6 + 1/30 \cdot 40^\circ = 5,93 \text{ cal.}$$

при  $70^\circ$

$$k = 4,6 + 1/30 \cdot 70^\circ = 6,93 \text{ cal.}$$

И количество передаваемого тепла съ 1 кв. м. въ первомъ случаѣ будетъ 237 cal., а во второмъ — 485 cal. — болѣе чѣмъ вдвое.

5,93 x 40

6,93 x 70

ТАБЛИЦА 20.

Значенія  $\alpha$  при водяномъ отопленіи.

Приборы.	Число элементовъ радіат. или трубъ въ ребристыхъ батареяхъ.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Радіаторы . . . . .	6,6	5,3	4,9	4,6	4,5	4,4	4,3	4,1	4,06	4,05
Гладкая труба змѣвикъ въ 1 м. высоты . . .	9,5 (1")	—	—	6,4 (2")	—	—	6,9 (1 1/2")	—	—	8,4 (1")
Вертикальный ребрист. лщикъ (ребра 4 с.-м. высот.) . . . . .	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Ребристая батарея . .	3,8	3,2	2,7	2,2	1,9	1,6	—	—	—	—
Обыкновенная длинная ребристая труба . . .	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ребристая батарея съ косыми ребрами . . .	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7

Помѣщенные въ настоящей таблицѣ цифры относятся къ обычному способу подвода горячей воды вверху прибора и при выходѣ охлажденной уже внизу. Для радіаторовъ въ 3 и 4 канала цифры должны быть немного уменьшены, такъ какъ тамъ циркуляція воздуха немного затрудняется. Вообще, здѣсь вездѣ имѣется въ виду обычная циркуляція воздуха отъ нагрѣванія. Отдача же тепла нагрѣват. поверхностями при искусственно повышенныхъ скоростяхъ воздуха будетъ разсмотрѣна впоследствии въ отдѣлѣ вентиляціи.

Для грубыхъ подсчетовъ можно пользоваться такими цифрами выдѣляемаго тепла (при  $95^{\circ}$ —темп. воды входящей и  $75^{\circ}$  выходящей т. е. при т-рой разности  $85^{\circ} - 20^{\circ} = 65^{\circ}$ )

Радіаторы . . 450 cal.

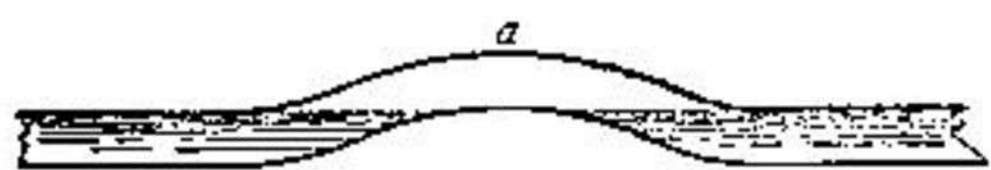
Ребрист. бат. 250 „

Гладкія трубы 500 „

## § 51. Воздушныя трубки.

Вода всегда содержитъ нѣкоторое количество воздуха, который при нагрѣваніи выдѣляется и, пока вода въ системѣ движется вверхъ и, по направленію горизонтальному, воздухъ также уносится теченіемъ; но когда теченіе поворачиваетъ внизъ, то воздухъ останавливается въ этихъ мѣстахъ и при нѣкоторомъ скопленіи затрудняетъ циркуляцію воды и даже можетъ совсѣмъ ее прекратить. Для устраненія этого нежелательнаго явленія и для удаленія изъ системы воздуха, устраиваются, такъ назыв., воздушныя трубки въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ предвидится скопленіе воздуха. Всѣ эти отдѣльныя воздушныя трубки небольшого діаметра соединяются между собой и затѣмъ общей трубой выводятся обыкновенно въ расширительный сосудъ, сообщающійся съ внѣшнимъ воздухомъ. Такой примѣръ представляетъ лѣвая часть фиг. 55-ой. Тамъ водная магистраль находится внизу и на поворотахъ воды изъ вертикальныхъ трубъ въ нагрѣват. приборы воздухъ будетъ останавливаться и прекращать циркуляцію воды. Поэтому отъ всѣхъ такихъ мѣстъ проведены воздушныя трубки и выведены въ расширительный сосудъ. На схемѣ онѣ изображены тонкими линіями.

Однако, выдерживая одинъ и тотъ-же уклонъ трубъ, можно достигнуть того, что воздухъ, поднимаясь по направленію движенія воды, иль обратно, не будетъ нигдѣ застаиваться, а придетъ въ расширительный сосудъ; такимъ образомъ, можно достигнуть устройства системы водяного



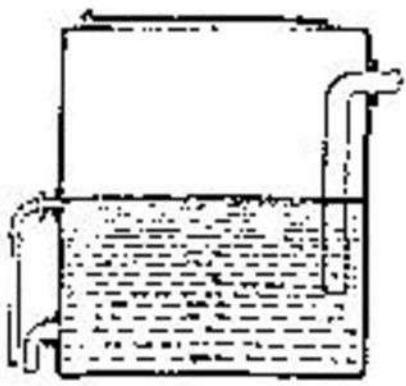
Чрт. 66.

въ спускъ, то въ высшей точкѣ перегиба должна быть установлена воздушная трубка. Черт. (66) даетъ примѣръ, гдѣ воздушная трубка должна быть установлена въ точкѣ *a*.

отопленія безъ воздушныхъ трубокъ (правая часть фиг. 55 и вся фиг. 56). Но если почему-либо приходится уклонъ измѣнять и изъ подъема перейти

## § 52. Расширительный сосудъ.

Расширительный сосудъ устанавливается въ самой высшей точкѣ системы, обыкновенно на чердакѣ. Главное назначеніе его—помѣщать въ себѣ тотъ избытокъ объема воды, который произошелъ отъ расширенія послѣдней при ея нагрѣваніи въ котлѣ и циркуляціонныхъ трубахъ. Кроме того, расширительный сосудъ служитъ еще для сообщенія системы съ атмосферою и для пополненія въ ней убыли воды вслѣдствіе испаренія, выпусканія ея для періодической очистки котла и проч. Объемъ расширительнаго сосуда долженъ быть такимъ, чтобы при нагрѣваніи вновь налитой



Черт. 67.

въ систему воды до высшей температуры весь излишекъ объема вмѣстителя-бы въ сосудѣ и чтобы, кромѣ того, оставалось еще свободное пространство для запаса и для устройства разнаго рода приспособленій, какъ шарового крана и проч.; Расширительный сосудъ представленъ на черт. (67).

### § 53. Расчетъ водяного отопленія низк. давл.

Въ концѣ § 5 1-ой части было указано, что при разсмотрѣнн каждой системы отопленія будемъ обращать вниманіе на выборъ соответствующихъ коэффициентовъ охлажденія помещенія. При расчетѣ печей и калориферовъ мы на этихъ вопросахъ подробно не останавливались, такъ какъ указанные приборы допускаютъ усиленную форсировку и весь расчетъ велся даже на среднюю внѣшнюю температуру за зимніе мѣсяцы. Для водяного же и парового отопленія дѣло обстоитъ совѣмъ иначе. Здѣсь способность къ форсировкѣ очень невелика и въ основаніе расчета уже надо положить не просто среднюю температуру, а среднюю *низшую*. Такъ, если первая т-ра, напр. для Кіева составляетъ  $-5,2^{\circ}$ , то вторая будетъ уже  $-23^{\circ}$ . Поэтому большая неточность или ошибка въ коэффициентахъ охлажденія влечетъ за собой и существенную ошибку въ устройствѣ самого отопленія.

Въ настоящее время для опредѣленія потери тепла зданіями при водяномъ и паровомъ отопленіи употребляютъ большею частью коэффициенты, помещенные въ таблицѣ 5-ой 1-ой части по Ритшелю. Кромѣ того въ полученные цифры потерь тепла вносятся еще нѣкоторыя поправки, а именно:

для частей зданія, обращенныхъ на сѣверъ	цифры увеличиваются на	$20\%$
„ „ „ сѣв.-востокъ, сѣв.-зап. и вост.	„	$15\%$
„ „ „ западъ . . . . .	„	$5\%$

Для помещеній, имѣющихъ высоту болѣе 4 метровъ на каждый слѣдующій метръ добавляется . . . . .	$2\frac{1}{2}\%$
по въ общемъ не болѣе . . . . .	$20\%$

Полученныя такимъ образомъ потери тепла считаются имѣющими мѣсто въ состоянн установленшемся и поэтому, если отопленіе производится съ нѣкоторыми перерывами, то въ такомъ случаѣ также необходима соответствующая поправка.

При этомъ расчетѣ предполагается, что нагревательные приборы установлены у наружныхъ стѣнъ. Если же установить ихъ у внутреннихъ стѣнъ, то полученные цифры потерь тепла можно уменьшить для водяного отопленія на  $10\%$ , а для парового на  $20\%$ .



Совсѣмъ иначе приходится вести настоящій расчетъ, въ томъ случаѣ, если отопленіе производится въ зданіи только періодически, съ очень большими промежутками, какъ, напр., въ церквахъ, когда отопленіе дѣйствуетъ только во время Богослуженій и проч. Въ этомъ случаѣ одинъ расчетъ потери тепла зданіемъ еще не даетъ никакихъ результатовъ, такъ какъ во время топки теплота, выдѣляемая приборами, прежде всего должна нагрѣть холодный воздухъ этого помѣщенія до нѣкоторой высоты, а затѣмъ уже холодныя стѣны, своды и полъ начнутъ отнимать тепло отъ воздуха. Такимъ образомъ, въ данномъ случаѣ расчетъ надо вести такъ. Если мы время нагопки помѣщенія до необходимой т-ры ( $10^{\circ}—12^{\circ}\text{C}$ ) обозначимъ черезъ  $\varepsilon$ , а количество тепла, необходимое на нагрѣваніе всего внутреннего воздуха обозначимъ черезъ  $W_1$ , то въ часъ, слѣдовательно, на это потребуется  $\frac{W_1}{\varepsilon}$  cal. Далѣе, въ такихъ случаяхъ стѣны прогреваются не на всю свою толщину иногда очень большую, а на 12—15 с.-м. и на 1 куб. метр. нагрѣтой массы стѣны приходится до 500 cal. и, если все это тепло обозначимъ черезъ  $W_2$ , то въ часъ потребуется расходъ въ  $\frac{W_2}{\varepsilon}$ . Кроме того сюда надо еще присоединить и обычную потерю тепла наружу въ часъ— $W_3$  и вся потребность тепла въ часъ опредѣлится этими тремя слагаемыми. Но при этомъ надо замѣтить что для рассматриваемыхъ случаевъ водяное отопленіе почти никогда не примѣняется, а исключительно паровое.

Величина поверхности нагрѣва котла, передающая тепло отъ горячихъ газовъ къ водѣ, зависитъ отъ чистоты стѣнокъ котла, температурной разности и скорости циркуляціи воды. Обыкновенно для расчета поверхности котла даются общія нормы передаваемого тепла на 1-цу поверхности *отъ среднѣмъ*, но на самомъ дѣлѣ количество передаваемого тепла въ различныхъ частяхъ нагрѣвательной поверхности очень неравномѣрно и для уясненія этого обстоятельства очень интересны опыты инженера de Grahl\*). Такъ, напр., стоячій котелъ съ вертикальными дымогарными трубками, наполнительной шахтой и обмуровкой (нов. 9,05 кв. м.) далъ слѣдующіе результаты:

Нижняя часть, омываемая пламенемъ—	38.200 cal.	съ 1 кв. метр.
Дымогарныя трубки . . . . .	3.265	»   »   »
Верхняя часть и наружн. поверхность—	1.575	»   »   »

2-ой случай—горизонтальный сѣдло-образный котелъ съ дымогарными трубками наполнительной шахтой, 3,66 кв. м. поверхность нагрѣва:

\*) Ges. Ing. 1906, № 44. О другихъ изслѣд. г. De-Grahl упоминалось уже въ 1-й части стр. 50.

Часть, омыв. пламенемъ . . . . .	98.700 cal. съ 1 кв. м.
Остальная нижн. часть (нерв. дым.) .	69.300 " " "
Дымогарн. трубки . . . . .	1.500 " " "
Боковая часть . . . . .	600 " " "

Изъ этихъ 2-хъ примѣровъ видно, какое большое значеніе имѣетъ поверхность, непосредственно омываемая пламенемъ и второстепенное значеніе дымогарныхъ трубокъ. Кроме того отсюда видно, что при форсировкѣ съ 1 кв. м. можно получить довольно большое количество тепла, хотя-бы и при пониженіи коэфф. полезнаго дѣйствія топки. Особенно отличаются въ этомъ отношеніи чугунные составные котлы, имѣющіе большую топку внутри котла. Въ этихъ котлахъ средняя производительность можетъ достигать до 20.000 cal. съ 1 кв. м., но, конечно, въ такомъ случаѣ коэфф. полезнаго дѣйствія сильно падаетъ. Поэтому рассчитывать на форсировку можно только въ исключительныхъ случаяхъ и при опредѣленіи поверхности нагрѣва котла слѣдуетъ брать умеренныя значенія количества тепла съ 1 кв. м. даже при самой низкой температурѣ и при повышеніи т-ры коэфф. полезнаго дѣйствія будетъ повышаться. Другое дѣло съ самой топкой и колосниковой рѣшеткой. Если ихъ рассчитать по максимальному количеству тепла, то, какъ уже указывалось выше, во все остальное время онѣ будутъ работать не экономно. Поэтому послѣднія надо рассчитывать, имѣя въ виду нѣкоторую форсировку въ большіе холода, а также и дѣлать полученную поверхность нагрѣва на два котла, но не одинаковой величины, а въ отношеніи 1:2 или 2:3.

Изъ таблицы 8-ой и 9-ой 1-ой части (стр. 46) мы видимъ, какъ быстро падаетъ %  $\text{CO}_2$  въ топкѣ при пониженіи интенсивности горѣнія до 70% максимальнаго (съ 44 ф. на 30), а именно съ 12—13% до 5—5,5%. Отсюда ясно, какъ невыгодно ставить одинъ котель, рассчитанный на максимальную потребность тепла.

Обыкновенно въ настоящее время принимаютъ слѣдующія нормы съ 1 кв. м. при опредѣленіи поверхности нагрѣва котла для водяного и парового отопленій.

Котлы съ прогарными трубами	9000—10.000 cal.
„ „ дымогарными „	7000— 8.000 „
Чугунные составн. котлы . . .	9000—12.000 „

Такъ какъ топка не производится непрерывно цѣлыя сутки даже въ наибольшіе холода, а всегда должны быть нѣкоторые перерывы, то обыкновенно во время этихъ перерывовъ температура воды въ системѣ падаетъ на значительную величину въ зависимости отъ продолжительности перерыва. Поэтому при топкѣ приходится, слѣдов., покрывать не только текущій часовой расходъ тепла помѣщеніями, но еще и давать нѣкоторый излишекъ для компенсаціи охлажденія при перерывѣ.

Прибавку эту можно определять по слѣдующей эмпирической формулѣ проф. Ритшеля

$$Z = \frac{0,0626(n - 1)W}{\varepsilon}.$$

Эта формула дается для ночного перерыва отопленія и здѣсь обозначаютъ:

$n$  — время перерыва въ часахъ,

$W$  — часовой расходъ тепла помещеніемъ,

$\varepsilon$  — время натопки, т. е. тотъ періодъ послѣ начала топке, когда система уже придетъ въ установившееся состояніе.

Пмѣя въ виду только что указанную часовую прибавку  $Z$ , поверхность котла опредѣляется уже такимъ образомъ:

$$F = \frac{1,1(W + Z)\varepsilon + (A + 0,12B)(t_1 - \vartheta)}{W_2\varepsilon},$$

гдѣ обозначаютъ кромѣ только что указанныхъ величинъ:

$A$  — количество всей воды въ системѣ въ kg.

$B$  — вѣсъ желѣзныхъ частей системы (0,12 — теплоемк. жел.)

$t_1$  — средняя т-ра воды въ системѣ въ установивш. состоян.

$\vartheta$  — т-ра воды въ концѣ перерыва (обыкновен. принимается въ 30°)

$W_2$  — принимаемая норма тепла съ 1 кв. м. поверхности нагрѣва котла.

*Расчетъ трубопровода.* Если мы возьмемъ трубу діаметромъ  $d$ , то, при скорости теченія воды въ этой трубѣ  $v$  въ 1" и охлажденіи воды съ  $T$  на  $t$ , количество тепла, которое можетъ доставить взятая труба въ 1 часъ будетъ такое ( $v$  и  $d$  въ метрахъ):

$$W = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \cdot 3600 (T - t) \cdot 1000 \frac{\gamma_c + \gamma_a}{2} \text{ cal.}$$

гдѣ  $\gamma_c$  — плотность горячей воды

и  $\gamma_a$  — „ „ охлажденной воды;

принявши первую для 90° и вторую для 60°, получимъ такое выраженіе для  $v$ :

$$v = \frac{W}{2753700 d^2 (T - t)}$$

Это та скорость въ метрахъ, которая должна быть въ трубѣ, для того чтобы она могла доставить необходимое количество тепла. Для полученія этой скорости мы должны располагать пѣкоторымъ напоромъ, а именно: какъ извѣстно изъ гидравлики,

$$p = \frac{v^2}{2g} \gamma_m \left( 1 + \frac{\rho l}{d} + \Sigma \zeta \right)$$

здѣсь обозначаютъ:

$p$ —напоръ въ метрахъ столба воды,

$\gamma_m$ —средняя плотность воды,

$\rho$ —коэф. тренія воды о стѣнки трубы,

$l$ —длина трубы,

$\Sigma \zeta$ —сумма отдѣльныхъ единичныхъ сопротивленій какъ-то: повороты, крапы, вентили и проч.

Такъ какъ при установившейся цвркуляціи пріобрѣтенная скорость, вообще, не теряется, а напоръ необходимъ только для преодоленія вредныхъ сопротивленій, то въ такомъ случаѣ первый членъ въ скобкахъ—1 отпадаетъ и у-іе получаетъ такой видъ

$$p = \frac{v^2}{2g} \gamma_m \left( \frac{l\rho}{d} + \Sigma \zeta \right).$$

Теорія водяного отопленія низкаго давленія разработана проф. Ритшелемъ, который въ цѣломъ рядѣ изданій своего извѣстнаго труда *Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Luftungs-und Heizungs-Anlagen* вносилъ все новыя и новыя поправки. Въ послѣднихъ изданіяхъ для облегченія разсчета г. Ритшель помѣстилъ множество таблицъ, которыя въ значительной степени сокращаютъ время для разсчета и, главное, уменьшаютъ количество утомительныхъ чисто механическихъ вычисленій.

Въ основаніе своихъ разсчетовъ г. Ритшель положилъ извѣстную старую формулу Вейсбаха для коэф. тренія  $\rho$ , а именно:

$$\rho = 0,01439 + \frac{0,0094711}{\sqrt{v}}.$$

Новѣйшія изслѣдованія не подтверждаютъ точности этой формулы и даютъ другія выраженія, значительно отличающіяся отъ приведеннаго выраженія Вейсбаха. Такъ Лангъ даетъ такую формулу для обыкновенныхъ желѣзныхъ трубъ:

$$\rho = 0,02 + \frac{0,0018}{\sqrt{v \cdot d}}$$

Наибольшую точностью въ настоящее время обладаютъ формулы Вил'я, которыя очень удобны тѣмъ, что въ нѣкоторыхъ предѣлахъ скоростей коэффиціенты не зависятъ отъ послѣднихъ. Такъ для очень малыхъ скоростей, а именно:

$$v < \frac{0,204}{d} \cdot \frac{[\eta]}{\gamma}$$

дастъ достаточно точные результаты старая формула Poiseulle:

$$p = 0,0003262 \frac{lv}{d^2} \frac{[\eta]}{\gamma} \text{ метр. водян. ст.}$$

Для скоростей выше этого предѣла, но

$$v < \frac{11,2}{\sqrt{d}} \frac{[\eta]}{\gamma} \text{ м.}$$

$$p = \frac{l v^2}{250d} \left( 0,33 + \frac{0,036}{\sqrt{d}} \right) \text{ метр.}$$

и, наконецъ для скоростей выше указаннаго предѣла

$$p = \frac{4 l v^2}{d} \left( a + \frac{2f}{\sqrt{d}} + \frac{2b}{v\sqrt{d}} \frac{[\eta]}{\gamma} \right) \text{ метр. вод.}$$

коэф.  $b$  можно замѣнить такимъ выраженіемъ

$$b = \frac{2,5}{100f} + 2$$

здѣсь  $a$ —постоянное число=0,12.

Коэф.  $f$  для газовыхъ и водопроводныхъ желѣзныхъ трубъ = 0,018.  $\gamma$ —плотность воды,  $[\eta]$ —коэф. вязкости приведенъ въ таблицахъ въ концѣ книги.

Въ разсматриваемомъ нами водяномъ отопленіи скорости воды невелики и почти все укладываются между приведенными выше предѣлами, а потому для расчета трубопровода годится средняя формула для опредѣленія потери давленія. Формула Вейсбаха содержитъ только зависимость коэф. тренія отъ скорости и не имѣетъ зависимости отъ діаметра трубъ, между тѣмъ послѣдняя имѣетъ гораздо большее значеніе чѣмъ первая и при малыхъ діаметрахъ по Вейсбаху получаются сопротивленія меньше дѣйствительныхъ.

Если мы возьмемъ, напр., трубу въ 1" (0,025 м.) и скорость въ 0,2 м., то для 10 метр. длины по формулѣ Вейсбаха (средней) мы получимъ сопротивленіе 0,0357 метра, а по Ритшелю и Вейсбаху—0,029 м., т. е. почти на 6 м.м. или на 16,7% меньше. Для трубы въ 3" результаты по той и другой формуламъ получаются одинаковые (для взятой нами скорости 0,2 м.)— $p = 0,01$  м.

Такимъ образомъ при расчетѣ по таблицамъ Ритшеля получается значительная неточность. Это отмѣчаетъ и самъ авторъ этого расчета въ послѣднемъ изданіи (1909 г.) своей книги, но считаетъ, что вслѣдствіе потери тепла трубами на пути эта ошибка компенсируется; получающееся же уменьшеніе отдачи тепла у отдаленныхъ нагрѣвательныхъ приборовъ онъ объясняетъ той же потерей тепла трубами и совѣтуетъ поэтому такіе приборы рассчитывать съ нѣкоторымъ запасомъ.

Ниже мы приведемъ расчетъ на основаніи точныхъ формулъ Вейсбаха.

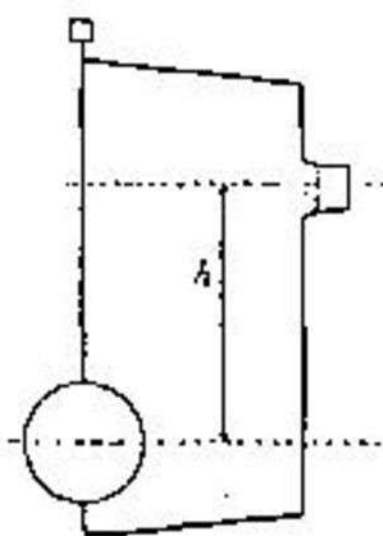
Что касается  $\zeta$ -коэф. для отдѣльныхъ потерь давленія вследствие поворотовъ, измѣненія сѣченія, краповъ, вентиля и проч. то имъ въ настоящее время придаютъ такія численныя значенія.

Прямоугольное колѣно . . . . .	$\zeta = 1.$
Круглое колѣно . . . . .	$= 0,5$
Измѣненіе сѣченія (котель, нагрѣв. приб.) . . . . .	$= 1,0$
Открытые крапы и задвижки при условіи пестисненія сѣченія . . . . .	$= 0,1—0,3$
Вентиль отлогой формы . . . . .	$= 5,3$
Тоже, но короткій тарелочный . . . . .	$= 16,6$
Угловой вентиль . . . . .	$= 2,6$

Повороты съ большимъ радіусомъ кривизны не принимаются во вниманіе.

Какъ видно изъ настоящей таблицы, сопротивленіе при прохожденіи воды черезъ расширеніе  $\zeta = 1$ , но это не значитъ, что этимъ ограничивается все сопротивленіе при прохожденіи черезъ нагрѣвательный приборъ или котель. Коэф.  $\zeta = 1$  обозначаетъ только, что вода потеряла свою скорость и должна опять ее приобрѣсти, но при этомъ остаются еще обычныя сопротивленія при прохожденіи воды черезъ эти приборы, какъ то: прохожденіе по трубамъ въ ребристыхъ приборахъ и радіаторахъ, а такъ же черезъ соединительныя шпелея въ послѣднихъ и проч. При вступленіи же воды въ трубу опять получается сжатіе струи, что даетъ новое  $\zeta = 1$  \*) и поэтому въ этихъ случаяхъ вмѣсто  $\zeta = 1$  надо брать  $\zeta = 2$ .

И такъ, пользуясь тѣми или другими формулами, можно опредѣлить тѣ сопротивленія, которыя испытываетъ вода при своемъ движеніи по трубамъ. Для преодоленія же этихъ сопротивленій мы должны обладать соотвѣтствующимъ давленіемъ.



Черт. 68.

На чер. (68) изображена схема водяного отопленія въ простѣйшемъ своемъ видѣ, а именно здѣсь имѣется только одинъ нагрѣвательный приборъ и одна вѣтвь трубопровода. Если мы предположимъ, что на своемъ пути труба тепла не теряетъ, а выдѣляетъ его только нагрѣвательный приборъ и если мы черезъ середину котла и нагрѣват. прибора проведемъ горизонтальныя плоскости, то въ лѣвой части этой системы мы будемъ

\*) При линейномъ сжатіи 0,85 сѣченіе уменьшается въ отношеніи  $1 : 0,85^2 = 1,39$  въ этомъ отношеніи должна увеличиться скорость, а необходимое давленіе для этого должно быть больше въ  $1,39^2 = \approx 2$ .

имѣть столбъ воды  $h$  съ температурой  $T$ , а въ правой съ т-рой  $t$ . Вѣсъ перваго будетъ  $h\gamma_a$  и втораго  $h\gamma_c$ , т. е. правая часть будетъ тяжелѣе лѣвой на величину  $h(\gamma_a - \gamma_c)$  — вотъ эта разность и будетъ служить движущей силой для преодоленія всѣхъ вредныхъ сопротивленій. Такъ какъ обыкновенно всякая система состоитъ изъ множества нагрѣвательныхъ приборовъ, расположенныхъ въ различныхъ горизонтальныхъ плоскостяхъ (этажахъ), то, слѣдов., для каждаго такого ряда приборовъ будетъ своя движущая сила въ зависимости отъ высоты расположенія приборовъ и чѣмъ выше они находятся, тѣмъ большей движущей силой располагаютъ.

Такимъ образомъ, въ худшихъ условіяхъ находятся приборы въ ближайшемъ къ котлу этажѣ; изъ послѣднихъ же, въ наилучшихъ условіяхъ будетъ находиться приборъ наиболѣе удаленный отъ котла, такъ какъ сопротивление, какъ мы выдѣли, возрастаетъ пропорціонально длинѣ трубопровода. При нашихъ расчетахъ мы всегда должны начинать съ этихъ наиболѣе неблагоприятно расположенныхъ приборовъ.

Движущая сила возрастаетъ также и съ увеличеніемъ разности  $\gamma_a - \gamma_c$ , или разности  $T - t$ , но для пониженія  $t$  мы должны увеличивать поверхность нагрѣвательныхъ приборовъ и поэтому обыкновенно эту разность сильно не увеличиваютъ, а доводятъ до  $20^\circ - 30^\circ$ .

Если мы примемъ эту разность въ  $30^\circ$ , то при т-рѣ воды  $90^\circ - 60^\circ$   $\gamma_a - \gamma_c = 17,9$  kg., т. е. на каждый метръ высоты между котломъ и приборомъ получается давленіе въ 17,9 м.м.

При меньшей разности т-рѣ получится и давленіе соотвѣтственно меньшее и тогда діаметры трубъ увеличатся, но зато уменьшится поверхность нагрѣвательныхъ приборовъ.

При охлажденіи воды на  $25^\circ$  \*) разность вѣсовъ получается въ 14,6 kg. — 14,6 м.м. давленія, а при  $20^\circ$  \*\*) въ 11,4—м.м. на 1 метръ высоты. Задавши же любой разностью т-рѣ горячей и охлажденной воды, по таблицѣ плотностей воды при различныхъ т-рахъ легко, конечно, опредѣлить и величину давленія, которымъ можно располагать.

Обозначая это давленіе на 1 метръ черезъ  $a$  и выбравши наиболѣе неблагоприятно расположенный нагрѣвательный приборъ, напр., I черт. (69) получаемъ общее давленіе  $ha$ , которымъ мы располагаемъ для всей замкнутой линіи  $AB C_2 D_2 E_2 I e_2 d_2 c_2 ba$ , а раздѣливши это давленіе на всю длину этой линіи, мы получаемъ паденіе давленія на 1 погонный метръ нашей магистрали; но нѣсколько, конечно, не обязательно давать одинаковое паденіе давленія по всей длинѣ этой магистрали, можно дѣлать и другія комбинаціи: напр., для большихъ трубъ—большія паденія, а для малыхъ—меньшія, или наоборотъ, п т. д. Принимая же во вниманіе длину каждаго участка нашей магистрали  $AB, BC_2, C_2D_2$  и т. д., можемъ уже такъ или

\*)  $85^\circ - 60^\circ$ .

\*\*)  $80^\circ - 60^\circ$ .

иначе въ каждой узловой точкѣ  $B, C_2, D_2 \dots$  опредѣлить имѣющееся тамъ давленіе, а затѣмъ по формуламъ

$$v = \frac{W}{\sqrt{27567000 (L' - t) d^3}} \quad (\alpha)$$

$$p = \frac{l v^2}{250 d} \left( 0,33 + \frac{0,036}{\sqrt{d}} \right) \quad (\beta)$$

и

$$p' = \frac{v^2}{2g} \cdot \Sigma \zeta \quad (\gamma)$$

подобрать необходимые діаметры. Рѣшеніе этой задачи усложняется тѣмъ, что здѣсь входятъ два рода сопротивленій  $p$  и  $p'$ —отъ тренія и отдѣльных, единичныхъ сопротивленій, поэтому, если бы эти два выраженія свести въ одно, то это въ значительной степени упростило-бы задачу. Какъ мы видѣли, въ формулѣ г. Ритшеля выраженіе для  $p'$  введено въ скобку выраженія  $p$ , но это дѣлу мало помогаетъ, такъ какъ все равно приходится его отдѣльно вычислять.

Гораздо удобнѣе сопротивленіе  $p'$  замѣнить нѣкоторой добавочной длиной трубы, которой бы сопротивленіе по формулѣ (β) равнялось-бы сопротивленію по формулѣ (γ), т. е. принимая  $\zeta = 1$ , пишемъ:

$$\frac{v^2}{2g} \gamma \cdot 1 = \frac{l' v^2}{250 d} \left( 0,33 + \frac{0,036}{\sqrt{d}} \right)$$

откуда

$$l' = \frac{\gamma}{2g} \cdot \frac{250 d}{0,33 + \frac{0,036}{\sqrt{d}}} \text{ метровъ.}$$

Если у насъ  $\zeta =$  не 1, а 2,  $2\frac{1}{2}$ , 3 и т. д., то мы прибавляемъ къ имѣющейся длинѣ трубы еще нѣкоторую добавочную длину— $l', 2l', 2\frac{1}{2}l'$  и т. д. Въ таблицѣ, помѣщенной въ концѣ книги, эти всѣ длины вычислены въ метрахъ для  $\zeta$  отъ 1 до 5 и для трубъ отъ 14 м.м. до 169 м.м.

Такимъ образомъ, у насъ теперь вопросъ сводится къ разрѣшенію двухъ у-ій (α) и (β), при чемъ и неизвѣстныхъ у насъ двѣ —  $v$  и  $d$ ; но все таки въ такомъ видѣ рѣшеніе это получилось бы очень утомительнымъ со множествомъ, хотя и не сложныхъ, но довольно скучныхъ передѣлокъ и поэтому работу эту надо новозможности еще облегчить.

Такъ какъ діаметры трубъ измѣняются не безпредѣльно, а наоборотъ—имѣется въ продажѣ только сравнительно небольшое число опредѣленныхъ размѣровъ ихъ, то при  $l = 1$  м. задавшись рядомъ значеній для  $p$  въ формулѣ (β) съ постоянными интервалами, мы можемъ получить такимъ образомъ для всѣхъ примѣняемыхъ діаметровъ нѣкоторую таблицу значеній  $v$ , а при помощи у-ія (α) и значеній  $W^*$ ). Вотъ теперь, располагая этой таблицей, и

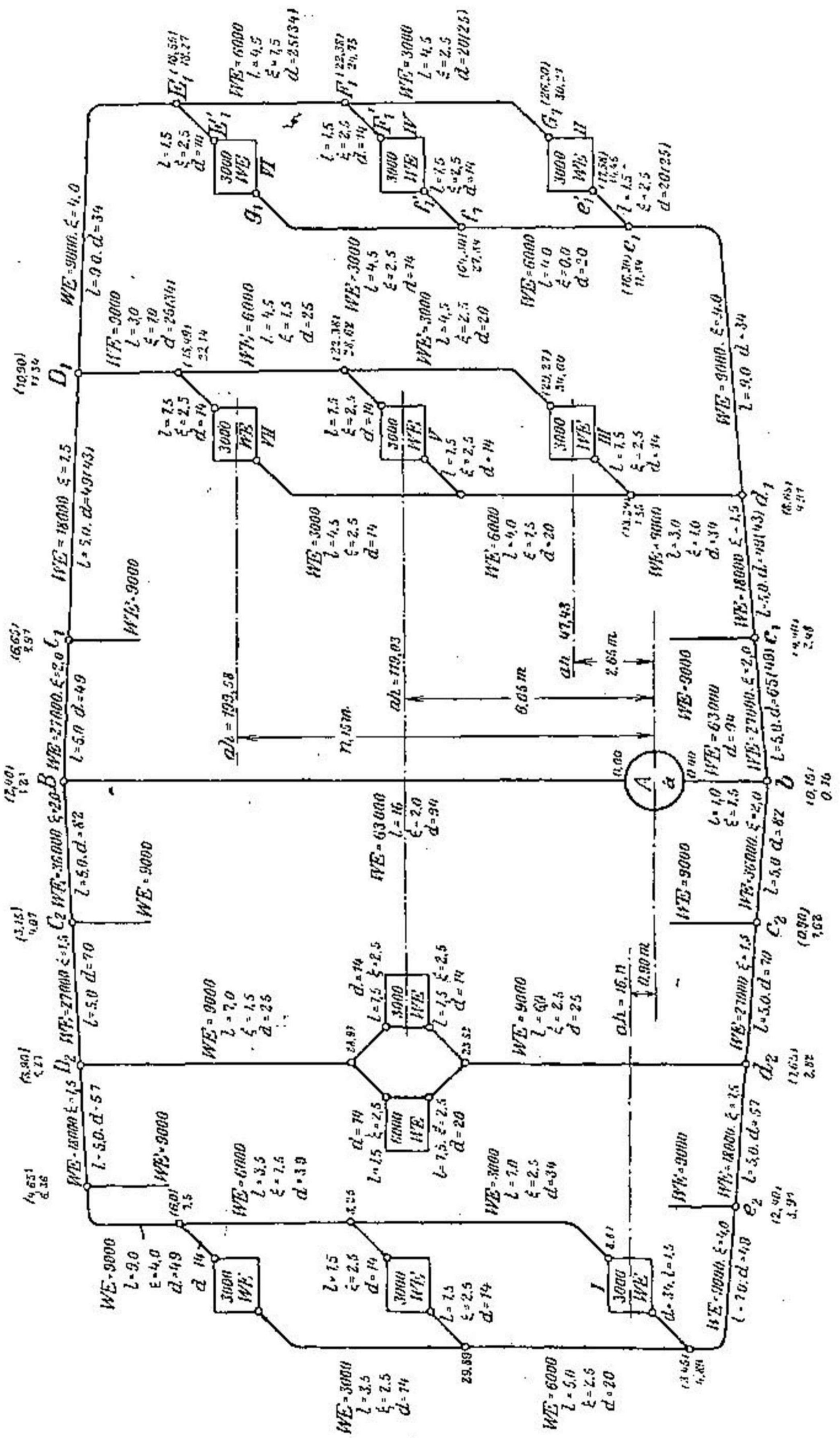
\*-) Таблицы помѣщены въ концѣ книги.



имѣя уже раньше определенное или принятое паденіе давленія, легко находимъ уже, какому діаметру соотвѣтствуетъ искомое количество тепла  $W$  и вопросъ разрѣшается очень просто. Первый подсчетъ такой надо сдѣлать, не принимая во вниманіе значеній  $\zeta$  и такъ какъ обыкновенно количество тепла  $W$  въ таблицѣ никогда не совпадаетъ съ требующимся, то приходится брать ближайшее большее и поэтому діаметры получаются всегда почти съ нѣкоторымъ запасомъ, которымъ и покрываются при второй провѣркѣ сопротивленій  $\zeta$ . Только что изложенный способъ расчета трубъ при водяномъ отопленіи разработанъ нѣмецкимъ инженеромъ Рекнагелемъ и все относящіяся сюда таблицы взяты изъ его книги: „Hilfstabellen zur Berechnung von Warmwasserheizungen“ (1909).

### § 54. Численный примѣръ расчета трубопровода.

Пусть намъ дана для расчета система, изображенная схематически на черт. (69). Наивысшая т-ра пусть будетъ  $90^\circ$  и послѣ охлажденія— $60^\circ$ , какъ указано выше,  $\alpha=17,9$  м.м. Наиболее неблагоприятно расположенъ приборъ—въ лѣвой части I-ый, находящійся на высотѣ 0,90 м. надъ котломъ и, слѣдовательно, напоръ для всей лѣвой магистрали вмѣстѣ съ этимъ приборомъ и котломъ будетъ  $0,9 \cdot 17,9=16,11$  м.м. Для правой же части въ худшихъ условіяхъ находится II-ой приборъ на высотѣ 2,65 м. и для правой магистрали напоръ уже будетъ  $2,65 \cdot 17,9=47,43$  м.м. Этотъ примѣръ взятъ нами у Рекнагеля и авторъ опредѣляетъ сопротивленіе для котла и радиаторной печи въ 2,68 м.м. Мы къ этому вопросу еще вернемся, а теперь пока примемъ также эту величину, которая будетъ приблизительно одинакова для всѣхъ печей этой системы. Итакъ въ лѣвой части мы располагаемъ для трубъ напоромъ  $16,11 - 2,68=13,43$  м.м., а въ правой— $44,75$  м.м. Обратимся теперь къ лѣвой части. Общая длина всей линіи  $A B C_2 D_2 I e_2 d_2 e_2 b a$ . — 75 метр. и поэтому потеря напора на 1 м. приходится  $13,43:75=0,179$  м.м. Такъ какъ въ соотвѣтствующей табл. имѣются данныя только для 0,15 м.м. и 0,20 м.м., а наше число лежитъ въ промежуткѣ и нѣсколько ближе ко второму, то мы можемъ взять сопротивленіе на первыхъ 35 м. по 0,20 м.м., а на остальныхъ 40 м. по 0,15 м.м. или все опредѣлить по 0,15. Въ такомъ случаѣ размѣръ трубъ легко получается изъ таблицы. Для перваго подсчета возьмемъ все по 0,15 и въ этой строчкѣ таблицы мы находимъ ближайшее большее для 63 тыс. cal.—66.557 cal. для трубы въ 94 м.м., для 36 тыс. cal.—46.826 и  $d=82$  м.м., для 27 тыс. cal.—31.177,  $d=70$ , для 18 тыс. cal.—18.384 cal.,  $d=57$  м.м., для 9 тыс. cal.—12.445 cal.,  $d=49$  м.м., для 6 тыс. cal.—6905 cal.,  $d=39$  м.м. и для 3 тыс. cal.—4835 cal. и  $d=34$  м.м.



Точно такимъ же способомъ опредѣлятся діаметры и для правой части; надо только помнить, что изъ имѣющагося напора 44,75 м.м. часть уже использована на общую подъемную трубу — до котла 1 м. и послѣ котла 16 м., а именно: напоръ  $17.0,15=2,55$  м.м. т. е. остается 42,2 м.м. при длинѣ трубъ 48,5 м., на 1 м. — 0,87 м.м.; изъ той же таблицы, для  $p=0,85$  для 27 т. сал. находимъ—29.625 сал.,  $d=49$  м.м., для 18 т. сал.—21.313,  $d=43$  м.м., для 9 т. сал.—11.572 сал.,  $d=34$  м.м., для 6 т. сал.—11.572,  $d=34$  м.м. для 3 т. сал.—5176 сал.,  $d=25$  м.м. Теперь, какъ уже указывалось, необходимо высчитать и обозначить сопротивленія во всѣхъ узловыхъ точкахъ, что сдѣлано на чертежѣ (цифры въ скобкахъ).

Для прибора III, паходящагося въ томъ же этажѣ, какъ II и, слѣдов., работающаго при томъ же напорѣ 44,75 м.м., изъ котораго до точекъ  $d_1$  и  $D_1$  уже использовано 8,65 + 10,9 м.м. и на остальную часть  $D_1$  III  $d_1$  остается 25,2 м.м. при длинѣ 16,5 метр., т. е. на метръ 1,53 м.м. Изъ таблицы находимъ въ строкѣ  $p=1,4$  для 9000 сал.  $d=34$  м.м., для 6000 сал.  $d=25$  м.м. и для 3000 сал.  $d=20$  м.м.

Нагрѣват. приб. IV имѣетъ напоръ  $ah=6,65 \cdot 17,9=119,03$  м.м., изъ этого напора уже израсходовано: на нагр. приборъ и котель 2,68 м.м. и до точекъ  $e_1$  и  $F$ , 16,3 + 22,38 м.м. и при 7 метрахъ длины на 1 м. приходится 11,1 м.м., и по табл. по строкѣ  $p=12$  для 6000 сал.  $d=20$  м.м. и для 3000 сал.  $d=14$  м.м. Такимъ же точно образомъ эта величина  $d$  получается и для V прибора.

Для VI прибора  $ah=11,15 \cdot 17,9=199,58$  м.м. и въ строкѣ  $p=20$  для 3000 сал. находимъ  $d=14$  м.м.; тоже самое и для VII прибора.

Полученные діаметры вычислены, не принимая во вниманіе отдѣльныхъ единичныхъ сопротивленій  $\zeta$ , но, какъ можно было видеть, расчетъ велся съ значительнымъ запасомъ и вычисленные діаметры почти всѣ будутъ удовлетворять при подсчетѣ вмѣстѣ съ сопротивленіемъ  $\zeta$  и поэтому такимъ расчетомъ можно вполне ограничиться при такъ называемомъ предварительномъ подсчетѣ для сооставленія сметы. ✓

Но теперь и болѣе точный расчетъ не потребуетъ много времени. Для сопротивленій  $\zeta$  будемъ пользоваться указанной уже таблицей и для перваго участка, гдѣ  $d=94$  м.м.,  $\zeta=2$  и добавляемая длина  $l'=5,4$  м. Такимъ образомъ, въ точкѣ B сопротивленіе будетъ не 2,4 м.м., какъ раньше, а  $0,15(16+5,4)=3,21$  м.м.

Для участка  $BC_1$  діаметръ  $d=49$  м.м. Для этого діаметра въ таблицѣ въ строкѣ  $p=0,75$  имѣется подходящее число сал. 27.812, въ первомъ же подсчетѣ  $p$  принято было 0,85 и  $W=29.615$ . Для  $\zeta=2$  по таблицѣ  $l'=2,60$  м.м. и поэтому потеря давленія будетъ такая:  $(5+2,60)0,75=5,70$  м.м. Для уч.  $C_1 D_1$ ,  $d=43$  м.м., т. е.  $1\frac{3}{4}$ " , но такъ какъ такой трубы въ продажѣ не встрѣчается, то необходимо взять опять 49 м.м. (2") и для 18.000 сал. подходящее число въ таблицѣ находится въ строкѣ  $p=0,35$  (19.004); при  $\zeta=1,5$ ,  $l'=1,95$  и потеря давленія— $(5+1,95)0,35=2,43$  м.м.

Такимъ точно образомъ можно вести расчетъ и дальше. Всѣ получающіяся новыя цифры потерь отмѣчены на чертежѣ рядомъ съ прежними (въ скобкахъ).

При этомъ надо обратить вниманіе на слѣдующее.

1) Велѣдетвіе низкаго положенія прибора I въ лѣвой части напоръ очень малъ и на участкѣ  $d_2, c_2, b$  скорость незначительна, а въ  $d_1, c_1, b$  много больше и поэтому при встрѣчѣ 2-хъ такихъ потоковъ въ точкѣ  $b$  можетъ произойти нарушеніе правильности циркуляціи воды. Для предупрежденія этого необходимо вмѣсто простого тройника въ точкѣ  $b$  сдѣлать присоединеніе одно выше другого.

2) На участкѣ  $f_1, e_1, d=20$  м.м. очень великъ, а  $d=14$  м.м. не хватаетъ, а потому можно его сдѣлать на нѣкоторомъ протяженіи въ 20 м.м., а остальное въ 14 м.м. Если же этого не сдѣлать, то придется урегулировать излишекъ давленія здѣсь сокращеніемъ прохода въ вентилѣ. Очень часто можно встрѣтить мнѣніе, что излишекъ давленія приноситъ пользу, но на самомъ дѣлѣ это не вѣрно, такъ какъ такіе излишки въ нѣкоторыхъ мѣстахъ нарушаютъ правильность циркуляціи и поэтому надо стремиться къ равномерному распредѣленію давленій.

3) Въ данномъ дѣлѣ діаметры менѣе 14 м.м. не примѣняются вслѣдствіе ихъ ненадежности, а потому въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ по необходимости получиться большой избытокъ давленія. Въ такомъ, напр., положеніи находится нагрѣв. прибор. VI. Онъ располагаетъ давленіемъ въ 196,90 м.м., а до точки  $E_1$  использовано 18,27 м.м. и отъ точки  $f_1$  — 27,84 м.м. (если  $f_1, e_1$  будетъ имѣть  $d=20$  м.м.) всего 46,11 и такимъ образомъ для  $E_1, VI, f_1$  остается  $196,90 - 46,11 = 150,79$  м.м. при 6 метрахъ длины и 3000 сал., т. е. паденіе давленія на 1 метръ 25 м.м. Если же мы обратимся къ таблицѣ, то для 14 м.м. трубы и 3 т. сал. находимъ  $r=6$  м.м. Скорость воды для 3 т. сал. должна быть (см. таблицу)

$$\frac{3000}{16.632} = 0,18 \text{ метр.}$$

На самомъ же дѣлѣ будетъ больше, а именно

$$\frac{v_x^2}{(0,18)^2} = \frac{25}{6}$$

Откуда  $v_x=0,36$  м.—больше въ 2 раза и поэтому для урегулированія этого потока сѣченіе должно быть уменьшено на половину. Такимъ образомъ, въ подобныхъ случаяхъ необходимо выбирать регулирующие краны, дающіе возможность въ широкихъ предѣлахъ уменьшать проходное отверстіе.

По окончаніи настоящаго расчета необходимо далѣе произвести поправки на охлажденіе воды въ трубахъ. Количество тепла, теряемое трубой можно опредѣлить изъ слѣдующаго выраженія:

$$W' = (T - t_i)F \cdot K,$$

гдѣ буквы имѣютъ тѣ же значенія, которыя были указаны раньше въ статьѣ о нагрѣвательныхъ приборахъ ( $F$  — наружная поверхность трубы на извѣстномъ протяженіи). Коэф.  $K$  можетъ быть также опредѣленъ изъ прежнихъ формулъ, а именно

$$K = \alpha + \beta(T - t_i),$$

если трубы не изолированы. При изоляціи же  $K$  должно соотвѣтственно послѣдней измѣниться.

Пониженіе же температуры воды выразится такъ

$$\tau = \frac{(T - t_i)FK}{3600 \cdot 1000 \cdot q \cdot v} = \frac{(T - t_i)FK(t_e - t_a)}{W}$$

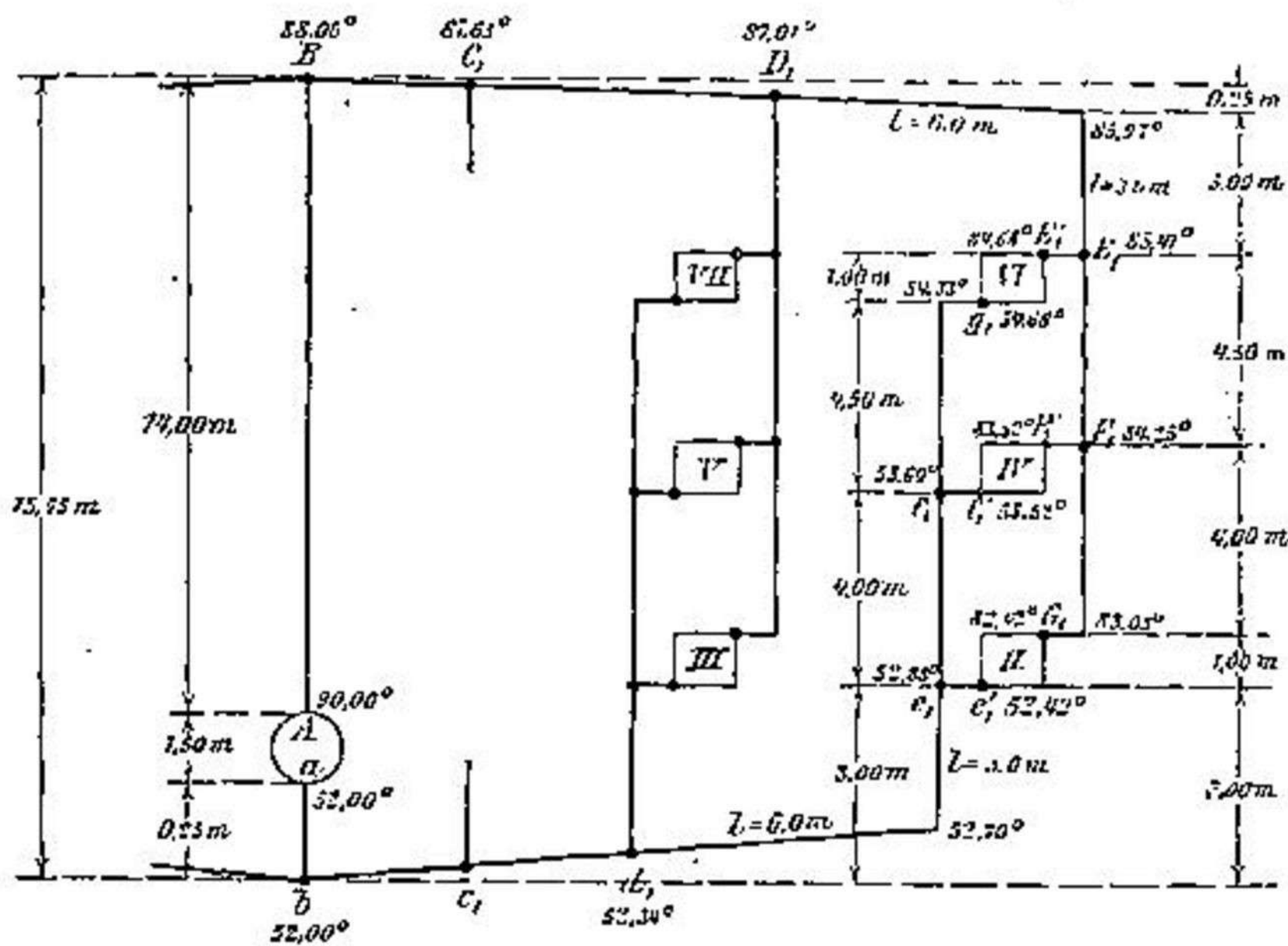
Здѣсь  $\tau$  — пониженіе температуры на 1 метръ длины,  $q$  — сѣченія трубы, а остальные буквы имѣютъ только что выше указанное значеніе. На основаніи этихъ формулъ инженеромъ Рекнагелемъ составлены подробныя таблицы \*) охлажденія воды въ трубахъ на 1 метръ длины для различныхъ діаметровъ и случаевъ практики, причемъ температура внутри помещенія принята въ  $20^\circ$ , въ закрытыхъ капалахъ въ стѣпахъ для неизолірованныхъ трубъ въ  $40^\circ$ , а для изолированныхъ  $35^\circ$ ; температура же воды для подводящихъ трубъ принята въ  $85^\circ$ , а для отводящихъ  $55^\circ$ ; т-ра на чердакѣ принята въ  $10^\circ$ . Поэтому при пользованіи этими таблицами при другихъ условіяхъ температуръ и большой длинѣ трубопровода должны быть введены соотвѣтствующія поправки. Такъ, напр., если вмѣсто  $85^\circ$  будемъ имѣть  $90^\circ$ , а т-ра воздуха вмѣсто  $20^\circ$  будетъ  $10^\circ$ , то въ такомъ случаѣ т-рая разность вмѣсто  $85 - 20 = 65^\circ$  получится  $90 - 10 = 80^\circ$  и цифры, взятые изъ таблицъ, должны быть увеличены въ отношеніи  $\frac{80}{65}$  и т. д. При небольшихъ же участкахъ, какъ обыкновенно имѣетъ мѣсто, даже существенныя отклоненія отъ принятыхъ температуръ не вліяютъ значительно на результаты и поэтому этими таблицами можно всегда пользоваться.

Опредѣливши, такимъ образомъ, температуру воды во веѣхъ узловыхъ точкахъ системы, а слѣдоват. и въ каждомъ приборѣ, можно уже теперь точнѣе опредѣлить и необходимую поверхность этихъ приборовъ, но такую поправку можно рекомендовать только въ томъ случаѣ, если одновременно

\*) Приведены въ концѣ книги.

дѣляется и поправка въ діаметрахъ трубъ, чтобы сохранить прежнюю скорость. Если же послѣдней поправки не дѣлать, то приборы, наиболѣе удаленные отъ котла, получаютъ преимущество: съ одной стороны ихъ поверхность увеличивается, а съ другой вслѣдствіе пониженія т-ры воды возрастаетъ въ нихъ давленіе, а слѣдов., и скорость воды, т. е. притокъ тепла.

На чер. (70) той же самой схемы (правой ея части) показаны т-ры воды, опредѣленные на основаніи таблицъ Рекпагеля. На основаніи этихъ температуръ для опредѣленія поправки на давленіе высчитаемъ среднія т-ры соотвѣтственно паденію трубы. Въ точкѣ  $B—88,05^{\circ}$ , въ концѣ магистрали при поворотѣ внизъ  $85,97^{\circ}$  и на этомъ пути труба опускается на 0,25 метра, въ точкѣ  $E_1—85,41^{\circ}$ , опусканіе на 3 метра и т. д.



Черт. 70.

Такимъ образомъ для II прибора имѣемъ:

$$0,25 \cdot \frac{88,05 + 85,97}{2} = 21,75$$

$$3 \cdot \frac{85,97 + 85,41}{2} = 257,07$$

$$4,5 \cdot \frac{85,41 + 84,25}{2} = 381,74$$

$$4 \cdot \frac{84,25 + 83,03}{2} = 334,56$$

$$1. \quad \frac{82,42 + 52,42}{2} = 67,42$$

$$\text{Сумма} \quad \frac{3}{15,75 \text{ м.}} \quad \frac{52,88 + 52,70}{2} = \frac{158,37}{1220,91:15,75} = 77,55^{\circ}$$

Для IV прибора:

$$0,25 \dots\dots\dots 21,75$$

$$3,00 \dots\dots\dots 257,07$$

$$4,50 \dots\dots\dots 381,74$$

$$1. \quad \frac{83,52 + 53,52}{2} \dots\dots = 68,52$$

$$4. \quad \frac{53,60 + 52,88}{2} \dots\dots = 212,96$$

$$\frac{3}{15,75} \dots\dots\dots \frac{158,37}{1100,41:15,75} = 69,87^{\circ}$$

Для VI прибора:

$$0,25 \dots\dots\dots 21,75$$

$$3,00 \dots\dots\dots 257,07$$

$$1,00 \cdot \frac{84,68 + 54,68}{2} = 69,68$$

$$4,50 \cdot \frac{54,33 + 53,60}{2} = 242,84$$

$$4,00 \dots\dots\dots 212,96$$

$$3,00 \dots\dots\dots 158,37$$

$$\frac{962,67:15,75}{=} = 61,12^{\circ}$$

Теперь мы должны вычислить среднюю температуру столба такой же высоты, но проходящего через котель съ подъемной трубой АВ. Эта т-ра опредѣлится подобнымъ же образомъ

$$14 \quad \cdot \frac{90,00 + 88,05}{2} = 1246,35$$

$$1,50 \cdot \frac{90,00 + 52,00}{2} = 106,50$$

$$0,25 \cdot 52 \dots\dots\dots = \frac{13}{1365,85:15,75} = 86,72.$$

Такимъ образомъ, для нашихъ 3-хъ приборовъ мы получаемъ слѣдующія давленія:

$$(II\text{-ой}) \quad 15,75 (\gamma_{77,55} - \gamma_{86,72}) = 15,75(973,3 - 967,5) = 91,35 \text{ м.м.}$$

$$(IV\text{-ой}) \quad 15,75 (\gamma_{69,87} - \gamma_{86,72}) = 15,75(977,9 - 967,5) = 163,80. \text{ „}$$

$$(VI\text{-ой}) \quad 15,75 (\gamma_{01,12} - \gamma_{86,72}) = 15,75(982,6 - 967,5) = 237,83. \text{ „}$$

Разница съ давленіями принятыми нами для расчета составляетъ:

$$\text{для II-го приб.} \quad 91,35 - 47,43 = 43,92 \text{ м.м.}$$

$$\text{„ IV „} \quad 163,80 - 119,03 = 44,77 \text{ „}$$

$$\text{„ VI „} \quad 237,83 - 199,58 = 38,25 \text{ „}$$

Изъ полученныхъ цифръ видно, что абсолютный приростъ давленій для всѣхъ этажей почти одинаковъ, но относительный неодинаковъ и если для 3-го этажа онъ составляетъ 19<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, то для 1-го доходитъ до 93<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Если бы мы теперь захотѣли пересчитать всю систему снова, то получили бы уже другіе — меньшіе діаметры трубъ, но тогда и охлажденіе было бы меньше, а слѣдов., надо бы было еще разъ производить подсчетъ.

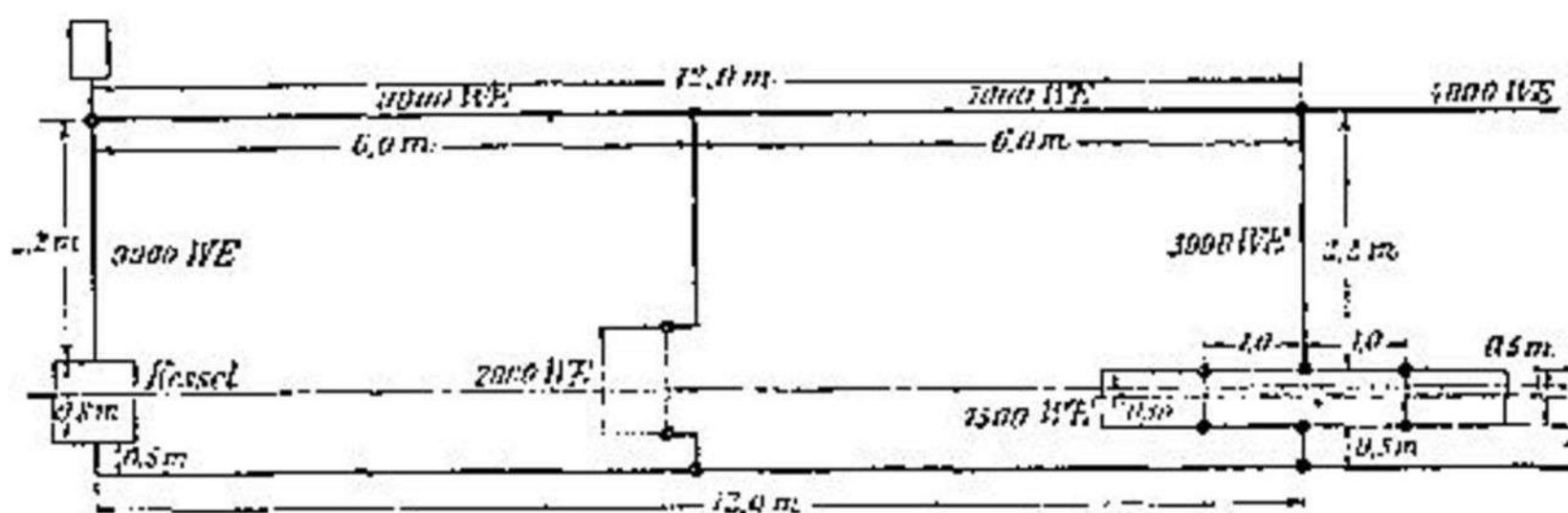
При большой системѣ это заняло бы много времени, а результаты получились-бы сравнительно незначительные, такъ какъ замѣтное пониженіе т-ры воды происходитъ только въ отдаленныхъ участкахъ, ближайшіе же мало охлаждаются, между тѣмъ для ближайшихъ у насъ получится значительный избытокъ давленій, который приходится уравнивать уменьшеніемъ сѣченій регулирующихъ крановъ и проч., поэтому проще никакого измѣненія въ діаметрахъ уже не производить, а получаемый при этомъ избыточный притокъ воды къ отдаленнымъ приборамъ будетъ компенсировать нѣсколько пониженную т-ру этой воды и, слѣдов., нѣтъ никакой надобности въ такомъ случаѣ увеличивать поверхность нагрѣва отдаленныхъ приборовъ. Оказавшійся же въ концѣ концовъ нѣкоторый избытокъ давленія, во всѣхъ частяхъ системы, дастъ возможность по окончаніи всей установки произвести полное урегулированіе всей системы при посредствѣ крановъ. Последнее тѣмъ болѣе необходимо, чѣмъ сложнѣе и обширнѣе система и чѣмъ труднѣе, слѣдов., предусмотрѣть и опредѣлить всѣ условія охлажденія, какъ самого зданія, такъ и трубопровода.

## § 55. Одноэтажная система водяного отопленія.

Примѣненіе расчета для опредѣленія охлажденія трубъ является необходимымъ только въ одномъ случаѣ, а именно при опредѣленіи діаметровъ трубъ въ такъ назыв. *одноэтажной* системѣ водяного отопленія. Эта система



предназначается для отопления отдельныхъ квартиръ самостоятельно изъ центрального котелка, устанавливаемого обыкновенно въ кухнѣ при плитѣ. Последняя, какъ известно, используетъ топливо въ очень слабой степени и отходящіе газы имѣютъ еще довольно высокую температуру, чѣмъ и можно воспользоваться для подогреванія воды въ котлѣ; но кромѣ того котель долженъ имѣть также и самостоятельную топку. При этой системѣ котель и нагревательные приборы располагаются на одномъ уровнѣ, даже иногда средина котла нѣсколько выше середины прибора. На чер. (71) показана общая схема такого отопления; здѣсь средина приборовъ на 0,10 м. выше середины котла. Такимъ образомъ эта система можетъ функционировать только вслѣдствіе охлажденія воды въ трубахъ. Для лучшаго охлажденія трубы не задѣлываются въ каналахъ стѣнъ, а идутъ около стѣнъ.



Черт. 71.

Для расчета возьмемъ 3 нагреват. прибора съ указаннымъ на нихъ количествомъ тепла. Охлажденіе въ приборахъ пусть будетъ въ 30°.

По схемѣ полная длина трубопровода для отдаленнаго прибора составляетъ 31,4 м. Для 3000 cal. по известной таблицѣ Рекпагеля

при $d = 34$ м.м.	25 м.м.	20 м.м.
$p = 0,06$ „	0,30 „	0,95 „

и такимъ образомъ полное давленіе на всю длину должно быть:

$$ah = 1,88 \text{ м.м.} = 9,42 \text{ м.м.} = 29,83 \text{ м.м.}$$

Сопротивленіе въ котлѣ и нагреват. приборѣ примемъ въ 0,5 м.м.

Кромѣ того еще имѣется сопротивленіе вслѣдствіе пониженія середины нагреват. прибора на 0,1 м. Это сопротивленіе составляетъ

$$0,10 \cdot 17,9 = 1,79 \text{ м.м.}$$

Итакъ полное давленіе должно быть:

0,50	0,50	0,50
1,79	1,79	1,79
1,88	9,42	29,83
<u>4,17 м.м.</u>	<u>11,71 м.м.</u>	<u>32,12 м.м.</u>

При 2,2 м. высоты разность вѣсовъ  $\gamma_a - \gamma_c$  на 1 метръ должна быть

$4,17:2,2=1,89$	5,32	14,60
при $\gamma_c (90^\circ)=965,30$	965,30	965,30
$\gamma_c$ должно быть 967,19	970,63	979,90
соотв. т-ра $87^\circ$	$82^\circ$	$60^\circ$

таковы должны быть среднія т-ры. Эти температуры должны быть на срединѣ вертикальной вѣтви, а вверху у магистрали т-ра должна быть выше на  $\tau$

Для 3000 сал. по табл. для охлаждения трубъ

$\tau=1,1 \cdot 0,903=0,99^\circ$	$1,1 \cdot 0,806=$ $=0,89^\circ$	$1,1 \cdot 0,636=$ $=0,7^\circ$
-----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

Такимъ образомъ для горизонтальной магистрали въ 12 м. съ добавленіемъ подъема трубы отъ ея средины—1, 1 м. охлажденіе должно быть таково на 1 метръ:

$$\tau = \frac{90 - 87,99}{13,1} = 0,155 \quad \left| \quad \frac{90 - 82,89}{13,1} = 0,542 \quad \left| \quad \frac{90 - 60,7}{13,1} = 2,23^\circ$$

По таблицѣ такому условію охлажденія удовлетворяютъ діаметры:

Для 9000 сал. $d=14$ м.м.	$d=65$ м.м.	$d$ очень большой діам.
„ 7000 „ $d=14$ „	$d=49$ „	тоже самое.

Эти три варианта приведены для уясненія значенія или вліянія различныхъ факторовъ, входящихъ въ такія системы. При выборѣ вертикальной трубы для 2-хъ приборовъ въ 34 м.м. (по 1-му варианту) по отношенію къ охлажденію магистрали удовлетворяетъ всякая труба и при  $p=0,06$   $d'=65$  м.м. и  $d''=49$  м.м.; при вертикальной же вѣтви въ 25 м.м. и  $p=0,3$  м.м. по таблицѣ  $d'=43$  м.м. и  $d''=39$  м.м., но условія охлажденія не позволяютъ такихъ діаметровъ, а должны быть 65 м.м. и 49 м.м. Итакъ пока наиболѣе выгоднымъ получается средній вариантъ, но, повидному, все давленіе здѣсь не будетъ использовано, такъ какъ вмѣсто необходимыхъ 43 и 39 м.м. нужно поставить 65 и 49 м.м. Такое увеличеніе произошло оттого, что мы поставили условіемъ одно и то же  $p$  во всѣхъ участкахъ, что, конечно, совершенно произвольно и невызывается необходимостью. Если отъ этого условія отказаться, то болѣе выгоднымъ окажется тогда 1-ый вариантъ, такъ какъ, взявши въ короткомъ участкѣ 2,2 м. вмѣсто 25 м.м.—34 м.м. и, давая въ магистрали большее  $p$ , мы можемъ выиграть на діаметрѣ послѣдней, что болѣе цѣнно, чѣмъ короткій вертикальный участокъ.

Примемъ поэтому въ вертикальной вѣтви для 3 тыс. сал.  $p=0,06$   $d=34$  м.м., въ части магистрали верхней и нижней для 7 т. сал.  $p=0,20$

и въ остальной части для 9 т.  $\rho = 0,15$ . Длина первого участка (3 т.) 4,7 м., второго — 12 м. и 3-го (9 т.) — 14,7 м. (считая вертикальную подъемную трубу).

Такимъ образомъ требуется напоръ

$$4,7 \cdot 0,06 = 0,28$$

$$1,2 \cdot 0,20 = 2,4$$

$$14,7 \cdot 0,15 = 2,2$$

---


$$4,88 \text{ м.м.}$$

сопротив. котла и нагрѣв. приб. 0,5

пониженіе нагрѣват. прибора . . . 1,79

---


$$7,17 \text{ м.м.} : 2,2 \text{ м.} =$$

$$\gamma_a - \gamma_c . = 3,26 \text{ м.м. на 1 метр. высоты.}$$

$$\gamma_c (90^\circ) = 965,30$$

$$\gamma_a . . . = 968,56$$

средняя температура . . . . . 85,1°

$$\tau = 1,1 \cdot 0,906 . . . . . = 0,99$$

---


$$\text{т-ра въ концѣ магистрали . . .} = \approx 86,1^\circ$$

$$\text{охлажденіе на 1 м.} = \frac{90 - 86,1}{13,1} = 0,298.^\circ$$

Такому охлажденію могутъ удовлетворять для 9 т. сал.  $d=34$  м.м. и для 7 т. —  $d=25$  м.м. Слѣдов., всякая труба съ большимъ діам. будетъ пригодна, а при  $\rho = 0,15$  для 9 т.  $d=49$  м.м. и  $\rho = 0,20$  для 7 т.  $d=39$  м.м. Полученное сейчасъ рѣшеніе значительно выгоднѣе, чѣмъ приведенный выше 2-ой вариантъ. Теперь остается только сдѣлать провѣрку на прибавку отдѣльных, единичныхъ сопротивленій, какъ дѣлали это раньше по таблицѣ.

---

## § 56. Сопротивленіе въ нагрѣвательныхъ приборахъ.

Въ приведенныхъ выше примѣрахъ разчета системы водяного отопленія мы принимали сопротивленіе въ нагрѣвательномъ приборѣ и котлѣ вмѣстѣ въ первомъ случаѣ 2,68 м.м. водяного столба, а во второмъ 0,5 м.м. Цифры эти даны ипж. Реклягелемъ и относятся къ радіаторамъ, котель же въ первомъ случаѣ былъ составной изъ чугунныхъ элементовъ, а во второмъ—неизвѣстно.

Предположимъ, мы имѣемъ печь изъ радиаторовъ, напр., изъ 8 элем. (среднихъ размѣровъ) высотой въ 1 м. и каждый элементъ въ 2 вѣтви, поверхность нагрѣва такой вѣтви 0,2 кв. м. и площадь сѣченія 0,0016 кв. м.

Примемъ охлажденіе воды въ 30° и отдачу теплоты въ 420 cal. съ 1 кв. метра. Въ такомъ случаѣ скорость воды будетъ.

$$v = \frac{420 \cdot 0,2}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,0016 \cdot 30} = 0,00485 \text{ м.}$$

Скорость эта ниже низшаго предѣла и поэтому для опредѣленія сопротивленія мы должны примѣнить формулу Пуасселя

$$p = 0,0003262 \frac{lv}{d^2} \frac{[\eta]}{\gamma}$$

Подставляя сюда наши величины и взявши для  $\frac{[\eta]}{\gamma} = 0,004$ , получаемъ для  $p$  — очень ничтожное значеніе. Но кромѣ сопротивленія тренія здѣсь еще имѣетъ мѣсто сопротивленіе при прохожденіи черезъ соединительные нищеля какъ верхніе, такъ и нижніе. Сѣченіе ихъ приблизительно такое же какъ и вѣтви, по одинъ нищель служитъ для 2-хъ вѣтвей. Если у насъ 8 элементовъ въ соединеніи, то первый нищель долженъ пропустить воду для слѣдующихъ 7-ми элементовъ, или 14 вѣтвей, т. е. въ немъ скорость —  $2 \cdot 7 \cdot v$ , если  $v$  скорость въ вѣтви (у насъ — 0,00485); второй нищель долженъ имѣть скорость  $2 \cdot 6 \cdot v$ , 3-й —  $2 \cdot 5 \cdot v$ , 4-й —  $2 \cdot 4 \cdot v$  и т. д. и 7-й —  $2 \cdot v$ . Въ общей же формѣ при  $n$  элементахъ въ первомъ нищелѣ скорость будетъ  $2 \cdot (n - 1)v$ , далѣе,  $2 \cdot (n - 2)v$  и т. д. и наконецъ  $2 \cdot v$ . Вслѣдствіе малой длины этихъ нищелей сопротивленія тренія здѣсь невелики, а имѣютъ значенія только единичныя сопротивленія, т. е. сопротивленія  $\sum \zeta$ . Эта сумма составитъ изъ слѣдующихъ слагаемыхъ:  $\zeta = 1$  на образованіе скорости и  $\zeta = 0,5$  на сжатіе струн при переходѣ изъ большого сѣченія въ малое.

Такимъ образомъ, имѣемъ сопротивленіе въ первомъ нищелѣ, считая отъ конца

$$\frac{2^2 \cdot v^2}{2g} 1,5$$

во второмъ

$$\frac{2^2 \cdot 2^2 \cdot v^2}{2g} 1,5, \text{ въ 3-мъ } \frac{2^2 \cdot 3^2 \cdot v^2}{2g} 1,5 \dots \frac{2^2 \cdot (n-1)^2 \cdot v^2}{2g} 1,5.$$

Сумма же сопротивленій во всѣхъ нищеляхъ верхняго ряда получится такая:

$$p' = \frac{2^2 \cdot v^2}{2g} 1,5 [1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + (n-1)^2]$$

$$p' = \frac{2^2 \cdot v^2}{2g} 1,5 \cdot \frac{(n-1)n \cdot (2n-1)}{6} = \frac{v^2}{2g} \cdot n(n-1)(2n-1)$$

Точно такое же сопротивление получится и внизу при прохождении воды через нижние шишеля, причемъ это сопротивление будетъ совершенно одинаково куда бы вода ни поворачивала изъ прибора, т. е. все равно будетъ-ли спускная труба присоединена къ прибору съ той же стороны, какъ и горячая или съ другой. Для болѣе правильнаго движенія воды лучше присоединять эти трубы съ разныхъ сторонъ. Такимъ образомъ, все сопротивление выразится такъ:

$$p = \frac{v^2}{g} \cdot n(n-1)(2n-1).$$

Для нашего частнаго случая имѣемъ

$$p = \frac{(0,00485)^2}{9,81} \cdot 8 \cdot 7 \cdot 15 = 0,002 \text{ м.}$$

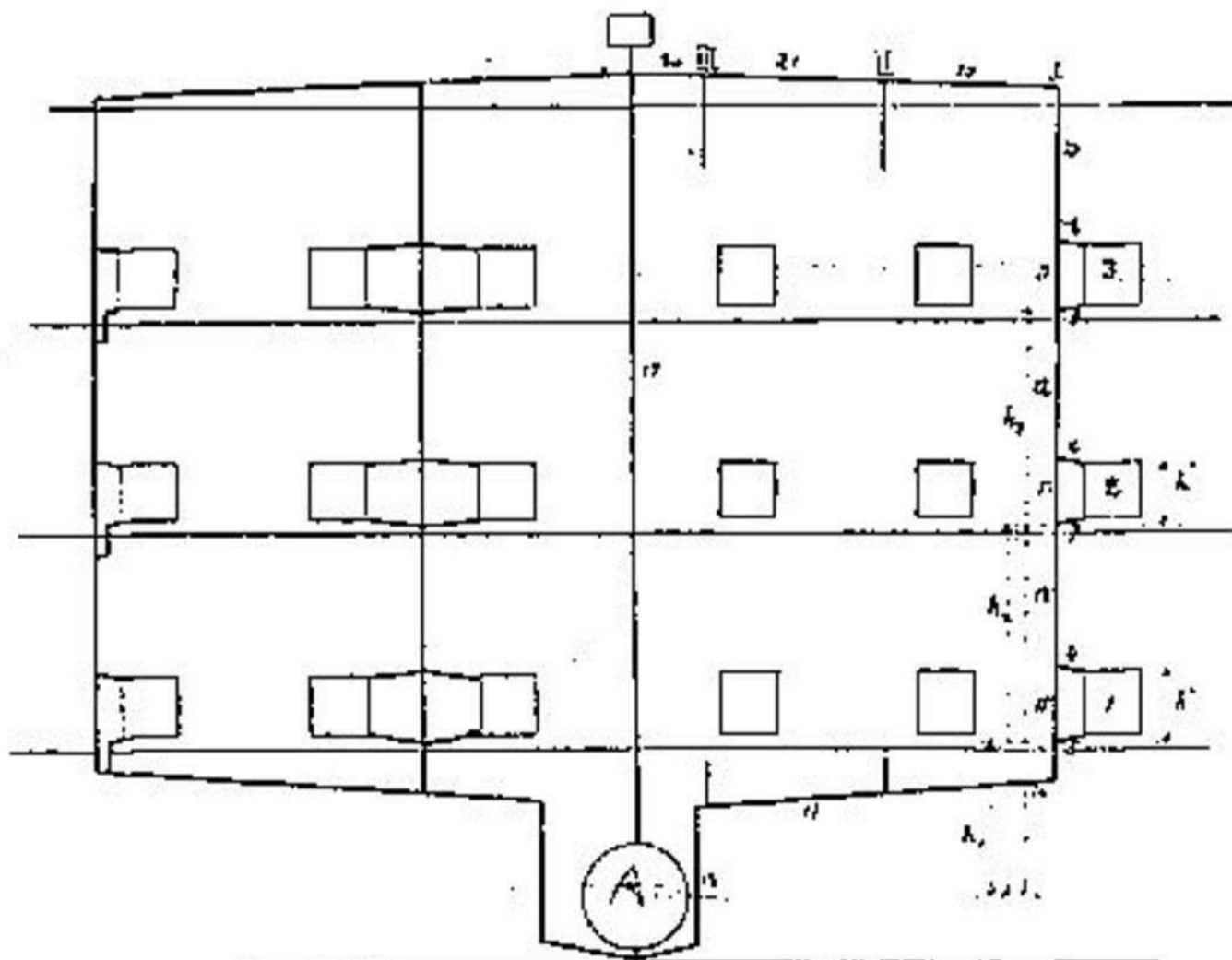
т. е. — 2 м.м. водяного столба.

Подобнымъ образомъ можно высчитать сопротивление и для другихъ видовъ радиаторовъ. Въ данномъ случаѣ рассмотримъ видъ наиболѣе часто встрѣчающійся.

Что касается сопротивленія въ котлахъ, то въ обычныхъ цилиндрическихъ оно незначительно, а кромѣ того движеніе воды въ нихъ обуславливается нагрѣваніемъ, а поэтому этого сопротивленія можно не принимать во вниманіе.

## § 57. Однопроводная система водяного отопленія.

Схема однопроводной системы указана на черт. (72). Здѣсь предположимъ также, что на пути трубопроводъ тепла не теряетъ, а оно выдѣляется только при посредствѣ нагрѣвательныхъ приборовъ.



Черт. 72.

Въ такомъ случаѣ во всей главной магистрали отъ котла до 11-го участка включительно т-ра не будетъ мѣняться. Такъ какъ по трубѣ 9 будетъ въ вертикальную вѣтвь попадать уже охлажденная вода до опредѣленной т-ры, то уч. 12-ый будетъ имѣть т-ру въ зависимости отъ количества примѣшавшейся охлажденной воды и такая т-ра будетъ въ участкахъ 12 и 13-мъ, пока не присоединится еще вода изъ 7-ой трубы; послѣдняя т-ра будетъ въ участкахъ 14 и 15-омъ. Если мы теперь вычленимъ среднюю плотность въ вѣтви I-ой, подобно тому, какъ уже дѣлали это при разсмотрѣннм охлажденія трубъ, то въ такомъ случаѣ получаемъ то давленіе, которымъ мы можемъ располагать для всей цѣпи А, 19, 20, 21, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, а именно:

$$h_1\gamma_a + (h_2 - h_1)\gamma_2 + (h_3 - h_2)\gamma_3 - h_3\gamma_c = P.$$

Остальной расчетъ этой цѣпи уже не представляетъ никакой разницы съ предыдущимъ, а потому на немъ мы не будемъ останавливаться. Для вертикальныхъ вѣтвей II и III давленіе опредѣляется точно такимъ же образомъ.

Циркуляція 2-го порядка черезъ нагревательные приборы происходитъ здѣсь вслѣдствіе разности т-ръ въ самомъ приборѣ и соответствующей части магистрали съ добавленіемъ еще того давленія, которое расходуется на сопротивленіе въ участкахъ 11, 13 и 15-мъ; такъ, напр., для 1-го прибора имѣемъ:

$$l'p_1 + h' \left[ \frac{(\gamma_2 + \gamma_a)}{2} - \gamma_2 \right] = p'$$

Для 2-го:

$$l''p_2 + h'' \left[ \frac{(\gamma_3 + \gamma_a)}{2} - \gamma_3 \right] = p''$$

и т. д., гдѣ  $p_1$  и  $p_2$  ... сопротивленія на метръ длины, а  $l_1'$ ,  $l_2''$  ... длины участковъ 15-го, 13 и 11.

Это давленіе расходуется на сопротивленіе въ приборѣ и въ трубахъ соединяющихъ его съ магистралью. Необходимо здѣсь обратить вниманіе на отдѣльные, единичныя сопротивленія, такъ какъ при маломъ напорѣ въ данномъ случаѣ ошибка можетъ оказать существенное вліяніе на дѣйствіе прибора.

Представимъ себѣ, что у насъ 1, 2 и 3-й приборы должны доставлять по 1 тыс. саі. и выходящая изъ котла вода имѣетъ т-ру  $90^\circ$ , а входящая  $75^\circ$ . Подняженіе т-ры въ нагр. приборахъ пусть будетъ тоже  $15^\circ$ . Въ такомъ случаѣ т-ра въ трубѣ 9-й будетъ  $75^\circ$ , въ 12-ой же будетъ  $\frac{2 \cdot 90 + 75}{3} = 85^\circ$ , такая же и въ 13-ой. Въ 7-ой она должна быть въ  $70^\circ$ , а въ 14-ой, 15-ой и 4-ой

$\frac{2.85 + 70}{3} = 80^{\circ}$ , въ 5-ой же должно быть  $65^{\circ}$  и тогда въ 10-ой  $\frac{2.80 + 65}{3} = 75^{\circ}$ , какъ и предполагалось. Такимъ образомъ, въ приборъ 1-мъ средняя температура  $72^{\circ}$  и при вышней въ  $17^{\circ}$ , т-рная разность получится въ  $55^{\circ}$ . Взявши указанный выше радиаторъ въ 8 элементовъ—3,2 кв. м. поверхности нагрѣва, получемъ для него по таблицѣ (20) коэф. теплопередачи 5,77 сал. \*) и съ 1 кв. м. при разности въ  $55^{\circ}$ —317 сал., со всего же прибора почти 1 т. сал., какъ было задано. Плотность воды при  $72^{\circ}$ —976,65 кг., а при  $80^{\circ}$  (трубы 15)—971,83 кг. и такимъ образомъ давленіе для прибора 1-го составляетъ 4,82 кг.=м.м., не принимая во вниманіе сопротивленія въ 15-ой трубѣ. Мы уже пашли раньше для такой печи сопротивленіе въ 2 м.м., но тамъ охлажденіе воды было на  $30^{\circ}$ , здѣсь же на  $15^{\circ}$  и количество тепла съ 1 кв. м. меньше, вмѣсто 420—317 сал. При такихъ условіяхъ скорость будетъ уже не 0,00485 м., а 0,0073 м. и сопротивленіе возрастаетъ до 4,5 м.м. Длина трубъ 4 и 5-ой пусть будетъ по 1 метру, единичнымъ же сопротивленія, имѣя въ виду на 4-ой трубѣ поворотъ ( $\zeta = 1$ ), сжатіе струи ( $\zeta = 0,5$ ), кранъ ( $\zeta = 1$ ); на 5-ой поворотъ ( $\zeta = 1$ ) и сжатіе ( $\zeta = 0,5$ ), всего  $\Sigma \zeta = 4$ . Если мы здѣсь  $d$  возьмемъ въ 20 м.м., то для  $\Sigma \zeta = 4$  эквивалентная длина по таблицѣ составляетъ 2 метра и поэтому надо разсчитывать на 4 метра. Для 1 т. сал. по таблицѣ при  $d = 20$  м.м.  $p = 0,15$ , но это при охлажденіи въ  $30^{\circ}$ , при  $15^{\circ}$  скорость должна быть вдвое больше, и слѣдов.,  $p$  въ 4 раза больше т. е. 0,6 на метръ или 2,4 м.м. всего; вмѣстѣ же съ полученными раньше 4,5 м.м. все сопротивленіе составитъ 6,9 м.м., т. е. на участкѣ 15-омъ сопротивленіе должно быть не менѣе 2,1 м.м. При трубѣ же въ 25 м.м.  $p = 0,15$  и все сопротивленіе состав. 0,6 м.м. + 4,5 = 5,1 м.м., т. е. на участокъ 15-ый приходится всего 0,3 м.м. То или другое сопротивленіе на участкѣ 15-омъ, а равно на 13-мъ и 11-мъ, можно получить, выбирая соотвѣтственный діаметръ трубы для нихъ.

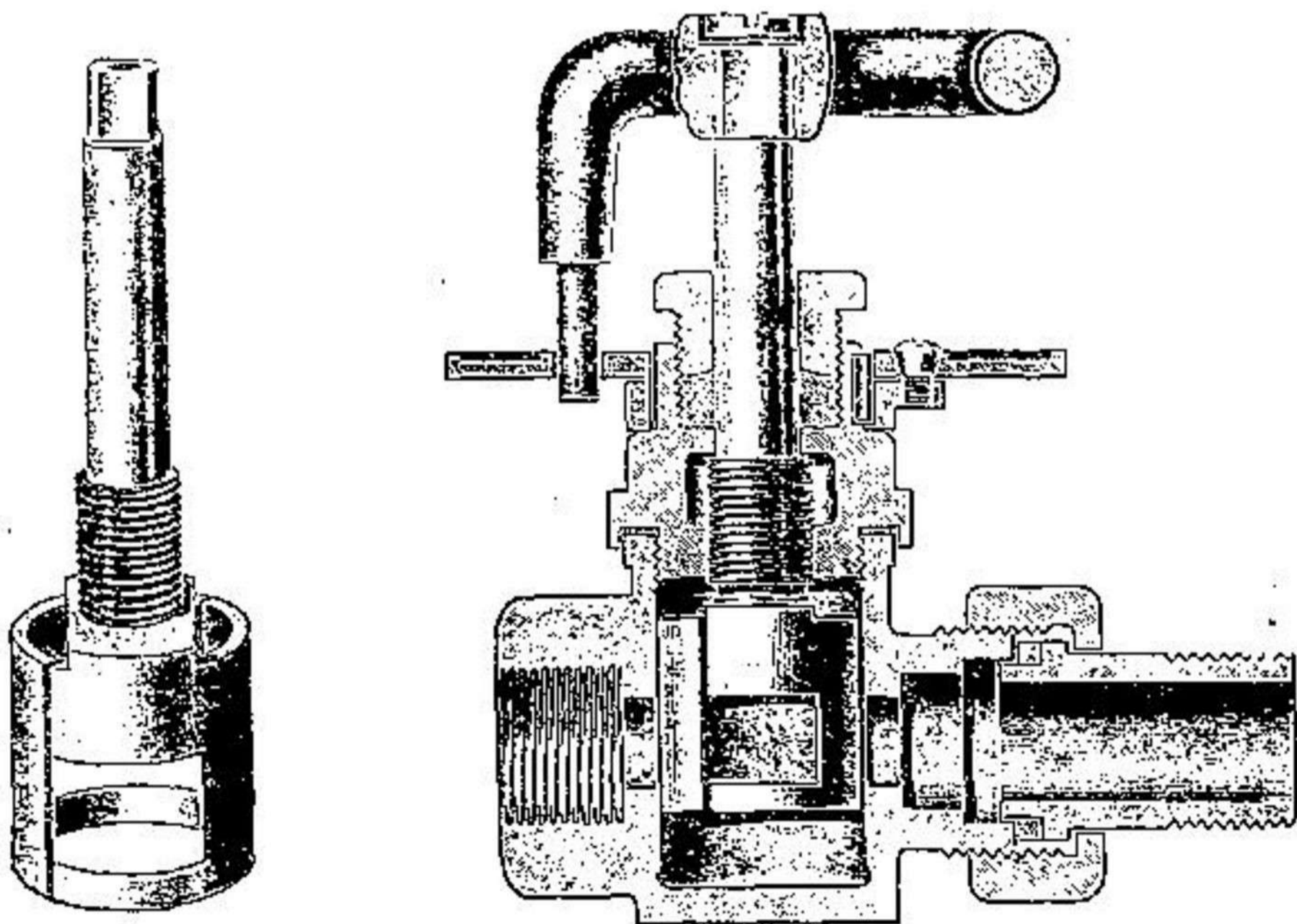
Сравнивая между собой обѣ только что разсмотрѣнныя системы—двухпроводяую и однопроводную, не трудно замѣтить, что въ послѣдней трубопроводъ можетъ быть использованъ гораздо лучше чѣмъ въ первой: давленіе въ ней получается большее, а слѣдов., увеличивается скорость воды, уменьшаются поэтому діаметры трубъ, а вмѣстѣ съ этимъ и стоимость трубопровода. Но зато въ послѣдней системѣ въ худшихъ условіяхъ находятся нагрѣвательные приборы вслѣдствіе пониженія т-ры къ концу вертикальной вѣтви. Поэтому, какой системѣ отдать предпочтеніе—можно рѣшить только въ каждомъ частномъ случаѣ: что окажется выгоднѣе—экономія на трубахъ или на приборахъ. Въ смыслѣ же правильности работы и, вообще, надежности обѣ системы одинаковы. Значительно болѣе

\*)  $\alpha + \beta$  т.

распространена двухпроводная система, но и всё хорошо выполненные установки по однопроводной системѣ дѣйствуютъ исправно. Последняя система своимъ развитіемъ обязана германскому инженеру О. Креллю старш., много потрудившемуся надъ ея усовершенствованіемъ.

## § 58. Регулированіе сист. водяного отопленія.

Какъ мы видѣли, при разчетѣ разсматриваемой системы не всегда возможно подобрать необходимый діаметръ трубъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ приходится брать діаметры нѣсколько больше, чѣмъ то требуется по условіямъ работы, вслѣдствіе чего въ концѣ концовъ заботливо рассчитанная и выполненная система будетъ работать съ нѣкоторыми погрѣшностями и поэтому по окончаніи устройства системы она должна быть въ первую же земною точку тщательно урегулирована. Средствомъ для такого регулированія служатъ краны, устанавливаемые при каждомъ нагрѣват. приборѣ. Эти же краны должны служить и впослѣдствіи для дальнѣйшаго регулированія при полномъ закрываніи прибора, при чемъ это второе регулированіе не должно оказывать вліянія на первое. Вслѣдствіе такого требованія и краны должны имѣть спеціальную конструкцію. Въ послѣднее время такихъ конструкцій появилось очень много и черт. (73) представляетъ



Черт. 73.

одну изъ таковыхъ. Пружинащій поршень плотно закрываетъ отверстія и тѣмъ прекращаетъ потокъ воды, при поворачиваніи же на уголъ въ



90° отверстие открывается полностью и вода течет, не мѣняя направле-  
 нія, вслѣдствіе чего сопротивленіе такого крана невелико. Поворотъ крана  
 ограничивается прорѣзомъ, сдѣланнымъ въ горизонтальной пластинкѣ; въ  
 этотъ прорѣзъ входитъ отростокъ ручки и, такимъ образомъ, лица пользую-  
 щіяся отопленіемъ могутъ установить этотъ кранъ въ любомъ положеніи  
 между 0° и 90° и тѣмъ регулировать теплоотдачу прибора по своему усмо-  
 трѣнію. Но тотъ же самый поршень можно еще устанавливать и по верти-  
 кали въ любомъ положеніи. При томъ положеніи, какъ указано на ри-  
 сункѣ отверстие открыто полностью, но если на время отнять рукоятку или  
 пластинку и завинтить поршень ниже, то часть отверстия будетъ закрыта  
 и по закрѣпленіи опять рукоятки и пластинки измѣнить положеніе пор-  
 шня по вертикали уже нельзя будетъ, хотя въ горизонтальномъ направ-  
 леніи онъ будетъ поворачиваться на прежній уголъ. Существуютъ такіе  
 краны и типа вентилей, но въ нихъ сопротивленіе очень велико и для  
 водяного отопленія ихъ нельзя рекомендовать.

Кромѣ такого первоначальнаго урегулированія всей системы является  
 необходимость регулированія и во все остальное время службы отопленія  
 въ зависимости отъ состоянія погоды. Такое регулированіе основывается  
 отчасти на температурѣ воды, отчасти же на продолжительности топкн.  
 Изъ всѣхъ центральныхъ системъ отопленія ни одна система не даетъ та-  
 кой возможности регулированія, какъ разсматриваемая. При уменьшеніи  
 температуры воды уменьшается, конечно, отдача тепла нагрѣват. прибо-  
 рами, а также и скорость движенія воды, но при этомъ уменьшеніе дав-  
 ленія въ различныхъ мѣстахъ системы можетъ быть нѣсколько различнымъ  
 и поэтому измѣненія выдѣленія тепла не могутъ быть во всѣхъ мѣстахъ  
 одинаковыми и въ такомъ случаѣ уже приходится прибѣгать къ мѣстному  
 регулированію. Но послѣднее обстоятельство очень неудобно и значитель-  
 ная разница въ измѣненіи давленія можетъ получиться особенно въ тѣхъ  
 вѣтвяхъ, діаметры которыхъ сильно отличаются отъ расчетныхъ и гдѣ  
 поэтому имѣются большія суженія сѣченій регулируемыми кранами.

Это происходитъ оттого, что вслѣдствіе измѣненія скоростей воды  
 сопротивленія измѣняются неодинаково, а также и охлажденіе трубопро-  
 вода измѣняется уже неодинаково. Но особенностью разсматриваемой си-  
 стемы является то обстоятельство, что всякій нагрѣвательный приборъ,  
 оказавшійся въ худшихъ условіяхъ по отношенію къ притоку горячей  
 воды, охлаждается сильнѣе и тѣмъ самымъ увеличиваетъ свое рабочее  
 давленіе, а отсюда увеличивается скорость притока воды. Такимъ обра-  
 зомъ, мы встрѣчаемся здѣсь со случаемъ *саморегулированія*. \_Послѣднимъ  
 обстоятельствомъ можно объяснить то явленіе, что въ практикѣ, при  
 ошибкахъ въ расчетахъ этой системы, никогда почти не получается  
 очень грубыхъ нарушеній правильности функционированія отопленія.

При обезпеченіи возможности регулированія необходимо обратить  
 вниманіе на слѣдующее. Измѣненіе условій охлажденія почти никогда не

происходить равномерно для всехъ частей зданія. Последнее въ сильной степени мѣняется въ зависимости отъ направленія вѣтра, положенія солнца и проч., и поэтому система отопленія должна имѣть возможность приспособляться къ этимъ условіямъ. Для этого должны быть устроены приспособленія для регулированія по отдѣльнымъ группамъ нагрѣв. приборовъ, при чемъ эти группы могутъ быть распределены по странамъ горизонта или по направленіямъ господствующихъ вѣтровъ и проч. Обыкновенно на обратныхъ трубахъ, идущихъ отъ такихъ группъ помѣщаются вентили или краны въ удободоступныхъ мѣстахъ. Такія приспособленія устраиваются только въ зданіяхъ болѣе или менѣе значительныхъ, гдѣ имѣется возможность содержать болѣе или менѣе опытный персоналъ для обслуживанія отопленія и особенно это приноситъ пользу при устройствѣ центральной системы термометровъ.

Вмѣсто только что указанныхъ приспособленій, при близкомъ расположеніи подводящихъ и отводящихъ трубъ обѣ эти вѣтви соединяются между собой особой трубкой съ краномъ и такимъ образомъ является возможность въ струю горячей воды примѣшивать холодную и тѣмъ производить регулированіе.

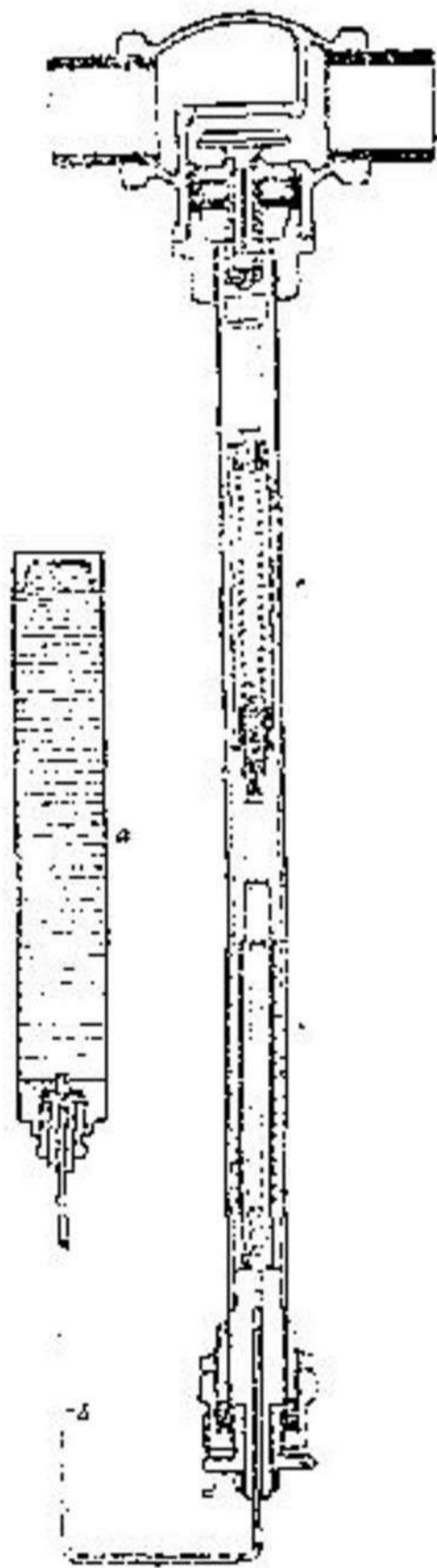
Въ настоящее время получили уже нѣкоторое распространеніе приспособленія для автоматическаго регулированія температуры внутри помѣщеній. Какъ ясно изъ предыдущихъ разсужденій, регулированіе температуры внутри помѣщеній требуетъ особеннаго вниманія и опытности со стороны наблюдающаго персонала. Но послѣднихъ качествъ обыкновенно этому персоналу и не хватаетъ. Почти во всехъ общественныхъ зданіяхъ приходится наблюдать, что регулированіе температуры ведется очень плохо и очень часто происходитъ или перегрѣваніе помѣщеній или холодъ внутри. Между тѣмъ перегрѣваніе въ общественныхъ зданіяхъ тѣмъ болѣе въ школахъ очень вредно отзывается на присутствующихъ. Вотъ для примѣра отзывъ проф. Флюгге (Бреславль) относительно школъ: „въ школахъ, гдѣ, повидимому, еще имѣетъ мѣсто тщательный контроль за отопленіемъ, получаютъ прямо невѣроятныя явленія. Вездѣ, гдѣ я въ теченіе послѣднихъ лѣтъ имѣлъ случай наблюдать температуру зимой въ школьныхъ помѣщеніяхъ, почти всегда она была 23—26°С и даже выше. Для примѣра я позволю себѣ указать на рядъ наблюденій произведенныхъ въ теченіи 29 дней въ январѣ и февралѣ (1905) въ одной изъ высшихъ школъ Бреславля, построенной нѣсколько лѣтъ тому назадъ. Здѣсь учителя взяли на себя трудъ въ теченіе этого періода наблюдать и записывать температуры въ самихъ помѣщеніяхъ по только что провѣренными и свободно повѣшенными термометрами. Оказалось, что уже къ началу уроковъ температура поднималась: въ трехъ классахъ 8 разъ (изъ 29), въ одномъ 10 разъ, въ одномъ 16 разъ и въ одномъ 18 разъ — выше 22° и очень часто была между 24° и 26°. Отъ присутствія учениковъ температура еще поднималась прямо до невозможности, такъ что приходилось открывать окна и тогда она падала

уже очень низко до  $13^{\circ}$ — $14^{\circ}$ . Въ одномъ и томъ же классѣ въ одно и то же утро колебанія доходили до  $10^{\circ}$ . Въ другихъ школахъ, гдѣ окна открывались менѣе, поднималась т-ра во время уроковъ очень высоко и къ послѣднему уроку достигала максимума, который всегда былъ между  $24$ — $26^{\circ}$ .

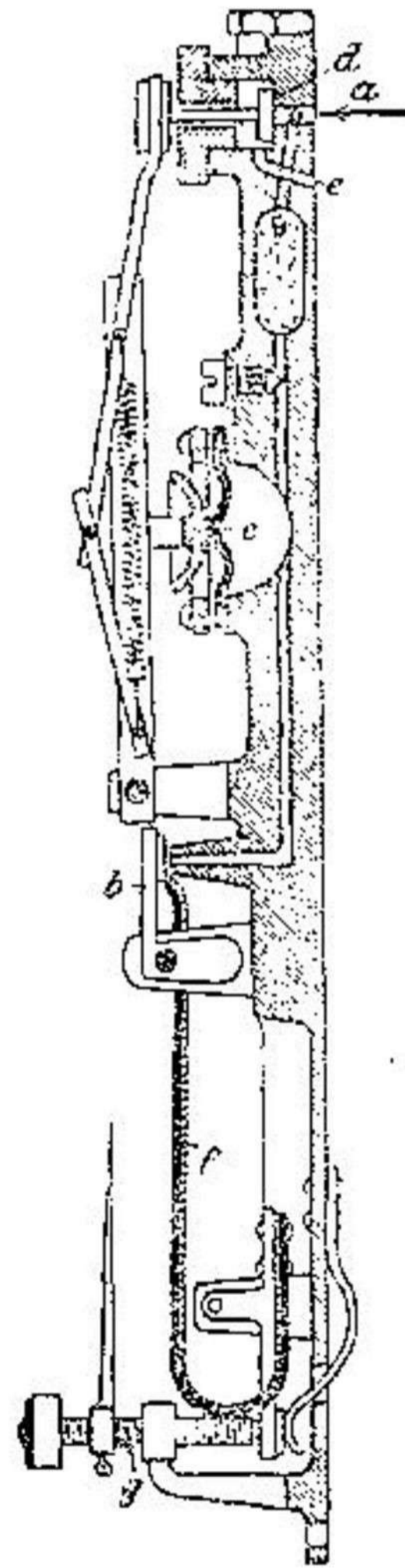
При такихъ условіяхъ примѣненіе автоматическаго способа регулированія т-ры является очень цѣннымъ приобретеніемъ.

Въ настоящее время существуетъ уже нѣсколько системъ такихъ приспособленій. Первая группа изъ нихъ основана на расширеніи жидкостей, вторая — на расширеніи воздуха и наконецъ третья — на замыканіи тока при расширеніи металлическихъ пластинокъ.

На фиг. (74) изображена система Clorius'a (констр. Schultze) такъ называемый „температоръ“. Здѣсь *a* — представляетъ закрытый сосудъ, наполненный расширяющейся жидкостью (обыкновенно масло, лишенное воздуха),



Фиг. 74.

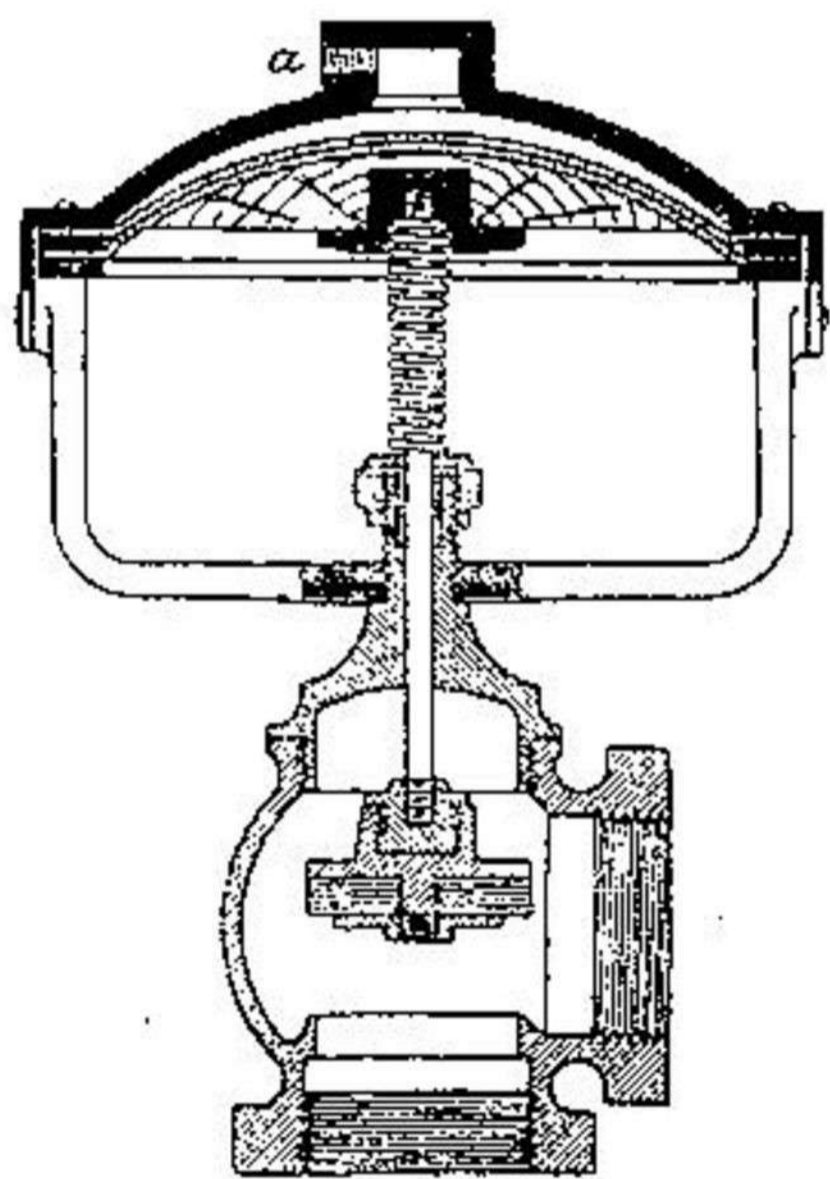


Фиг. 75.

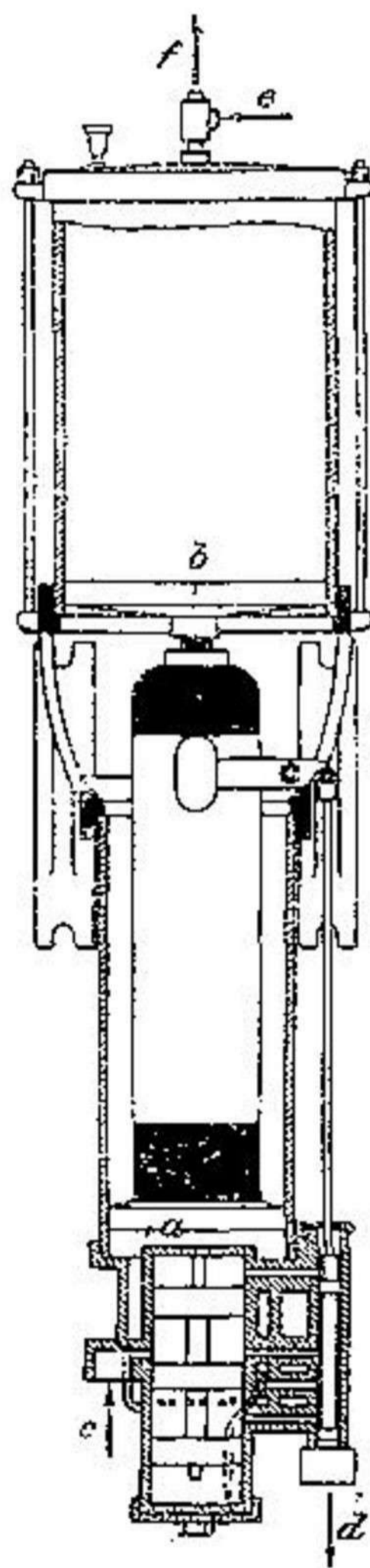
*b* — тонкая мѣдная трубочка (должна все таки выдерживать значит. давленіе) для передачи расширенія масла, наполнена водой, также лишенной воздуха; *c* —

расширяющаяся трубка—толстая резиновая съ водой; для того чтобы она могла расширяться только въ длину, на нее надѣтъ цѣлый рядъ колецъ. Такимъ образомъ, расширяющійся въ *a* объемъ жидкости переходитъ въ *c* и растягиваетъ ее, вслѣдствіе чего закрывается клапанъ вентиля. Точная установка на температуру производится посредствомъ винта *d*.

Изъ второй группы, гдѣ передающей средой служитъ воздухъ, известна система Johnson'a. Эта система примѣняется только, какъ центральная и состоитъ изъ: 1) „термостата“, 2) компрессора и 3) мембраннаго вентиля. Термостатъ показанъ на фиг. (75), гдѣ *a* впускъ воздуха. Если угловой рычагъ *b* прикрываетъ находящееся противъ него отверстіе, то



Фиг. 76.



Фиг. 77.

воздухъ производитъ давленіе на мембрану *c* и при посредствѣ цѣлаго ряда рычаговъ закроетъ вентиль *d* и тѣмъ преградитъ себѣ доступъ въ трубку *e*, соединенную посредствомъ тонкой трубочки съ мембраннымъ вентиляемъ (фиг. (76)). При такомъ положеніи послѣдній будетъ открытъ и пропуститъ воду или паръ въ нагрѣвательный приборъ. При отклоненіи же рычажка *b* воздухъ перестанетъ давить на мембрану *c*, вентиль *d* откроется и про-

пустить воздухъ въ мембранный вентиль черезъ отверстіе въ послѣднемъ *a*. Резиновая мембрана растягивается и отверстіе вентилля прикрывается. — Управляетъ рычагами *b* пружина *f*, сдѣланная изъ 2-хъ металловъ такимъ образомъ, что при нагрѣваніи конецъ ея отгибается влѣво и отклоняетъ рычажокъ *b*. Установка же на температуру производится винтомъ *g*. Термостаты могутъ быть установлены въ каждомъ помѣщеніи, а мембранный вентиль при каждомъ приборѣ; для полученія же воздуха подъ давленіемъ здѣсь долженъ быть установленъ небольшой компрессоръ общій для всей системы. Компрессоръ этотъ долженъ, конечно, дѣйствовать автоматически и имѣть возможно простую конструкцию. Приводится онъ въ движеніе водой изъ водопровода фиг. (77). Здѣсь *a* водяной поршень, *b*—воздушный, *c* впускъ воды, *d*—выпускъ; *e*—всасываніе воздуха и *f*—нагнетаніе въ систему. Сжатіе воздуха производится здѣсь до 1 атмосферы. Система эта принимается не только для закрыванія и открыванія вентилей при нагрѣвательныхъ приборахъ, но также и для клапановъ въ каналахъ съ горячимъ воздухомъ \*).

Изъ 3-ей группы, гдѣ примѣняется электрическій токъ, известна система Käferle. Принципъ дѣйствія ея заключается въ томъ, что въ регуляторѣ температуры при повышеніи послѣдней удлиняется сложная пружинка изъ двухъ металловъ и замыкаетъ токъ изъ аккумуляторной батареи. При нагрѣват. же приборѣ имѣется вентиль съ электромагнитной катушкой, которая при замыканіи тока притягиваетъ поршечекъ вентилля и тѣмъ закрываетъ вентиль, при отсутствіи же тока послѣдній открытъ.

При хорошо установленной и урегулированной автоматической системѣ колебаніе температуры внутри помѣщеній можетъ быть доведено до  $\pm 0,5^{\circ}$ .

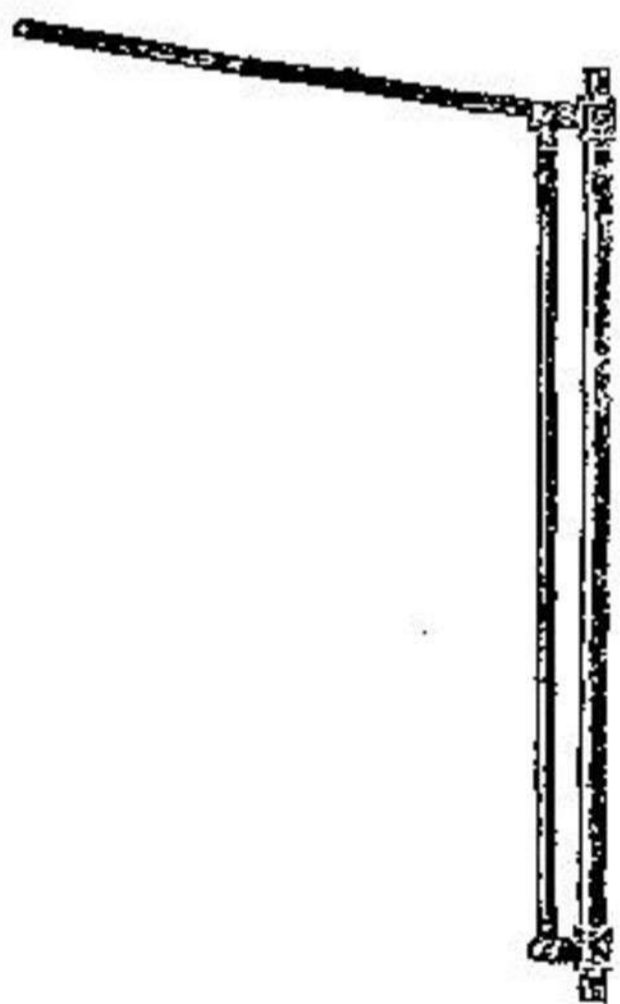
Разсмотрѣнное только что автоматическое регулированіе имѣетъ въ дѣйствительности не только одно гигиеническое значеніе, а и значительное экономическое. Вслѣдствіе правильнаго регулированія т-ръ не происходитъ перегрѣванія помѣщеній, а слѣдов., и излишней потери тепла. Въ общемъ же эта система сберегаетъ до 10% топлива и поэтому расходъ на установку скоро окупается.

Кромѣ только что разсмотрѣннаго автоматическаго регулированія нагрѣвательныхъ приборовъ примѣняется еще также автоматическое регулированіе топки котла. Такое регулированіе примѣняется какъ въ водяномъ отопленіи такъ и въ паровомъ. Принципъ дѣйствія такихъ приборовъ заключается въ томъ, что при увеличеніи температуры воды въ первомъ или давленія пара во второмъ прикрывается дверца поддувала и тѣмъ

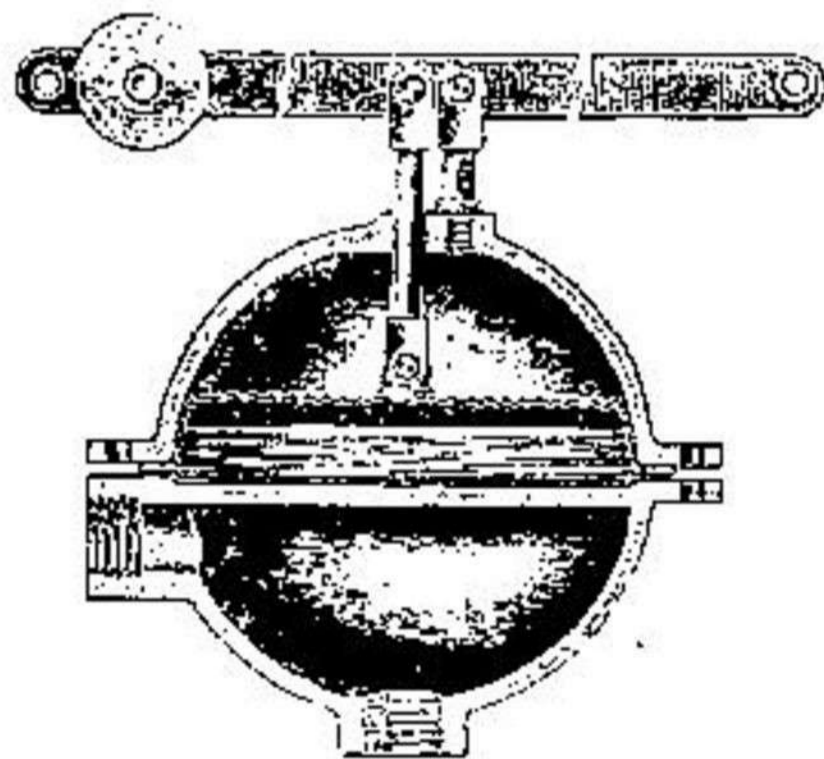
\*) Система Johnson'a получила большое распространеніе въ Америкѣ. Въ Европѣ также начинаетъ распространяться при посредствѣ Gesellschaft für Automatische Temperaturregulation in Berlin.

уменьшается скорость горѣнія, а слѣдов., количество развиваемаго тепла въ 1-цу времени; при уменьшеніи т-ры и давленія происходитъ обратное: большее открытіе заслонки и увеличеніе скорости горѣнія. Въ паровомъ отопленіи давленіе очень легко передается посредствомъ рычаговъ, воды и проч. и поэтому тамъ эти приборы конструируются проще и работаютъ болѣе исправно. Здѣсь же измѣненіе т-ры движущейся воды отмѣчается расширеніемъ, т. е. удлиненіемъ трубъ, по которымъ она движется. Такъ какъ абсолютно это измѣненіе длины очень мало, то для преобразованія его въ значительное перемѣщеніе заслонки поддувала требуется очень большое отношеніе плечъ рычаговъ, а съ этимъ и связана большая неточность такихъ приборовъ. На указанномъ принципѣ основанъ приборъ изображенный на фиг. (78). При нагрѣваніи трубы, она удлиняется, лѣвый же стержень, закрѣпленный нижнимъ своимъ концомъ и не нагрѣваемый, не мѣняетъ положенія своей верхней точки, служащей точкой качанія горизонтальнаго рычага, очень короткое правое плечо котораго соединено съ трубой. Такимъ образомъ, при нагрѣваніи трубы лѣвый конецъ рычага опускается и прикрываетъ поддувальную заслонку. При малѣйшемъ измѣненіи положенія точки качанія или праваго шарнира, лѣвый мѣняетъ свое положеніе очень сильно и тѣмъ нарушается вся установка.

Совсѣмъ на другомъ принципѣ основанъ регуляторъ, показанный на фиг. (79). Здѣсь въ верхней части вмѣстѣ запаянный низкій цилиндръ съ жидкостью, кипящей при болѣе низкой температурѣ, нежели вода и поэтому при протеканіи черезъ нижнюю часть прибора горячей воды верхній цилиндръ нагрѣвается, упругость паровъ въ немъ увеличивается,



Черт. 78.



Черт. 79.

рхняя эластичная крышка его поэтому выпирается и правый конецъ горизонтальнаго рычага опускается. Такіе приборы сначала работаютъ хо-

рошо, но постепенно въ слайкахъ цилиндра появляются незамѣтныя скважины, черезъ которыя жидкость улетучивается и прекращается правильная работа. Цилиндры эти можно замѣнить новыми и тогда такіе приборы будутъ работать хорошо.

## § 59. Водяное отопленіе съ повышенной циркуляціей.

Какъ можно было видѣть изъ приведеннаго выше примѣра расчета системы водяного отопленія, скорости воды получаются очень небольшими, рѣдко, напр., доходящими до 0,3 метра въ секунду. Это обусловливается незначительной разницей плотностей горячей и охлажденной воды. Вслѣдствіе такой малой скорости для проведенія сколько нибудь значительнаго количества тепла приходится трубамъ давать большое сѣченіе, т. е. брать трубы сравнительно большого діаметра и, слѣдов., дорогія. Вотъ поэтому рассматриваемая система является въ ряду другихъ центральныхъ системъ довольно дорогой. Въ то же время малый напоръ въ системѣ сильно ограничиваетъ и централизацію въ горизонтальномъ протяженіи. Въ болѣе или менѣе значительныхъ зданіяхъ приходится устраивать нѣсколько самостоятельныхъ системъ изъ отдѣльныхъ центровъ. Между тѣмъ высокія достоинства этого отопленія въ гигиеническомъ отношеніи, а также большой коэффициентъ полезнаго дѣйствія дѣлаютъ распространіе его очень желательнымъ и поэтому уже давно конструкторы стараются при посредствѣ какихъ нибудь искусственныхъ мѣръ увеличить скорость движущія воды, отчего можно уменьшить сѣченіе трубопровода и тѣмъ понизить стоимость устройства. Такъ были созданы *системы съ повышенной (искусственно) циркуляціей воды*. Главнѣйшимъ средствомъ для этого явилось введеніе пара въ достаточномъ количествѣ въ подъемную вертикальную трубу отчего уже въ этой трубѣ плотность уменьшается очень сильно и поэтому движущая сила и скорость возрастаютъ.

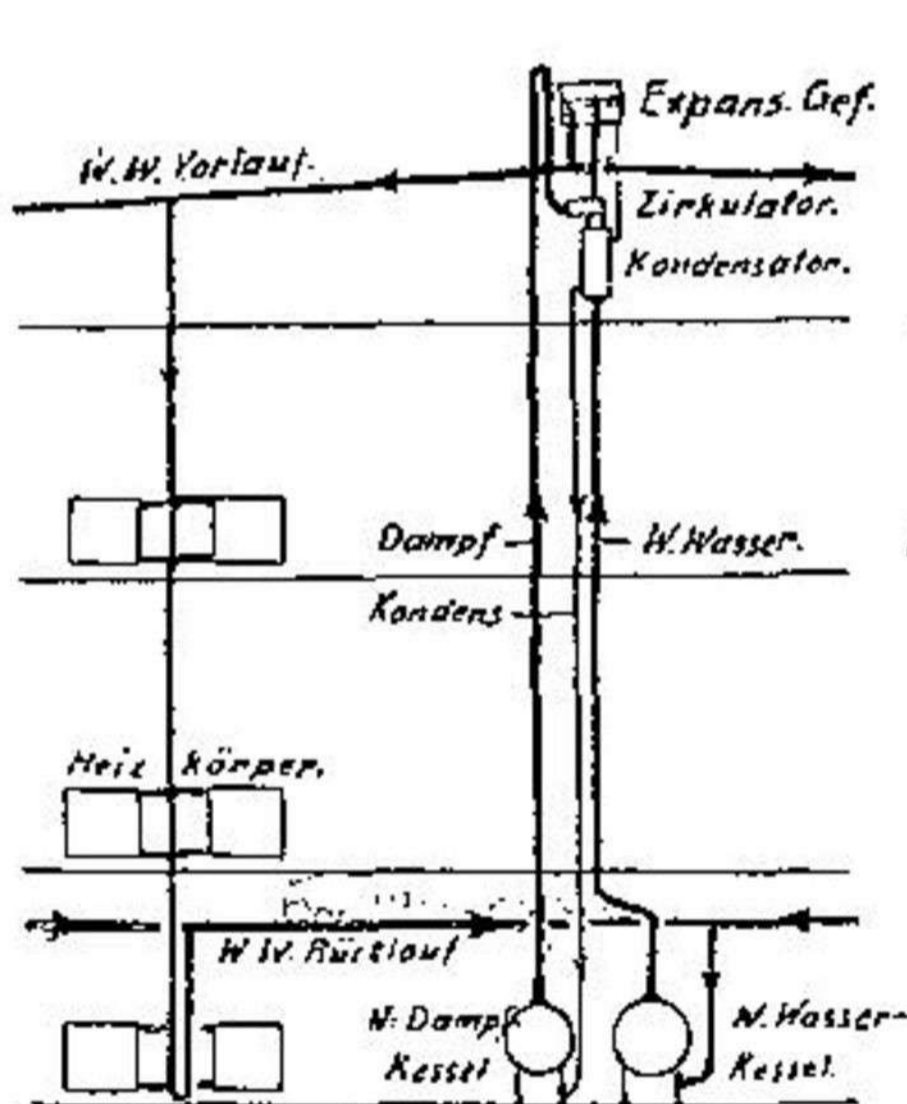
Первымъ предложилъ такую систему датекій инженеръ Реккъ и послѣ него уже появилось ихъ очень много.

Такъ какъ въ этихъ системахъ паръ вводится въ главную восходящую трубу, то, слѣдов., вода прежде всего должна быть поднята къверху и поэтому здѣсь самымъ естественнымъ является расположеніе магистралей на чердакѣ. Если-бы этого почему-либо нельзя было сдѣлать, а требуется устроить распределеніе вниз, то въ такомъ случаѣ приходится, поднявшись наверхъ, опускаться опять книзу. Такая система по сравненію съ обыкновенной является болѣе выгодной только въ большихъ зданіяхъ гдѣ надо устраивать большой трубопроводъ и когда разницей въ стоимости его покрываются дополнительные приспособленія въ системѣ.

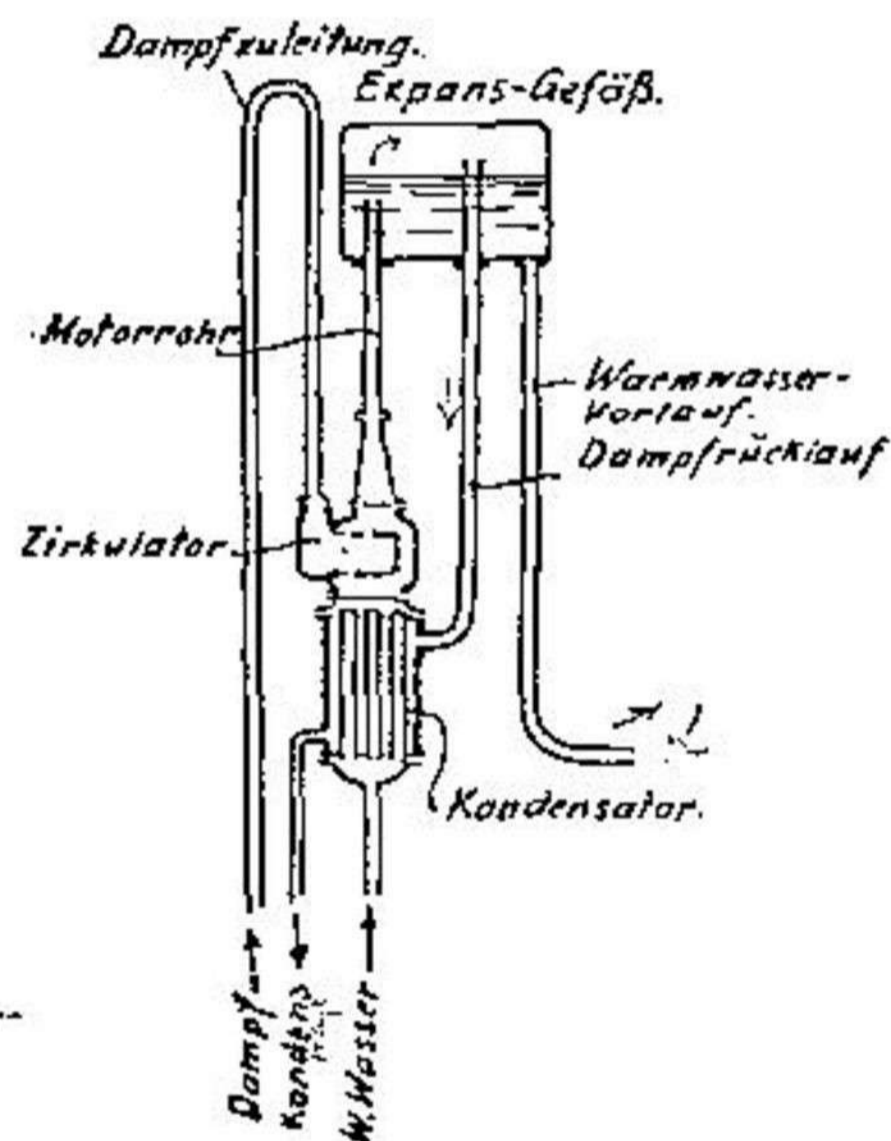
Вследствие большой скорости воды малѣйшія передвиженія регулирующихъ вентилей отражаются очень сильно и поэтому здѣсь уже не можетъ быть той правильности регулированія, какъ въ обыкновенной системѣ. Кроме того, присоединеніе пара къ водѣ сильно поднимаетъ температуру послѣдней, а поэтому общее регулированіе при посредствѣ температуры воды здѣсь уже не имѣетъ мѣста, что составляетъ вообще очень слабую сторону всѣхъ этихъ системъ. Автоматическіе регуляторы здѣсь такъ же мало помогаютъ дѣлу. Какъ въ этомъ отношеніи, такъ и по высокой температурѣ нагреват. поверхностей эти системы приближаются къ обыкновенной паровой низкаго давленія. Для обслуживанія требуется очень опытный персоналъ.

Единственнымъ же преимуществомъ разсматриваемыхъ системъ по сравненію съ обыкновенной, кроме указанныхъ выше, является возможность располагать нагревательные приборы даже ниже котла, хотя это возможно устраивать и при обыкновенной системѣ, но только *соопроводной*.

На фиг. (80) представлена схема системы Рекка. Въ этой системѣ могутъ быть: или 2 котла самостоятельныхъ—водогрейный и паровой, или они могутъ быть соединены такимъ образомъ, что самостоятельную точку имѣетъ только одинъ паровой котелъ, а вода уже нагревается паромъ



Фиг. 80.



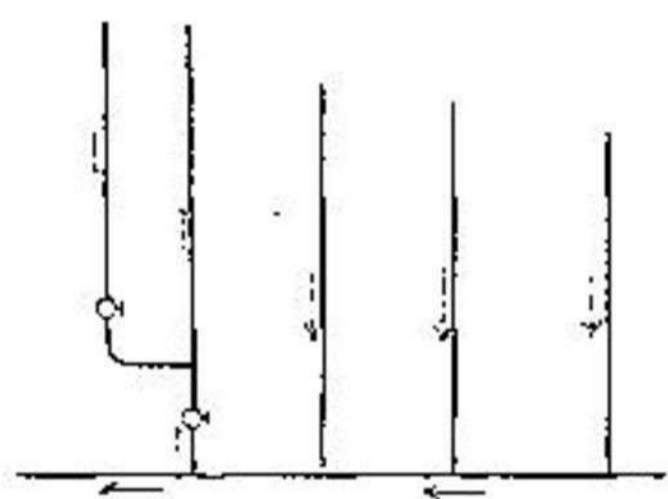
Фиг. 81.

изъ него. Вода изъ котла, поднимаясь къ расширительному сосуду проходитъ черезъ особый приборъ; такъ называемый циркуляторъ (фиг. 81) куда проводится также и паръ; здѣсь они между собою смѣшиваются, и дальше движется кверху уже не паръ, а смѣсь пара съ водой, удѣльный вѣсъ которой значительно ниже воды и это пониженіе находится въ зависимости отъ пропорцій пара въ смѣси. Вследствие такого некузнецоваго пониженія вѣса въ восходящей трубѣ получается очень большая

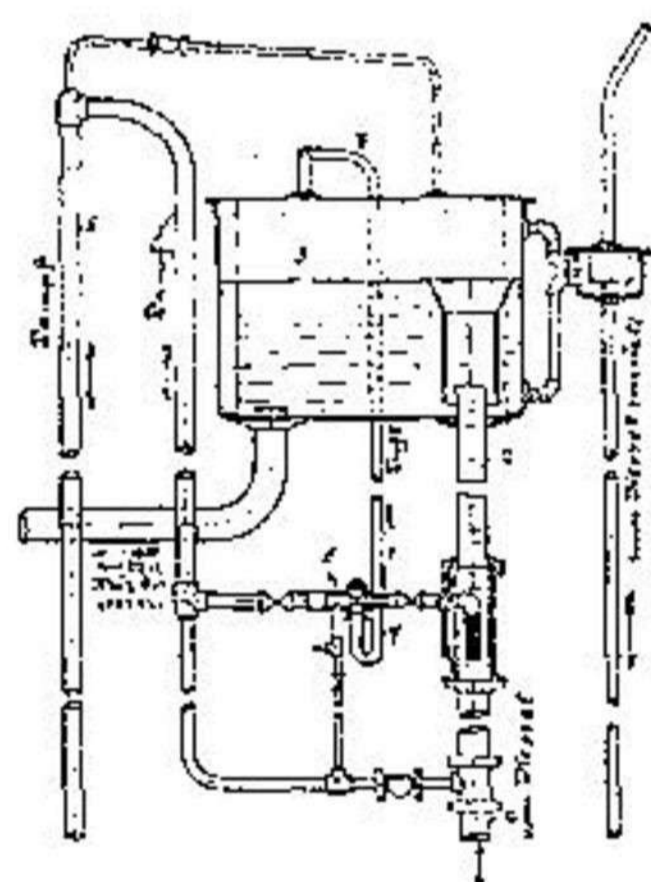


уже разность давлений, вызывающая успешную циркуляцию воды в системах. Избыток пара собирается под крышкой расширительного сосуда и по трубке проходит в конденсатор, где охлаждается проходящей водой и стекает обратно в паровой котел. В сеть же вода поступает из расширительного сосуда непосредственно, а оттуда уже в водогрейный котел. Как видно из схемы, на величину циркуляции имеют влияние: температура воды, выходящей из котла, количество пара, входящего в циркулятор, а так же и высота расположения циркулятора, а именно чем ниже он располагается, тем больше влияния оказывает одна и та же пропорция смеси.

Указанный выше очень крупный недостаток этой системы—невозможность общего регулирования привел к видоизменению ее, а именно в том направлении, чтобы можно было достигнуть регулирования, изменяя температуру в циркуляционных трубах. Для последней цели магистраль по выходе из расширительного сосуда соединяется при посредстве особой трубки с краном с магистралью обратной чер. (82); на первой магистрали так же находится кран. Регулируя тот и другой, можно в распределительную магистраль добавить желаемое количество охлажденной воды и тем понизить т-ру горячей воды. Так как в распределительной магистрали давление больше чем в обратной, то можно пользоваться одним краном на первой.



Фиг. 82.

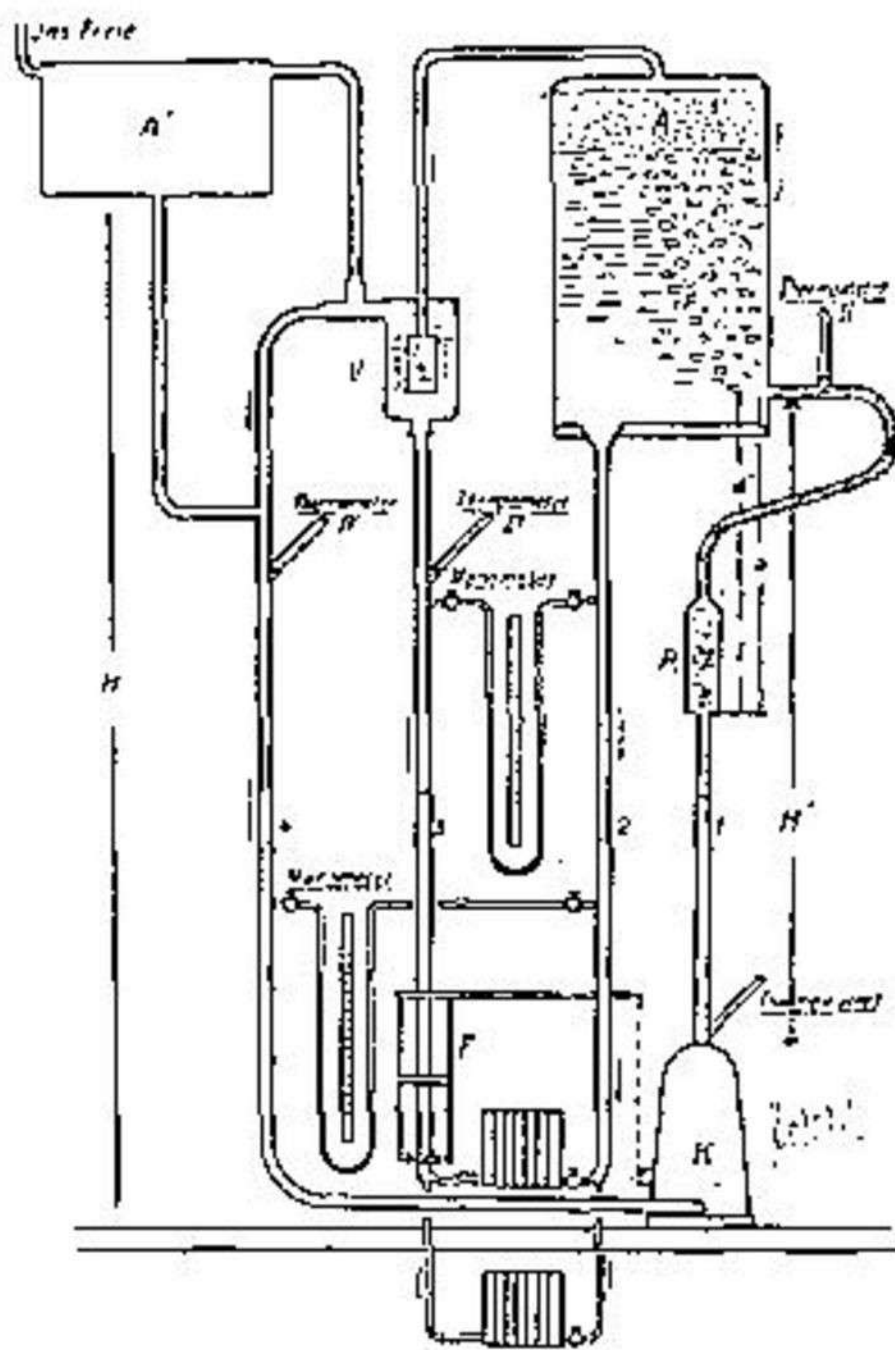


Фиг. 83.

Для той же цели—понижения т-ры циркулирующей воды, некоторые конструкторы вместо пара применили воздух, который опять таки при помощи парового инжектора, вдвигается в восходящую трубу и тем достигается понижение удельного веса жидкости. Воздух выделяется над водой в расширительном сосуде и так как он горячий, то не выпускается наружу, а забирается инжектором опять для циркуляции, так что в системе работает один и тот же объем воздуха. Система эта называется „aëroscuit“ и показана на фиг. (83). Применялась она

пока очень мало и поэтому о ея пригодности еще опредѣленного ничего сказать.

Фиг. (84) представляет схему отопленія Брюкнера. Основана эта система на слѣдующемъ принципѣ. Давленіе въ котлѣ *К* будетъ всегда выше атмосфернаго и при томъ на довольно значительную величину въ зависимости отъ высоты столба воды надъ котломъ; поэтому если довести въ котлѣ *К* температуру до  $100^{\circ}\text{C}$  и даже немного выше, то кипѣнія и парообразованія въ самомъ котлѣ еще не будетъ, поднимающаяся горячая вода въ трубѣ начнетъ кипѣть гдѣ нибудь выше, гдѣ давленіе будетъ меньше и температура воды будетъ уже опредѣлять мѣсто кипѣнія. Образующіеся такимъ образомъ пузырьки пара будутъ здѣсь играть ту же роль, какъ и вводимый паръ въ системѣ Рекка, но такъ какъ фактически некогда невозможно держать т-ру воды на опредѣленной высотѣ, то,



Фиг. 84.

слѣдов., кипѣніе будетъ происходить въ разныхъ мѣстахъ по высотѣ трубы и отъ этого произойдутъ удары и неправильное дѣйствіе системы. Для уничтоженія послѣдняго неудобства Брюкнеръ устраиваетъ на опредѣленной высотѣ въ трубѣ расширеніе *R*. Оказалось, что при такомъ устройствѣ кипѣніе происходитъ только въ этомъ расширеніи и никогда не опускается ниже его. Такимъ образомъ, смѣсь пара и воды всегда занимаетъ высоту « и въ дальнѣйшемъ результатъ уже тотъ-же что и у Рекка, но выдѣляющійся въ расширительномъ сосудѣ *A* паръ уже не можетъ быть конденсированъ поднимающейся горячей водой, такъ какъ ея температура высока, а проводится въ сосудъ *V*, куда поступаетъ обратная охлажденная вода *п*, здѣсь конденсируясь, понижаетъ этимъ нѣсколько давленіе

въ обратной магистрали; отсюда уже вода идетъ въ котелъ. Увлекаемый паромъ и выдѣляющійся въ *V* воздухъ черезъ сосудъ *A* попадаетъ наружу. На схемѣ *F* обозначаетъ регуляторъ горѣнія. По отношенію къ регулированію эта система находится въ такихъ же условіяхъ, какъ и предыдущая, и здѣсь такъ же примѣняется смѣшиваніе воды.

Только что разсмотрѣнныя системы примѣняются, вообще, въ такихъ случаяхъ, когда зданіе имѣетъ значительное горизонтальное протяженіе и гдѣ котелъ не можетъ быть установленъ достаточно глубоко. Подходятъ эти системы и для такихъ зданій, какъ церкви и проч., гдѣ особенно правильнаго регулированія не требуется, система дѣйствуетъ періодически и имѣетъ значеніе дешевизна. Тамъ же, гдѣ по состоянію средствъ возможно устроить обыкновенное водяное отопленіе, но приходится дѣлать проводку на далекое разстояніе, то въ такомъ случаѣ можно рекомендовать обычное водяное отопленіе съ примѣненіемъ насоса для передвиженія воды. Это устройство будетъ разсмотрѣно ниже.

Что касается расчета этихъ системъ, то сопротивленія подсчитываются по указаннымъ выше общимъ формуламъ, а движущая сила или разность давленій должна быть уже опредѣлена, изъ условій работы системы. Такъ Реккъ, напр., количество вводимаго пара доводитъ до такой величины, чтобы въ подъемной трубкѣ плотность смѣси составляла половину плотности воды, т-ра же горячей воды принимается въ  $100^{\circ}$ .

Очень часто задается, что система съ повышенной циркуляціей при средней виѣшней т-рѣ зимняго періода должна работать, какъ обыкновенная водяная, а только при пониженіи наружной т-ры начинаетъ дѣйствовать усиленная циркуляція. Въ такомъ случаѣ расчетъ ведется, какъ для обыкновенной системы, но только на меньшее количество тепла и затѣмъ находятся скорости для принятой самой низкой т-ры и уже по этимъ скоростямъ опредѣляются сопротивленія, по послѣднимъ движущую силу — разность давленій и, слѣдов., пропорцію пара въ смѣси.

## § 60. Водяное отопленіе при помощи насоса.

Въ послѣднее время для циркуляціи воды при водяномъ отопленіи нашли себѣ примѣненіе и насосы. Такая система примѣняется или для отопленія большихъ отдѣльныхъ зданій вмѣсто разсмотрѣнныхъ выше искусственныхъ системъ, или для отопленія цѣлой группы зданій изъ одного отдаленнаго центра (*Fernwärmwasserheizung*). Въ первомъ случаѣ расчетъ системы почти ничѣмъ не отличается отъ обычной, съ той только разницей, что къ полученному давленію вслѣдствіе разности температуръ надо присоединить еще давленіе производимое насосами; такъ какъ послѣд-

ее можетъ быть значительнымъ, то въ такомъ случаѣ скорости могутъ быть значительно увеличены и діаметры трубъ получаются при большихъ даже протяженіяхъ сравнительно небольшими. При большихъ зданіяхъ персоналъ обслуживающій отопленіе можетъ быть въ достаточной степени опытнымъ и съ технической подготовкой, а потому примененіе такой системы не представляетъ большихъ затрудненій.

Гораздо большее значеніе разсматриваемая система имѣетъ во второмъ случаѣ, а именно, когда имѣется цѣлая группа отдѣльныхъ зданій расположенныхъ въ одной обширной усадьбѣ и желательно отопить ихъ изъ одного мѣста, гдѣ и сосредотачивается нагреваніе воды въ большихъ котлахъ и гдѣ поставленный насосъ накачиваетъ горячую воду въ сеть, устроенную въ подземныхъ каналахъ для подведенія къ отдѣльнымъ зданіямъ. Такая централизація очень удобна въ смыслѣ надзора, а также и выгодна въ хозяйственномъ отношеніи, такъ какъ всегда большіе котельныя установки работаютъ болѣе экономно нежели малыя и персоналъ для обслуживанія требуется меньшій.

Въ прежнее время для этой цѣли употреблялся исключительно паръ давленіемъ въ 2—3 атмосферы. Паръ разводился по отдѣльнымъ зданіямъ и тамъ нагревалъ водогрейныя котлы. Для такихъ устройствъ паръ представляетъ много неудобствъ, особенно же высокая т-ра и давленіе, требовавшія особыхъ конструкцій и тщательнаго ухода, а кромѣ того и, что главнѣе всего, паровыя трубы вслѣдствіе высокой т-ры, несмотря на тщательную изоляцію, теряютъ очень много тепла и поэтому коэффициентъ полезнаго дѣйствія такихъ установокъ невеликъ.

Вслѣдствіе только что указанныхъ затрудненій съ паромъ вмѣсто него стали въ послѣднее время применять воду. Началось это прежде всего въ Англии и оттуда уже распространилось вездѣ. Преимущества воды передъ паромъ оказались довольно существенными. Такъ сбереженіе на охлажденіи трубъ составило 1,5—2,5% по отношенію къ наибольшему количеству доставляемаго тепла. Обнаружилась большая безопасность и простота трубопровода, такъ, напр., для паровыхъ трубъ необходимо устраивать въ землѣ кирпичные корридоры, по которымъ можно ходить и осматривать трубы, для водяныхъ же этого не требуется: онѣ прокладываются прямо въ землѣ, какъ обыкновенныя водопроводныя, но только съ изоляціею. Кромѣ того температуру воды можно поддерживать на любой высотѣ и, слѣдоват., общее регулированіе въ зависимости отъ внѣшнихъ условій здѣсь можетъ быть выполнено вполне, что при парѣ затруднительно. Принимая во вниманіе послѣднее обстоятельство, экономія отъ замѣны пара водой получается значительной. При этой же системѣ оказалось возможнымъ удобнѣе использовать отработанный паръ изъ паровыхъ машинъ и, такимъ образомъ, соединяя вмѣстѣ освѣщеніе и отопленіе можно получить электрическую энергію очень дешево—въ 20—25% того что она стоитъ, получаемая отдѣльно отъ отопленія. Но использование отработаннаго пара соста-

вить впоследствии предметъ особаго разсмотрѣнія и поэтому здѣсь мы на немъ останавливаться не будемъ.

Общее регулированіе отдачи тепла посредствомъ измѣненія т-ры воды только тогда достигаетъ цѣли, если это измѣненіе передается достаточно скоро. Какъ мы видѣли выше, вода во внутренней сѣти трубъ движется очень медленно и поэтому послѣ измѣненія т-ры воды пройдетъ достаточно большое время, пока эта вода дойдетъ до отдаленныхъ приборовъ. Если и по наружной сѣти вода такъ же будетъ двигаться медленно, то правильность регулировки этимъ будетъ сильно нарушаться. Обыкновенно хорошіе результаты по регулированію съ центральной станціи получаются въ томъ случаѣ, если вода проходитъ разстояніе отъ центральной станціи до самаго отдаленнаго зданія минутъ въ 10; но во всякомъ случаѣ нельзя давать водѣ скорость выше 2,5 и въ крайнемъ, случаѣ 3 метровъ, такъ какъ уже при такой скорости получается очень большое сопротивленіе, насосу приходится производить большую работу и въ началѣ сѣти сильно возрастаетъ давленіе.

Если эту систему устраивать самостоятельно, безъ связи съ электрической станціей, то она выходитъ нѣсколько дороже паровой системы, при условіи устройства каменныхъ удободоступныхъ каналовъ въ томъ и другомъ случаѣ, сбереженіе же топлива при водяной системѣ, какъ указывалось выше 1,5—2,5%, сравнительно невелико и поэтому едва ли есть основаніе устраивать ее въ такомъ видѣ. Но не дѣлая большихъ каменныхъ каналовъ, а только узкіе для помѣщенія трубъ водяной системы устройство обходится дешевле паровой, при которой нельзя обойтись безъ доступныхъ каналовъ, но зато при такой системѣ проводки въ случаѣ порчи трубопровода нельзя быстро исправить его, хотя, вообще говоря, при хорошемъ первоначальномъ устройствѣ порча происходитъ очень рѣдко; но всетаки для болѣе скорого опредѣленія мѣста порчи трубопровода необходимо устраивать достаточное число ревизіонныхъ колодцевъ. Малая экономія въ топливѣ вслѣдствіе уменьшенія охлажденія трубъ объясняется тѣмъ, что, хотя во время работы отопленія охлажденіе при водяномъ отопленіи и значительно меньше, чѣмъ при паровомъ, но затѣмъ во время перерыва вслѣдствіе большой теплоемкости воды, трубы продолжаютъ терять тепло, чего нѣтъ въ паровой системѣ.

Для болѣе экономичности системы воду въ котлахъ слѣдуетъ нагревать непосредственно, а не употреблять для этого пара.

Для приведенія въ движеніе воды могутъ примѣняться какъ поршневые насосы, такъ и центробѣжные. Но первые не могутъ быть помѣщены непосредственно въ дѣль всего трубопровода, а должны накачивать воду въ особый напорный резервуаръ, который и служитъ регуляторомъ давленія. Вслѣдствіе включенія и выключенія отдѣльныхъ зданій и проч. особенно при 2-хъ проводной системѣ колебанія въ количествѣ необходимой воды, могутъ быть довольно большими, а такъ какъ поршневые насосы обла-

даютъ постоянствомъ объема, то въ такомъ случаѣ при помѣщеніи ихъ прямо въ цѣпь, въ послѣдней давленіе будетъ сильно колебаться и можетъ возрасти до нежелательной величины. Центробѣжные же насосы обладаютъ при неизмѣнномъ числѣ оборотовъ постоянствомъ давленія и поэтому измѣненіе въ количествѣ необходимой воды на нихъ не отражается и они могутъ работать прямо въ цѣпи.

Очень часто въ цѣляхъ регулированія системы пользуются не измѣненіемъ температуры воды, а измѣненіемъ скорости ея, допуская при низкихъ вѣтвяхъ т-рахъ повышеніе ея за указанный выше предѣлъ и, наоборотъ, понижая ее при умѣренномъ холодѣ. Такая система позволяетъ съэкономить какъ на первоначальномъ устройствѣ, такъ и на эксплуатациіи (уменьшеніе работы насоса), но зато въ такомъ случаѣ получаются нѣкоторыя неудобства, а именно, съ измѣненіемъ скорости измѣняется коэф. тренія, вслѣдствіе чего распределеніе воды по отдѣльнымъ зданіямъ будетъ нѣсколько неправильнымъ и въ такомъ случаѣ необходимо прибѣгать къ частному регулированію по зданіямъ. Поэтому лучше, конечно, было-бы скорость воды не мѣнять, а пользоваться только измѣненіемъ ея температуры.

При устройствѣ этой системы надо имѣть въ виду, что установленный насосъ всегда можетъ по какому ниб. случаю отказаться отъ работы и поэтому необходимо всегда ставить запасной, но съ другимъ двигателемъ. Такъ, напр., если постоянный насосъ работаетъ отъ электрическаго мотора, то запасной долженъ быть или паровымъ, или съ керосиновымъ, или другимъ какимъ ниб. двигателемъ, вообще, независимымъ отъ электрической сѣти.

Насосъ долженъ быть установленъ на обратной трубѣ передъ котломъ, причемъ онъ не долженъ всасывать, а только нагнетать. Если-бы получилось всасываніе, то насосъ часто не могъ бы работать, такъ какъ при высокой т-рѣ обратной воды достаточно было-бы небольшого сравнительно разреженія подъ поршнемъ, чтобы вызвать парообразованіе и тѣмъ нарушить работу насоса.

Распределительная магистраль устраивается или въ видѣ одного кругового кольца одного діаметра, къ которому присоединяются, какъ прямыя такъ и обратныя трубы въ зданіяхъ, или въ видѣ двухъ магистралей, причемъ къ одной присоединяются прямыя трубы, а къ другой—обратныя. Во второмъ случаѣ діаметры въ различныхъ участкахъ уже разные. Если по расположенію центральной станціи неудобно провести одно кольцо, то можно его, какъ для 2-хъ проводной, такъ и однопроводной системы разбить на нѣсколько вѣтвей, расходящихся за котломъ и опять сходящихся передъ насосомъ.

Для того чтобы лучше уяснить разницу между однопроводной и 2-хъ проводной системами, возьмемъ небольшой примѣръ въ схематическомъ видѣ. Допустимъ, что намъ надо провести 3.000.000 cal. для 10 одинако-

выхъ зданій при протяженіи кольца въ 2 километра. При однопроводной системѣ примемъ разность т-ръ воды въ  $10^{\circ}$ , а для 2-хъ проводной въ  $30^{\circ}$ . Охлажденіе въ пути воды будетъ невелико и поэтому его не будемъ принимать во вниманіе. Въ первомъ случаѣ необходимо пропустить черезъ насосъ 300 000 литровъ воды, а во второмъ 100.000 л. Вслѣдствіе большаго протяженія придерживаться вышеуказаннаго правила — проходить все разстояніе въ 10 минутъ — не будемъ. Для перваго случая выберемъ діаметръ въ 0,25 м. и тогда скорость получается въ 1,7 метра, что удовлетворяетъ указанному выше предѣлу. Въ такомъ случаѣ на основаніи формулы Вейля

$$p = \frac{4lv^2}{d} \left( a + \frac{f}{\sqrt{R}} + \frac{b}{v\sqrt{R}} \frac{[\eta]}{\gamma} \right),$$

гдѣ  $l$  — въ килом.,  $a=0,12$ ,  $f$  для желѣзныхъ трубъ  $=0,018$ ,  $R$  — гидравлич. радіусъ  $= \frac{d}{4}$ ,  $b$  для желѣзн. трубъ  $=0,71$  и  $\frac{[\eta]}{\gamma}$  для  $85^{\circ} \text{C} = 0,0036$ . Въ такомъ случаѣ для 100 метровъ длины имѣемъ  $p=0,93$  м. Имѣя въ виду еще отдѣльныя сопротивленія, примемъ круглую цифру въ 1 метръ и, слѣдов., сопротивленіе во всемъ трубопроводѣ будетъ 20 м. Для того чтобы вода входила въ каждое зданіе съ нѣкоторымъ напоромъ, поставимъ на магистральной между входомъ въ каждое зданіе пзъ него и выходомъ по сопротивленію приблизительно въ 1 метр., тогда общая величина этихъ сопротивленій составитъ 10 метровъ и все сопротивленіе для насоса получится въ 30 м. и теоретическая работа насоса составитъ

$$\frac{300 \cdot 000 \cdot 30}{3 \cdot 600 \cdot 75} = 33,4 \text{ Н. Р.}$$

Для 2-го случая требуется провести 100.000 л. и при діаметрѣ въ 0,15 м. и приблизит. той же скорости  $p=1,67$  м., а съ отдѣльными сопротивленіями — 1,75 м. Если мы предположимъ, что такое сопротивленіе будетъ оставаться на всемъ пути и діаметръ будетъ мѣняться уже въ зависимости отъ него, то работа получится такая:

$$2 \cdot 1,75 \cdot 100.000 + 2 \cdot 1,75 \cdot 90.000 + 2 \cdot 1,75 \cdot 80.000 \text{ и т. д. } + \\ + \dots \dots 10.000 \cdot 2 \cdot 1,75 = L^*)$$

$$\frac{L}{3 \cdot 600 \cdot 75} = 7,15 \text{ Н. Р.}$$

\*) Здѣсь цифра 2 обозначаетъ число единицъ длины въ 100 м., считая зданія расположенными на равномъ разстояніи другъ отъ друга.

Вотъ теперь сравнивая объ эти системы, мы видимъ, что при одной и той же скорости воды первая система потребляетъ значительно больше работы насоса чѣмъ вторая; для уравненія ихъ потребовалось-бы увеличить діаметръ трубы въ первомъ случаѣ приблизительно до 0,35 м. Удобство первой системы составляетъ то, что разница давленій въ прямой и обратной трубахъ въ каждомъ зданіи одна и таже и невелика—въ общемъ 1 метръ, во второй же системѣ эта разница давленій равна той же разницѣ въ магистральныхъ, а послѣдняя не одинакова для всѣхъ зданій и для ближайшихъ къ насосному зданію является максимальной. Такъ, если считать отъ насоса до 1-го зданія 100 метровъ, то потеря давленія составитъ до него 1,75 м., и обратно 1,75 м., т. е.—3,5 м., а вся разность давленій производимая насосомъ 35 м. и поэтому между прямой и обратной трубами 1-го зданія будетъ разность давленій въ  $35 - 3,5$  м., = 31,5 м., во второмъ зданіи  $35 - 7 = 28$  м. и т. д. Для того чтобы уничтожить эти разности, приходится по одной изъ ведущихъ въ зданія трубъ, (прямой или обратной) устанавливать очень большое сопротивление напр. вентиль съ очень малымъ открытіемъ. Но неудобство этого сопротивления то, что вода, прорываясь съ большою скоростью черезъ узкое отверстіе, производитъ большой шумъ. Для уменьшенія этого неудобства, а также для облегченія работы насоса лучше устанавливать послѣдній въ центрѣ всей системы и къ зданіямъ проводить отдѣльные вѣтви, а не вести кругомъ одну. Если же почему либо нельзя поставить центральную станцію въ срединѣ, то въ такомъ случаѣ въ срединѣ можно установить напорную баню съ бакомъ, куда качать насосомъ горячую воду изъ другого мѣста и изъ бака она уже будетъ расходиться по зданіямъ. Неудобствомъ при однопроводной системѣ является высокая т-ра обратной воды въ томъ случаѣ, если используется отработанный паръ и вода для конденсаціи должна имѣть т-ру возможно ниже.

Вотъ въ общихъ чертахъ преимущества и недостатки того и другого способа проводки и какому отдать предпочтеніе, можно рѣшить только въ каждомъ частномъ случаѣ отдѣльно, взвѣсивши всѣ мѣстныя условія. Но можно сказать, что при длинныхъ магистральныхъ лучше для ближайшихъ зданій, устраивать однопроводную систему, а далѣе, гдѣ уже разность давленій меньше—двухпроводную.

Что касается мѣста для расширительнаго сосуда, то здѣсь нужно имѣть въ виду слѣдующее. Для того чтобы давленіе въ системѣ не повышалось сильно при нагреваніи воды, расширительный сосудъ долженъ быть открытымъ и поэтому его надо помѣщать въ томъ мѣстѣ распределительной магистрали, куда достигаетъ еще нагнетаніе насосомъ и откуда уже начинается всасываніе. Но такъ какъ въ дѣйствительности всасываніе не должно быть, то вода въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится расширительный сосудъ должна быть поднята на такую высоту, чтобы она могла самотекомъ подходить къ насосу.



Кромѣ того, такъ какъ существующіе въ продажѣ радиаторы испытываются давленіемъ только на 6 атм., то для безопасности расширительный сосудъ надо располагать такъ, чтобы давленіе на нижніе радиаторы не превосходило 4 атмосферъ. Каждое отдѣльное зданіе образуетъ свою замкнутую систему, но расширит. сосуда здѣсь уже не надо, а только приспособленіе для выпуска воздуха. Для лучшей же возможности регулированія т-ръ въ отдѣльныхъ зданіяхъ приточная и отводящая трубы соединяются между собой особой трубой съ вентилемъ для возможности получить смѣшанную воду любой температуры.

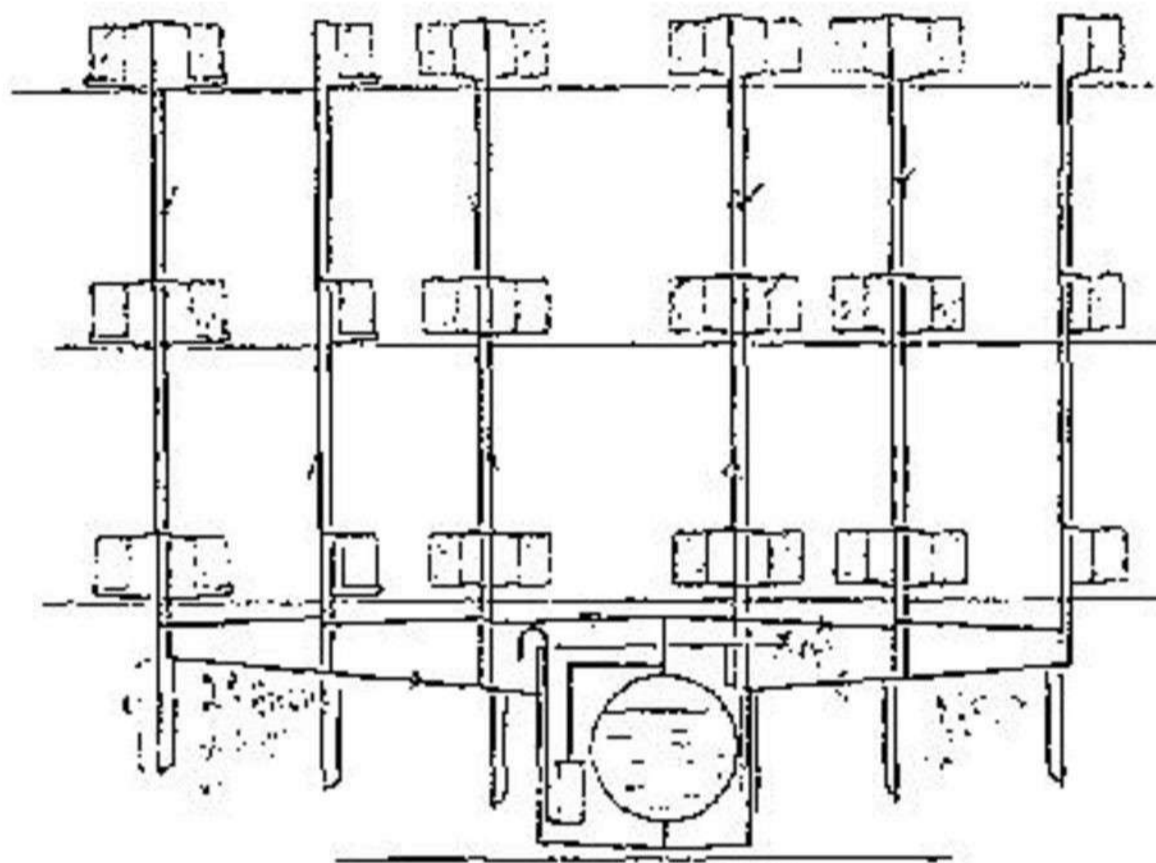
## § 61. Паровое отопленіе низкаго давленія.

Средствомъ для переноса тепла отъ источника его полученія къ нагрѣвательнымъ приборамъ кромѣ воды можетъ быть и паръ, который въ этомъ отношеніи представляетъ даже больше удобствъ, чѣмъ вода. Такъ одна вѣсовая единица воды можетъ передать только до 30 единицъ тепла, между тѣмъ паръ, конденсируясь въ нагрѣвательномъ приборѣ въ воду, освобождаетъ и передаетъ около 500 единицъ тепла; такимъ образомъ, для передачи одного и того же количества тепла потребуется пара въ 16,5 разъ меньше *по весу*, чѣмъ воды. Правда объемъ пара при томъ давленіи, какъ онъ примѣняется для отопленія, въ 1300 разъ больше объема воды, но зато скорость его въ трубахъ приблизительно въ 75—100 разъ больше и поэтому въ результатѣ діаметры трубъ для пара получаются нѣсколько меньше чѣмъ для воды. Но для обратной сѣти разница получается значительно больше въ пользу парового отопленія. Кромѣ того, получается еще разница и въ поверхности нагрѣвательныхъ приборовъ: температура пара не ниже  $100^{\circ}$ , а температура воды въ среднемъ  $85^{\circ}$  и поэтому при паровомъ отопленіи поверхность нагрѣвательныхъ приборовъ получается меньше и въ концѣ концовъ, паровое отопленіе оказывается по устройству болѣе дешевымъ, чѣмъ водяное, но зато оно имѣетъ и очень существенные недостатки, на которыхъ остановимся впоследствии.

Паровое отопленіе бываетъ съ давленіемъ пара въ 3—4 атмосферъ, такъ и съ небольшимъ давленіемъ—въ 0,1—0,5 атмосферъ сверхъ атмосфернаго давленія. Первая система носитъ названіе парового отопленія высокаго давленія и примѣняется тамъ, гдѣ имѣется уже паръ высокаго давленія для другихъ цѣлей, т. е. главнымъ образомъ для отопленія фабричныхъ и заводскихъ помѣщеній. Во веѣхъ-же жилыхъ и общественныхъ зданіяхъ, если устранивается паровое отопленіе, то только второго типа—такъ назыв. система низкаго давленія. Такъ какъ послѣдняя при-

мѣняется значительно больше, чѣмъ первая, то мы раньше и остановимся на системѣ низкаго давленія.

Наиболѣе распространенная схема этого отопленія показана на фиг. (85). Обыкновенно въ подвальномъ помѣщеніи, по возможности ближе къ центру всей системы, устанавливается паровой котелъ, паръ изъ котораго черезъ вертикальную трубу попадаетъ въ горизонтальныя магистрали, уложенныя подъ потолкомъ подвального помѣщенія, а изъ магистралей



Черт. 85

по вертикальнымъ трубамъ въ нагрѣвательные приборы. Въ послѣднихъ паръ конденсируется, отдаетъ свое тепло и уже образующаяся горячая вода спускается по вторымъ вертикальнымъ трубамъ во вторую нижнюю магистраль и затѣмъ общей трубой въ нижнюю часть котла. Такимъ образомъ, эта система для пара и воды является замкнутой. Но здѣсь, вѣдь, до поступленія пара внутри трубъ и нагрѣвательныхъ приборовъ находится воздухъ, который не допуститъ въ нихъ пара, если онъ не будетъ оттуда удаленъ. Такъ какъ при равномъ давленіи воздухъ тяжелѣе пара, то его лучше всего выпускать изъ нижней части системы и для послѣдней цѣли къ нижнимъ водянымъ магистралямъ въ точкахъ поворота ихъ внизъ къ котлу присоединяются особыя воздушныя трубки, соединяющіяся въ общую трубу съ крапомъ на концѣ (на схемѣ косою крестъ). Черезъ открытый край воздухъ будетъ вытѣсненъ паромъ и послѣдній заполнитъ всю систему; когда послѣ этого изъ воздушной трубки начнетъ выходить паръ, то край надо закрыть. По окончаніи точки, когда паръ перестанетъ поступать изъ котла въ систему, въ послѣдней вѣдствіе продолжающейся конденсаціи образуется вакуумъ и въ это время долженъ быть опять открытъ край для впуска воздуха.

Для того чтобы имѣть возможность и право установить паровой котелъ подъ тѣмъ помѣщеніемъ гдѣ находятся люди, послѣдній долженъ быть совершенно безопаснымъ относительно взрыва, для чего устраивается изъ пароваго пространства котла открытая труба большаго діаметра (не менѣе 3")

въ атмосферу и для полученія давленія въ котлѣ примѣняется гидравлическій запоръ. Такое приспособленіе показано на схемѣ слѣва отъ котла: отъ паровой трубы отдѣляется вѣтвь, соединяющаяся съ верхней частью особаго сосуда, гдѣ находится вода и снизу котораго выходитъ указанная выше открытая труба (верхъ ея загнутъ книзу). Высота этой трубы не должна быть болѣе 5 метр., для того чтобы максимальное давленіе не превосходило 0,5 атм. Если въ котлѣ по недосмотру кочегара давленіе превыдетъ эту норму, то паръ вытѣснитъ воду изъ нижняго сосуда и начнетъ самъ выходить черезъ открытую трубу паружу до пониженія давленія. Вытѣсненная паромъ вода выливается въ верхній сосудъ, откуда по особой трубкѣ (не показаны на схемѣ) можетъ возвратиться опять въ нижній сосудъ, когда давленіе въ котлѣ понизится. Съ нѣсколькими конструкціями только что указаннаго приспособленія мы познакомимся ниже въ статьѣ о регуляторахъ тяги.

Въ магистрали и въ другихъ трубахъ часть пара вслѣдствіе охлажденія трубъ конденсируется и образовавшейся водѣ необходимо дать удобный выходъ, такъ какъ въ противномъ случаѣ могутъ образоваться гидравлическіе запоры, прекращающіе или, въ крайнемъ случаѣ, нарушающіе правильное передвиженіе пара. Для лучшаго же выхода конденсаціонной воды горизонтальнымъ трубамъ необходимо давать нѣкоторый  $\left(\frac{1}{100} - \frac{1}{200}\right)$  уклонъ въ ту или другую сторону; въ тѣхъ же мѣстахъ, гдѣ можно ожидать скопленія большого количества конденсаціонной воды, какъ напр. въ мѣстахъ присоединенія къ магистрали вертикальныхъ паровыхъ трубъ, или тамъ, гдѣ свободнаго стока воды не можетъ быть, какъ напр., въ мѣстахъ перехода магистрали изъ пониженія въ повышеніе — во всѣхъ такихъ случаяхъ необходимо устраивать спеціальное приспособленіе для отвода воды изъ верхней магистрали въ нижнюю. Обычнымъ способомъ въ данномъ случаѣ является устройство простого сифона. Расположеніе и мѣста такихъ сифоновъ указаны на схемѣ. Высота сифона  $\frac{1}{2}$  должна соответствовать давленію пара въ паровой магистрали, чтобы онъ не могъ попасть въ конденсаціонную магистраль. Внизу сифона дѣлается отверстіе, запираемое пробкой или крапомъ: время отъ времени черезъ это отверстіе можно удалять отлагающуюся въ сифонѣ грязь. Отъ одного сифона до другого магистраль паровая должна имѣть уклонъ въ одномъ направленіи, если же этого выполнить невозможно вслѣдствіе длины участка, когда нижній конецъ долженъ опуститься уже очень низко, то въ такомъ случаѣ можно въ срединѣ сдѣлать новый подъемъ съ установкой здѣсь добавочнаго сифона.

Что касается способа соединеній трубъ, установки компенсаторовъ и проч., то здѣсь можно сказать все то же, что было сказано относительно трубопровода водяного отопленія.

Спускная сѣть для воды должна быть также уложена съ тщательнымъ соблюденіемъ уклона трубъ, чтобы по окончаніи топки воздухъ могъ опять свободно войти внутрь во все мѣста. При несоблюденіи этого условія вслѣдствіе гидравлическихъ запоровъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ образуются вакуумы, куда время отъ времени прорывается паръ съ большимъ шумомъ и трескомъ, напоминающимъ выстрѣлы. При невозможности вездѣ выполнить уклонъ необходимо въ соответствующихъ мѣстахъ установить воздушныя трубки, соединивши ихъ съ общей воздушной трубой.

Изъ разсмотрѣнія дѣйствія этой системы отопленія не трудно убѣдиться, что каждый разъ свѣжій воздухъ входитъ внутрь, когда стѣнки трубъ мокры, а это обстоятельство, какъ извѣстно, обуславливаетъ сильное ржавленіе желѣза. Въ прежнее время когда желѣныя трубы были дороги, а мѣдь относительно дешевле чѣмъ теперь, считали даже выгоднымъ дѣлать спускную сѣть изъ мѣдныхъ трубъ, но теперь, конечно, этого уже никто не дѣлаетъ. Нѣкоторые конструкторы, какъ напр. нѣмецкій инженеръ Кайферъ и др., предлагали для уменьшенія ржавленія трубъ такія приспособленія, которыя давали-бы возможность пользоваться одной и той же порціей воздуха, имѣя въ виду, что этотъ воздухъ, разъ использовавшій свой кислородъ, впослѣдствіи уже не будетъ окислять желѣзо. Приспособленія эти заключаются въ томъ, что воздухъ изъ воздушной трубы не выпускается наружу, а собирается въ особый герметически закрытый ящикъ, наполненный водой и соединенный въ нижней части съ другимъ ящикомъ. Воздушная труба заканчивается у верхней крышки перваго ящика и подъ давленіемъ пара воздухъ входитъ въ него и выдавливаетъ воду въ другой ящикъ—открытый. При образованіи въ системѣ вакуума воздухъ будетъ подъ давленіемъ воды входитъ въ нее опять и постепенно заполняетъ. Опыты примѣненія этихъ приспособленій показали, что ржавленіе трубъ несколько не уменьшается, но работа всей системы въ значительной степени улучшается въ смыслѣ спокойствія, правильности дѣйствія и отсутствія шума. Объемы ящиковъ должны быть таковы, чтобы могъ, конечно, вмѣститься весь воздухъ, находящійся въ системѣ, а высоты должны соответствовать давленію пара въ системѣ.

Кромѣ приведенной схемы проводки трубъ при паровомъ отопленіи существуютъ и другія, а именно распредѣлительныя магистрали могутъ быть уложены вмѣсто подвала на чердакѣ зданія и въ такомъ случаѣ эта схема ничѣмъ не отличается отъ схемы водяного отопленія съ верхнимъ распредѣленіемъ за исключеніемъ, конечно, расширительнаго сосуда, котораго здѣсь не должно быть, а внизу должна быть такая же воздушная труба.

Но распредѣлительную магистраль внизу въ подвалѣ, если только по мѣстнымъ условіямъ это возможно сдѣлать, слѣдуетъ предпочитать распредѣленію на чердакѣ, какъ при паровомъ отопленіи такъ и при водяномъ, такъ какъ, не смотря на тщательную изоляцію трубъ, на чердакѣ

всегда потеря тепла больше чѣмъ внизу, помимо того, что, какъ обыкновенно приходится наблюдать, изоляція на чердакѣ черезъ нѣкоторое время портится, рѣдко когда впоследствии исправляется и въ такомъ видѣ система отопленія теряетъ много тепла безъ пользы.

## § 62. Система разомкнутая.

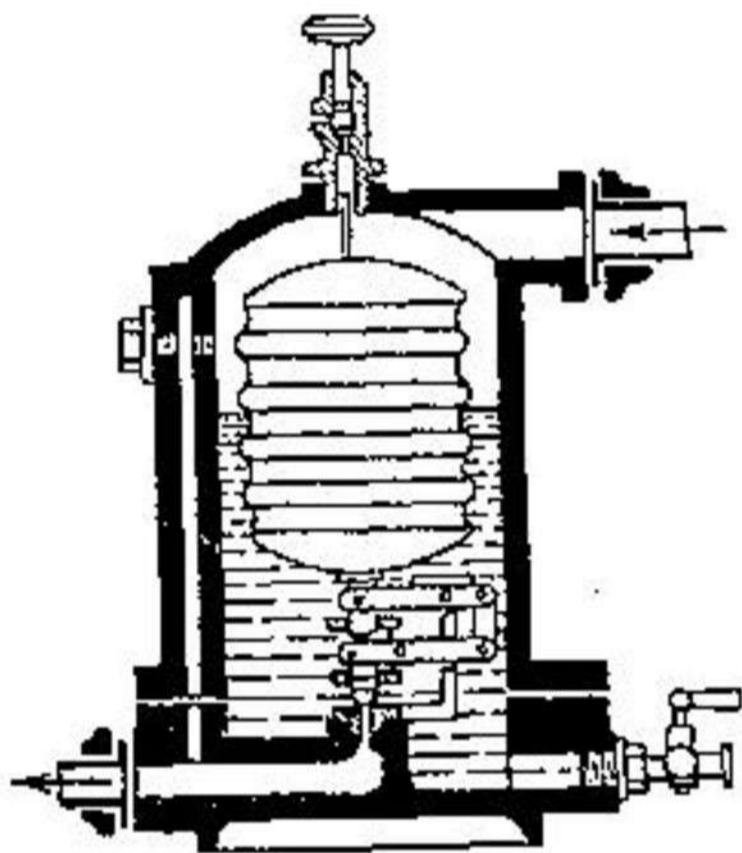
Существенная разница въ схемѣ парового отопленія получается въ томъ случаѣ, если котель не можетъ быть опущенъ на столько, какъ показано на фиг. (84). Въ этомъ случаѣ, при значительномъ горизонтальномъ протяженіи сѣти и большой, слѣдоват., потерѣ давленія, вода въ спускной сѣти можетъ стоять выше уровня воды въ котлѣ и поэтому нижніе нагрѣвательные приборы могутъ быть залиты водой съ температурой болѣе низкой, чѣмъ паръ и такимъ образомъ будутъ доставлять тепло меньше чѣмъ требуется. При такомъ условіи уже нельзя соединить спускную магистраль непосредственно съ котломъ, а необходимо конденсационную воду спускать въ особый резервуаръ—сборникъ и отсюда уже тѣмъ или другимъ способомъ перекачивать въ котель. Такая система уже менѣе удобна, чѣмъ обыкновенная, такъ какъ требуетъ болѣе тщательнаго ухода.

Кромѣ того, при такой системѣ требуются еще нѣкоторыя дополнителныя приспособленія, которыя давали бы возможность сконденсировавшейся водѣ вытекать въ сборникъ и въ то же время задерживали-бы паръ внутри трубопровода и нагрѣвательныхъ приборовъ. Такую роль выполняютъ такъ назыв. конденсационные горшки, конструкцій которыхъ довольно много, но всѣ они раздѣляются на 4 типа, а именно: 1) приборы съ закрытыми поплавками, 2) съ открытыми, 3) съ жидкостью, кипящей при низкой температурѣ и 4) приборы, основанные на неодинаковомъ расширеніи разныхъ металловъ при нагрѣваніи.

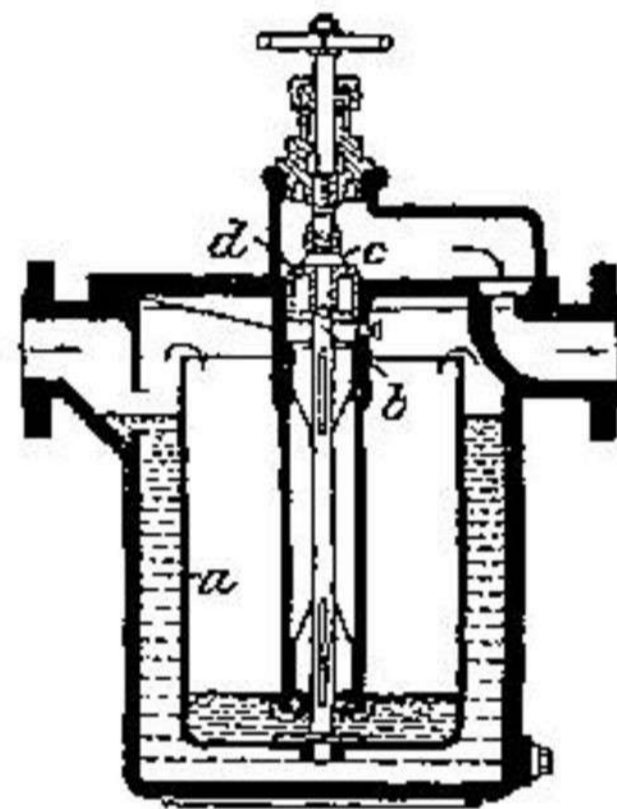
На фиг. (86) показанъ приборъ перваго рода. Здѣсь вода и паръ поступаютъ внутрь по направленію, указанному стрѣлкой и вода, заполняя внутреннее пространство, поднимаетъ мѣдный пустотѣлый поплавокъ, запаянный кругомъ. Последній соединенъ при посредствѣ ряда рычаговъ съ клапанами, закрывающими нижнее отверстіе. При подъемѣ поплавокъ клапанъ открывается и давленіемъ пара вода вытѣсняется наружу. Передъ началомъ работы этого прибора необходимо выпустить изъ него воздухъ, для чего вверху имѣется кранъ съ маховичкомъ. Главнымъ недостаткомъ этого прибора является скорая порча поплавокъ: вслѣдствіе постояннаго измѣненія температуры, а отъ этого и упругости заключеннаго внутри

поплавок воздуха въ снѣжкахъ скоро появляются трещины, внутрь попадаетъ вода и поплавокъ перестаетъ дѣйствовать.

На фиг. (87) показанъ приборъ съ открытымъ поплавкомъ. Здѣсь поплавокъ *a*, поднятый водой, закрываетъ стержнемъ *b* отверстие *c*. По мѣрѣ дальнѣйшаго притеканія вода переливается черезъ край поплавка и своею тяжестью опускаетъ его внизъ; при этомъ открывается отверстие *c* и давлениемъ пара вода изъ поплавка по трубкѣ выгоняется наружу, послѣ чего поплавокъ опять поднимается и запираетъ отверстие.



Черт. 86.



Черт. 87.

Этотъ приборъ простой конструкціи дѣйствуетъ долгое время очень исправно и поэтому получилъ наибольшее распространеніе.

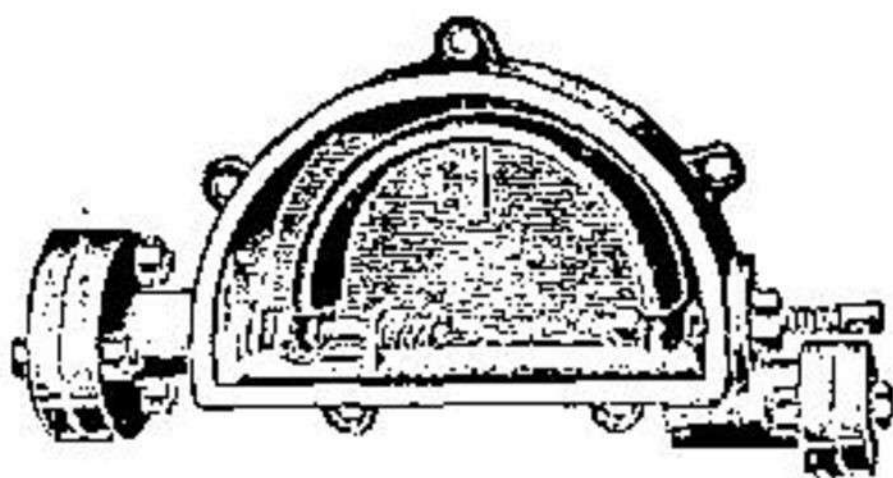
Фиг. (88) показываетъ конденсаціонный приборъ Гейнце, являющійся представителемъ 3-го типа, т. е. съ жидкостью кипящей при низкой т-рѣ. Эта жидкость заключается въ полости дуги, находящейся внутри прибора и закрѣпленной однимъ концомъ (правымъ), а на другомъ имѣющей пробку для запертія выходнаго отверстия. При прохожденіи черезъ приборъ воды (справа налѣво) дуга подъ вліяніемъ пружины открываетъ отверстие, а при парѣ внутренняя жидкость приходитъ въ кипѣніе и отъ упругости паровъ внутри лѣвый конецъ дуги преодолеваетъ дѣйствіе спиральной пружины и запираетъ выходное отверстие. Этотъ приборъ дѣйствуетъ вначалѣ хорошо, но затѣмъ черезъ нѣкоторое время жидкость изъ дуги исчезаетъ черезъ образовавшіяся скважины, и правильность работы нарушается и поэтому въ продажѣ имѣются запасныя дуги для легкаго возобновленія правильности работы прибора.

Приборы 4-й категоріи работаютъ совершенно неудовлетворительно, а поэтому мы на нихъ и не будемъ останавливаться.

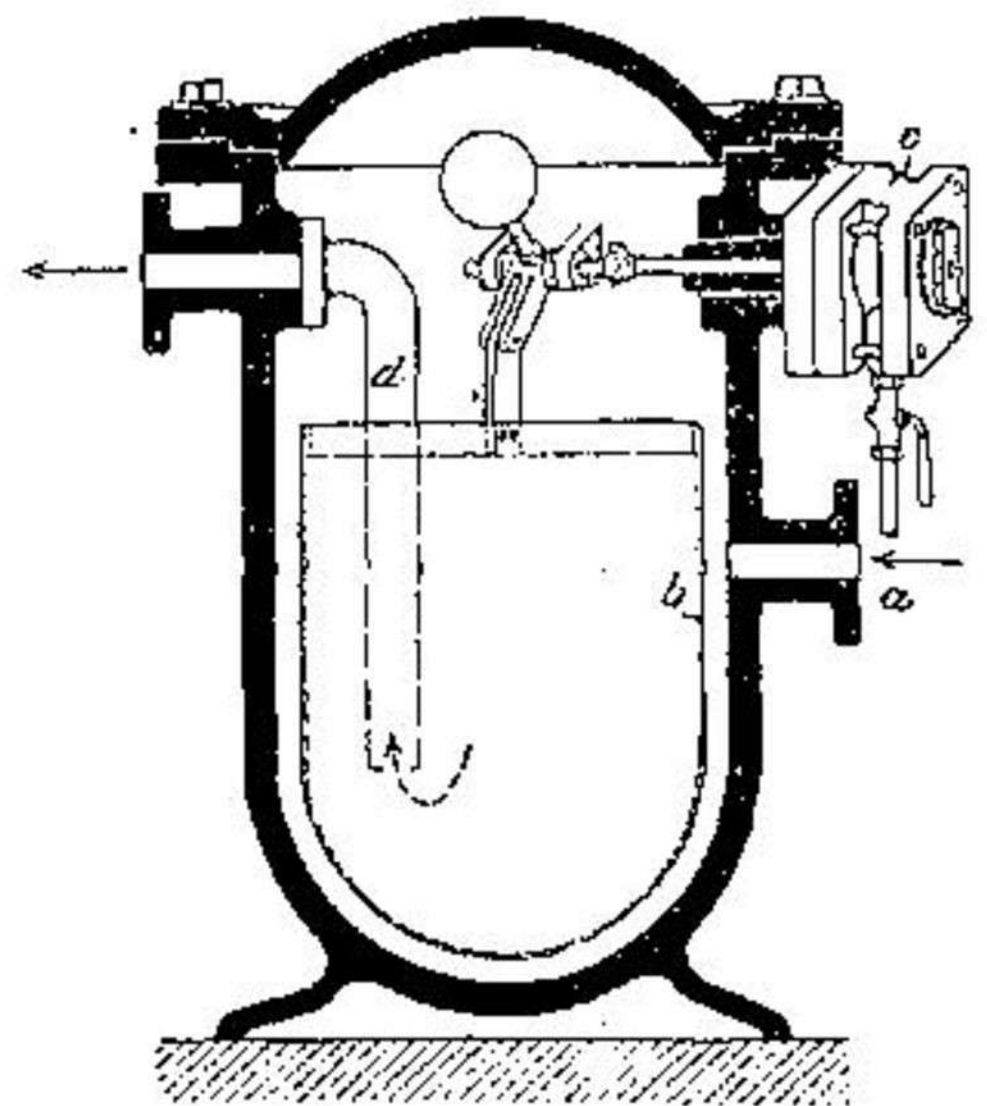
Изъ описанія дѣйствія послѣднихъ приборовъ теперь ясно, что система отопленія паромъ съ отдѣленіемъ отъ котла конденсаціонной сѣти не только требуетъ, вообще, большаго ухода, но кромѣ того и персоналъ при этомъ долженъ быть въ достаточной степени технически подготовлен-

лымъ. Перекачивать воду въ котелъ можно или ручнымъ насосомъ или другимъ какимъ нибудь образомъ если имѣются для этого въ распоряженіи соответствующія средства, или устанавливаются автоматическія приспособленія.

На фиг. (89) показанъ одинъ изъ такихъ приборовъ для питанія котла; но если сборный резервуаръ стоитъ ниже котла, то въ такомъ случаѣ необходимо установить два прибора: одинъ внизу, другой выше уровня воды въ котлѣ. Вода изъ сборника поступаетъ въ приборъ и постепенно наполняетъ поплавокъ, который, опускаясь подъ тяжестью воды, открываетъ паровой кранъ и давленіемъ пара вода изъ нижняго прибора пере-



Фиг. 88.



Фиг. 89.

гоняется въ такой же верхній, а изъ него уже прямо въ котелъ. Для работы этихъ приборовъ въ соответствующихъ мѣстахъ должны быть установлены питательные клапаны, а именно: передъ входомъ въ нижній аппаратъ, передъ входомъ въ верхній и, наконецъ, передъ входомъ въ котелъ.

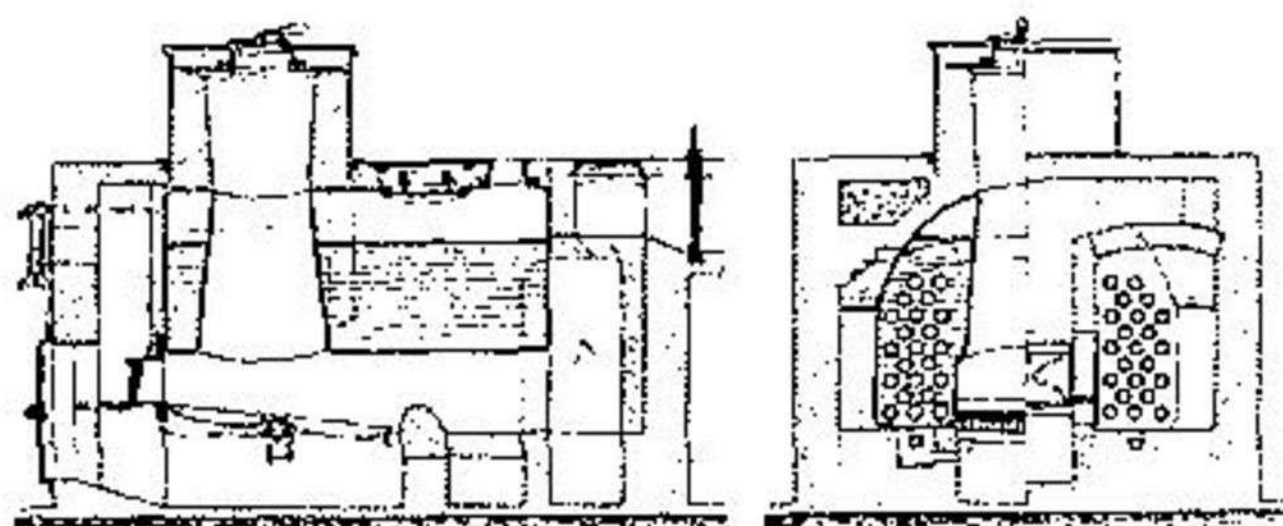
### § 63. Специальные котлы, регуляторы тяги и давленія.

Для полученія пара для отопленія примѣняются или котлы обыкновеннаго типа—съ прогарной трубой, съ дымогарными трубками и проч., или специальные. Къ послѣдней категоріи надо отнести какъ нѣкоторыя формы котловъ съ дымогарными трубками, такъ и котлы составные—изъ

отдѣльныхъ чугунныхъ элементовъ. На котлахъ общаго типа, какъ указывалось уже выше, мы останавливаться не будемъ, а только на специальныхъ.

Небольшое давленіе внутри котла позволяетъ отступать отъ обычной круглой формы внѣшней поверхности котла съ той или иной цѣлью. При небольшихъ, обыкновенно, размѣрахъ этихъ котловъ топку приходится помещать снаружи и такъ какъ очень часто площадь котельной ограничена, то топка и первый дымоходъ помещаются подъ котломъ и для лучшей утилизаціи поверхности, а также для возможности устроить сквозь котелъ дополнительную шахту, нижней части котла придаютъ не выпуклую, а вогнутую внутрь котла форму, что при большомъ давленіи было бы невозможно. Вслѣдствіе особой формы своего поперечнаго сѣченія котлы эти получили названіе сѣдлообразныхъ. Фиг. 90. изображаетъ одинъ изъ такихъ котловъ.

Мы видѣли выше, какое большое значеніе имѣетъ часть, омываемая пламенемъ и первый дымоходъ, а потому указанное только что увеличеніе ихъ поверхности посредствомъ выгибанія надо признать целесообразнымъ. Но совсѣмъ иначе приходится высказаться относительно часто устраиваемой при такихъ котлахъ дополнительной шахты. Шахты эти ра-



Фиг. 90.

ботаютъ хорошо только при нѣкоторыхъ неспекающихся сортахъ угля съ опредѣленной величиной кусковъ, а при всякихъ другихъ условіяхъ онѣ даютъ очень плохіе результаты. Въ большинствѣ случаевъ приходится наблюдать у насъ работу шахты при очень неблагоприятныхъ условіяхъ, какъ топлива, такъ и ухода за котлами и результаты при этомъ получаются довольно плохіе, а поэтому можно вполне рекомендовать у насъ такихъ шахтъ не дѣлать, а устраивать обычную топку съ наполненіемъ черезъ дверцу, хотя бы шахта и давала нѣкоторыя удобства для чегара.

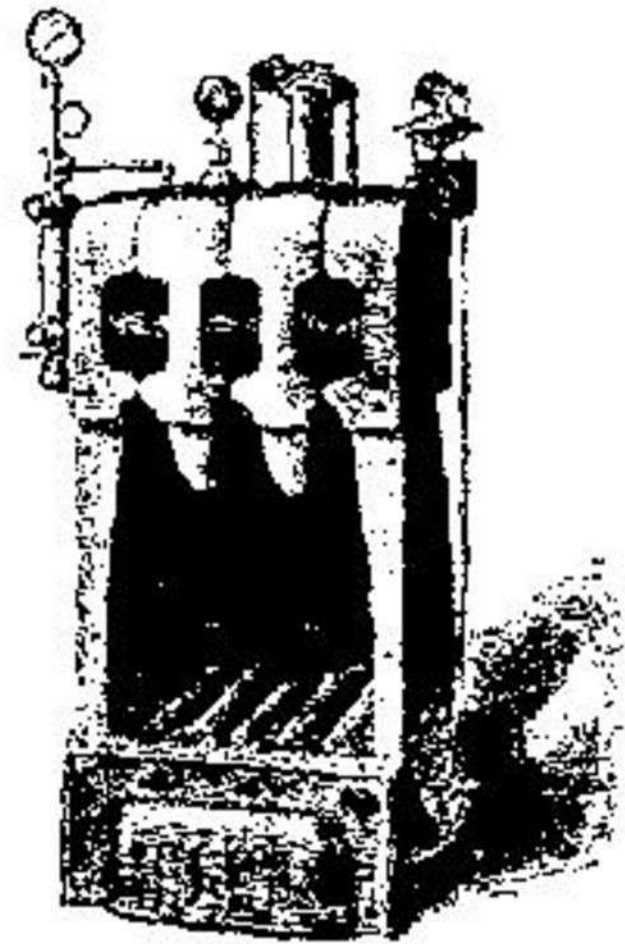
Въ послѣднее время вошли въ большое употребленіе для отопленія составные котлы изъ отдѣльныхъ чугунныхъ элементовъ. Эти котлы по удобству сборки и установки, малому мѣсту, занимаемому ими, отсутствію обмуровки, а также достаточно высокому коэффициенту полезнаго дѣйствія заслуживаютъ полнаго вниманія.



На фиг. (91) показанъ общій видъ такого котла для полученія пара, при чемъ паръ собирается въ верхнемъ цилиндрѣ, а въ нижней части вода доходитъ почти до начала соединительныхъ выщелей. Какъ показываетъ опытъ, котлы эти требуютъ цѣлесообразной конструкціи для циркуляціи воды и хорошаго отдѣленія пара; такъ, напр., въ практикѣ были случаи, что въ паровыхъ котлахъ, имѣвшихъ только одну соединительную



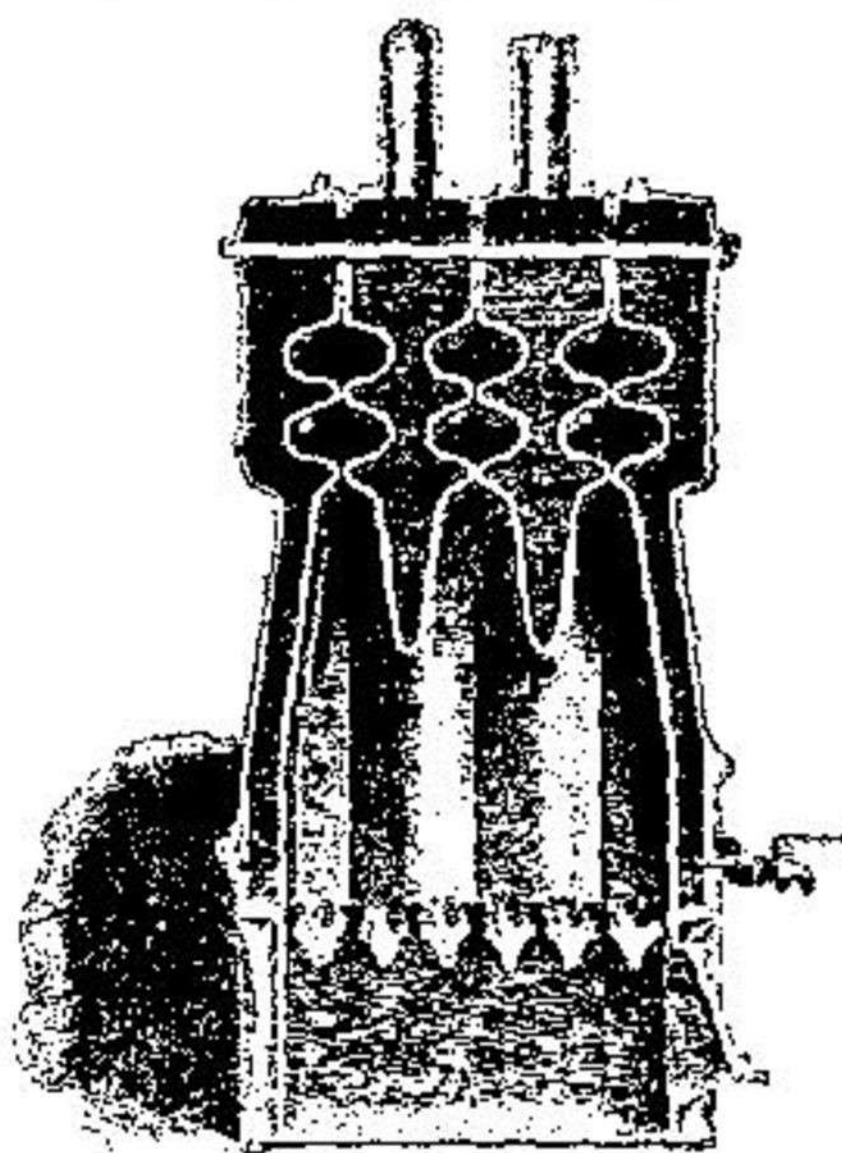
Фиг. 91.



Фиг. 92.

трубу между нижней частью и верхнимъ цилиндромъ элементы, удаленные отъ трубы, быстро прогорали.

Фиг. (92) показываетъ небольшой котель въ 4 элемента съ отнятой передней стѣнкой. Здѣсь ясно видны дымоходы и топливникъ съ колосниками; сзади видна широкая дымовая труба. Фиг. (93) показываетъ сѣче-



Фиг. 93.

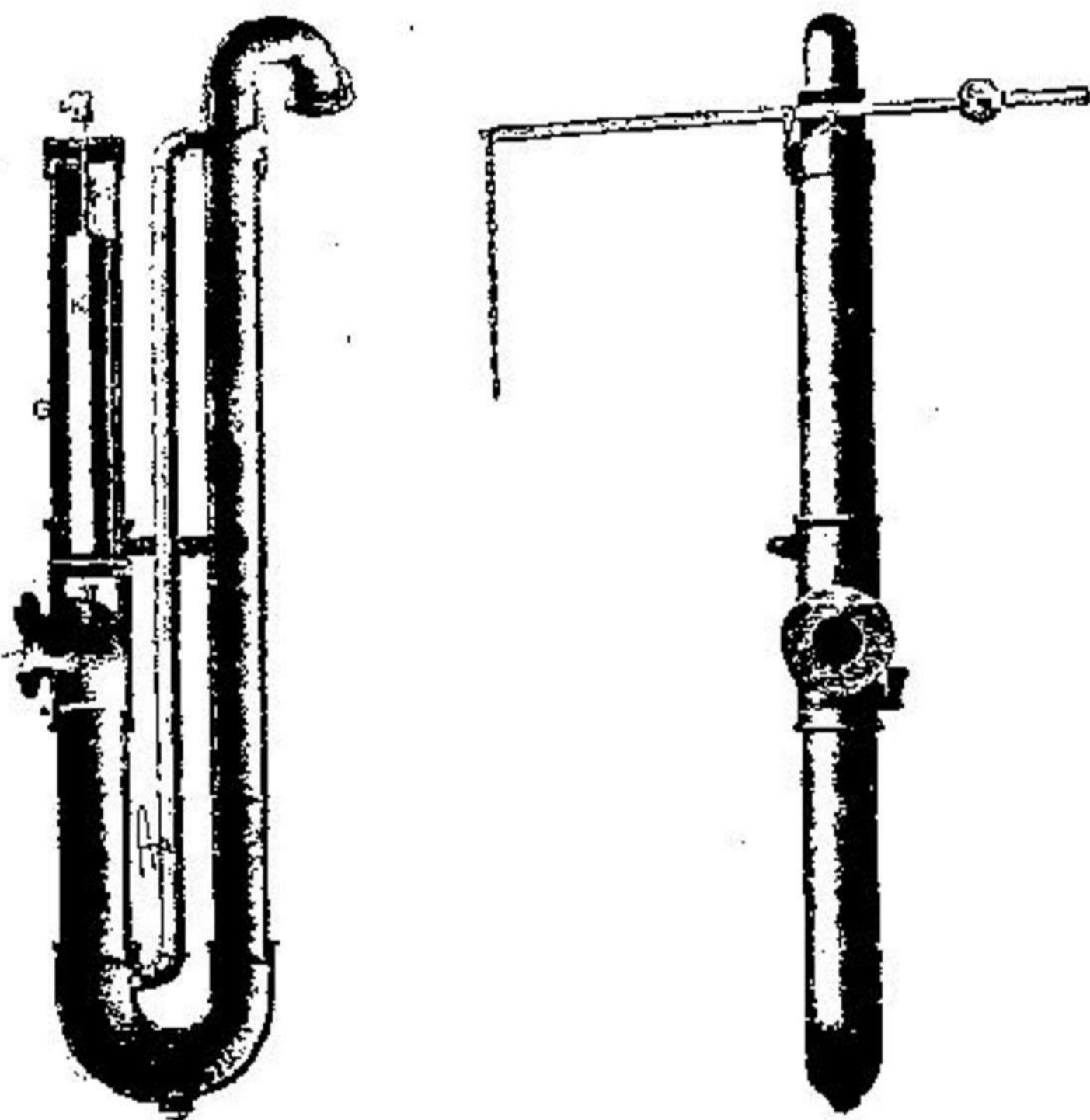
ніе по тѣмъ же самымъ элементамъ. Соединеніе элементовъ вверху въ данномъ случаѣ достигается прижиманіемъ обточенныхъ фланцевъ другъ къ другу съ прокладками посредствомъ общаго длиннаго болта; въ настоящее время употребляются еще кромѣ того и коническія втулки, которыя при стягиваніи элементовъ болтомъ даютъ болѣе плотное соединеніе, чѣмъ простыя прокладки. Соединяются также элементы еще и выщелями съ парвзкой въ обѣ стороны, какъ было указано для радиаторовъ.

Въ настоящее время почти при всякомъ котлѣ для парового отопленія необ-

ходимую принадлежность составляет регулятор тяги. Мы уже имѣли случай останавливаться на этихъ приборахъ при водяномъ отопленіи и тамъ было указано, что паровой котель для конструкціи и правильной работы ихъ представляетъ много больше удобствъ, чѣмъ водяной.

Всѣ конструкціи этого рода имѣютъ цѣлью прикрыть поддувальную дверцу, а нѣкоторыя и задвижку въ дымовой трубѣ, при увеличеніи давления въ котлѣ свыше установленной нормы и по идеѣ устройства ихъ можно раздѣлить на три категоріи. Къ первой относятся приборы, основанные на принципѣ поплавка, ко второй—на принципѣ гибкой мембраны и, наконецъ, къ третьей—приборы, гдѣ отверстіе для воздуха закрывается прямо вытѣсняемой водой.

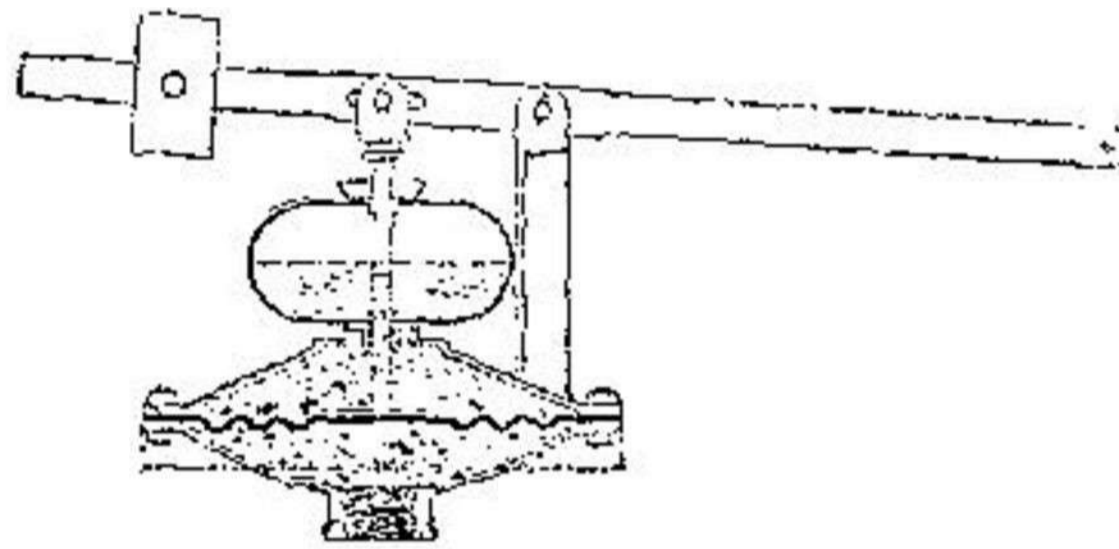
На фиг. (94) показана одна изъ многочисленныхъ конструкцій первой категоріи. Здѣсь регуляторъ тяги соединенъ съ упомянутой уже выше трубой безопасности котла. При нормальномъ положеніи въ правомъ колѣнѣ



Фиг. 94.

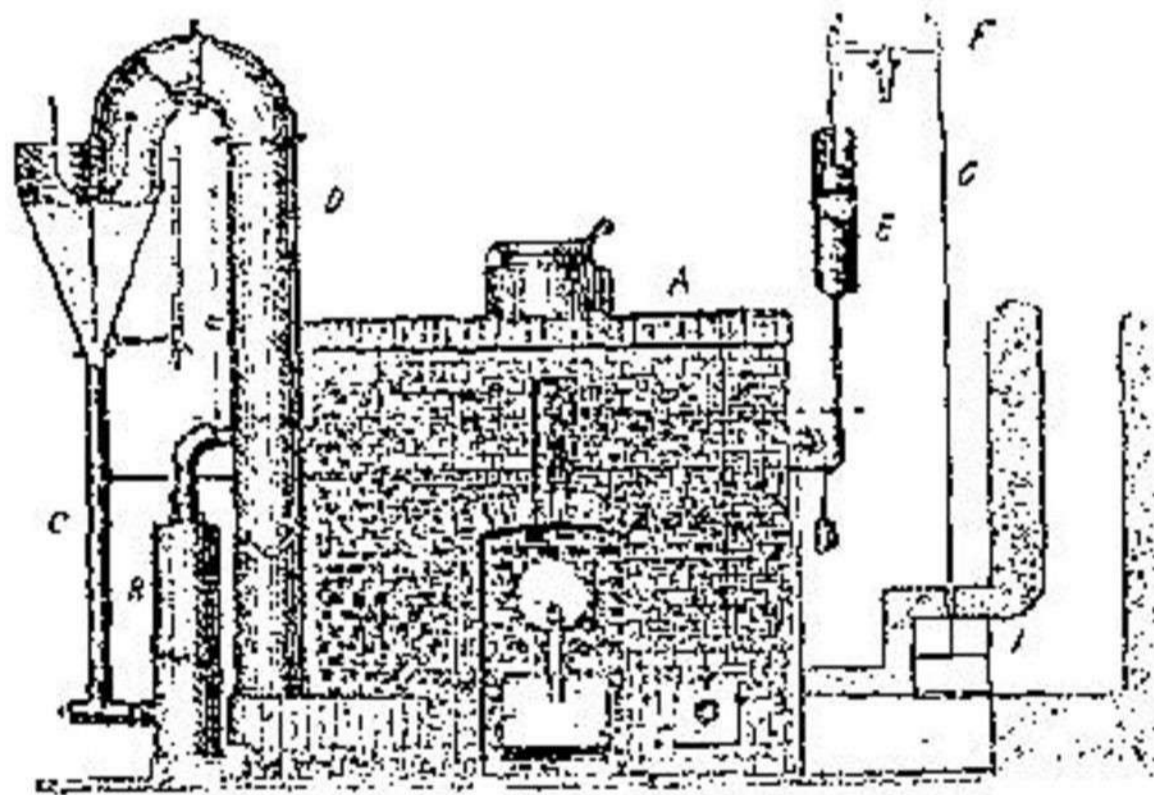
вода стоитъ выше, чѣмъ въ лѣвомъ, соединенномъ съ паровой трубой или, вообще, съ паровымъ пространствомъ котла; при повышеніи давления выше нормы вода въ правомъ колѣнѣ еще повысится и черезъ соединительную трубку будетъ занимать отдѣленіе *G*, поплавокъ въ которомъ поднимется и посредствомъ рычага и цѣпочки прикроетъ поддувальное отверстіе. При опусканіи въ лѣвомъ колѣнѣ воды ниже начала трубы *A*, паръ черезъ послѣднюю начнетъ выходить наружу, пока давление не дойдетъ до нормы и тогда вода опустится въ правомъ колѣнѣ, а съ ней и поплавокъ; поддувало же при этомъ откроется.

Фиг. (95) показываетъ устройство приборовъ второй категоріи. Между двумя конусообразными чашками закрѣпляется упругая мембрана стальная вознистая или прямо резиновая. При увеличеніи давленія въ котлѣ вода, заполняющая нижнюю часть прибора, выпираетъ мембрану кверху и тѣмъ производитъ то-же дѣйствіе, что въ предыдущемъ случаѣ поплавковъ. Вода, заполняющая верхнюю часть прибора, исполняетъ роль катаракта, и при резиновой мембранѣ предохраняетъ послѣднюю отъ высыханія и порчи.



Фиг. 95.

Фиг. (96) даетъ конструкцію регуляторовъ тяги третьей категоріи. Этотъ приборъ также, какъ и первый соединенъ съ трубой безопасности. Верхняя часть промежуточнаго сосуда *B* соединена съ паровымъ пространствомъ, а къ нижней присоединена труба безопасности *c*, имѣющая вверху коническое расширеніе. Въ верхнюю часть этого расширенія загнута широкая воздушная труба, по которой воздухъ поступаетъ въ поддувало; всякое другое отверстіе въ поддувало плотно закрыто. Такимъ образомъ,



Фиг. 96.

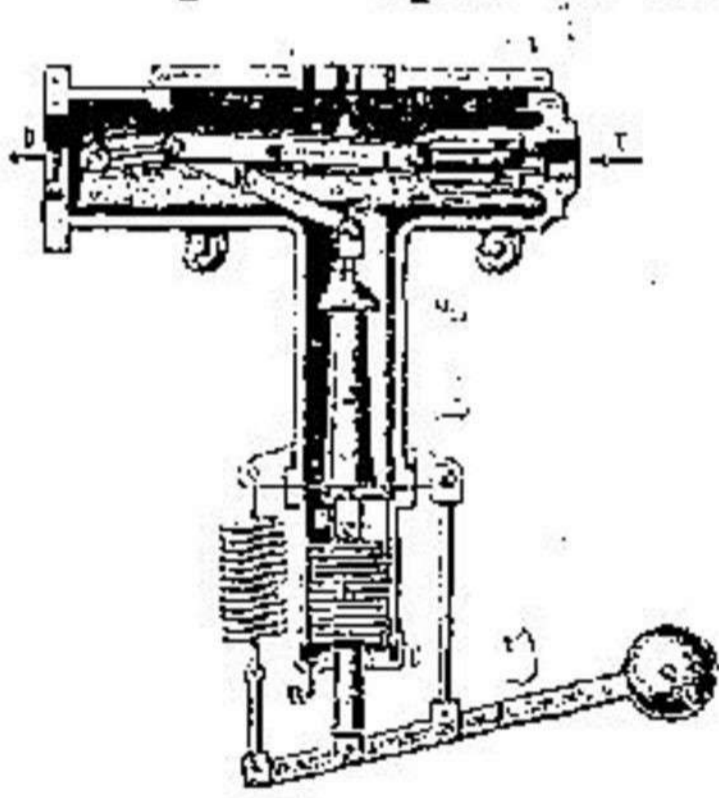
воздухъ входитъ въ трубу черезъ щель между водой и концомъ загиба трубы; при повышеніи давленія вся эта щель можетъ быть закрыта водой. Кроме того, справа котла находится еще приборъ съ поплавкомъ *E* для регулированія задвижки въ дымовой трубѣ. Послѣдній приборъ соединенъ съ первымъ трубкой и дѣйствуетъ одновременно съ нимъ. На этой фигурѣ можно видѣть верхнюю часть шахты *A* для загрузки топлива. Складъ

топлива въ такихъ случаяхъ помѣщается на уровнѣ верхней плоскости обмуровки котла.

Изъ всѣхъ только что описанныхъ приборовъ наибольшую простотой и надежностью обладаетъ послѣдняя категорія, а затѣмъ первая. Что касается мембранъ, то онѣ скоро портятся. Кромѣ того, наилучшей конструкціей надо считать такую, которая имѣетъ меньше всего рычаговъ, передаточныхъ частей и проч., чему лучше всего удовлетворяетъ опять такъ третья категорія.

*Регуляторы давленія.* Очень часто для обычнаго парового отопленія малого давленія приходится пользоваться паромъ изъ парового котла высокаго давленія. Въ такомъ случаѣ приходится давленіе пара понижать до требуемой системой отопленія нормы. Для послѣдней дѣли служатъ такъ называемые *редукціонные вентили* или, какъ мы ихъ назвали, регуляторы давленія. Этихъ приборовъ существуетъ въ настоящее время множество типовъ и привести ихъ всѣ здѣсь нѣтъ никакой возможности, поэтому мы остановимся на одномъ приборѣ, какъ на примѣрѣ для выясненія способа дѣйствія ихъ, а кромѣ того настоящая конструкція (фиг. 97) является наиболѣе удобной для примѣненія при отопленіи, такъ какъ позволяетъ понижать давленіе до очень низкой нормы.

Паръ высокаго давленія поступаетъ въ приборъ со стороны *C* черезъ отверстіе, прикрываемое больше или меньше клапаномъ *V*, расширяется въ широкой сравнительно трубѣ *A* и понижаетъ свое давленіе. Положеніе клапана *V* регулируется грузомъ *Q* при посредствѣ рычага *J*, поршня *K*, тяги *S* и колѣнчатого рычага *H*. Равновѣсіе для всей системы достигается съ одной стороны грузомъ *Q*, а съ другой давленіемъ редуцированнаго пара на поршень *K*; при повышеніи давленія внутри трубы *A* противъ установленной положеніемъ груза *Q* нормы поршень *K* будетъ опускаться книзу и клапанъ *V*, перемѣщаясь вправо, прикроетъ небольшое отверстіе для притока пара, пока давленіе не понизится до нормы. При пониженіи же давленія поршень *K* подъ вліяніемъ пружины и груза *Q* поднимается, клапанъ *V* передвинется влѣво и увеличитъ притокъ пара. Мѣняя положеніе груза *Q* на рычагѣ *J*, можно установить любую норму пониженнаго давленія. Въ верхней крышкѣ прибора имѣются отверстія для прикрѣпленія манометра.



Фиг. 97.



Для предварительныхъ грубыхъ подсчетовъ можно принимать слѣдующія цифры количества выделяемаго тепла приборами:

Радіаторы . . 700 cal.

Ребр. батареи 450 „

Гладкія трубы 800 „

При внутренней температурѣ въ 20°.

Теперь намъ слѣдуетъ остановиться на выборѣ мѣста для установки нагрѣвательныхъ приборовъ. Въ настоящее время принято эти приборы ставить въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ происходитъ наибольшая потеря тепла, а такъ какъ таковыми являются главнымъ образомъ окна, то обыкновенно приборы и ставятся въ специально оставленныхъ нишахъ подъ окнами. Въ отдѣлѣ о водяномъ отопленіи уже указывалось, что при такомъ условіи появляются два тока воздуха—теплый отъ прибора и холодный отъ окна. Нѣкоторыми приспособленіями, какъ указывалось выше, можно это явленіе уничтожить, хотя это очень сложно и почти никогда не примѣняется. Но кромѣ указаннаго неудобства расположеніе приборовъ подъ окнами обуславливаетъ большую потерю тепла безъ всякой пользы.

Въ самомъ дѣлѣ, вслѣдствіе расположенія приборовъ у наружныхъ стѣнъ приходится по этимъ же стѣнамъ обыкновенно въ каналахъ вести и трубы, причемъ стѣпки каналовъ и подокопныхъ вѣшъ нагрѣваются очень высоко почти до 40°, а такъ какъ при этомъ еще и толщина стѣпъ въ этихъ мѣстахъ по необходимости уменьшается, то количество яроводемаго наружу тепла всѣми этими мѣстами очень возрастаетъ сравнительно съ обычными условіями. Поднимающіеся горячіе токи воздуха передъ окнами также сильно охлаждаются послѣдними, такъ какъ коэф. проводимости окна довольно большой.

Насколько велика потеря тепла при обычномъ способѣ устройства отопленія, можно видѣть изъ интереснаго опыта по отопленію желѣзнодорожныхъ мастерскихъ въ г. Вологдѣ \*). Въ названныхъ мастерскихъ въ различныхъ зданіяхъ одного типа устроено отопленіе 2-хъ системъ: обыкновенное паровое и паровоздушное сист. Стюртевента и, несмотря на то, что при послѣднемъ отопленіи приходится затрачивать большое количество тепла на нагрѣваніе вводимаго свѣжаго воздуха, все таки количество топлива на единицу объема за одно и то же время во второмъ случаѣ требовалось въ половину меньше, чѣмъ въ первомъ. Такую большую разницу можно объяснить кромѣ способа устройства отопленія отчасти еще и вліяніемъ верхнихъ свѣтовыхъ фонарей, такъ какъ обычное паровое отопленіе даетъ высокую температуру вверху, а слѣдоват., и большую потерю; при

---

\*) Вѣстникъ Общ. Технологовъ XII. 1908.

вдуваніи же воздуха съ большой скоростью температура въ помѣщеніи всегда уравнивается и потеря вверху меньше, но во всякомъ случаѣ объ эти причины дали большую разницу въ количествѣ расходимаго топлива и поэтому установку нагрѣват. приборовъ у наружныхъ стѣнъ и особенно подь окнами надо во всякомъ случаѣ признать нераціональной въ смыслѣ расхода топлива. Но и въ смыслѣ удобства и гигиены установка подь окнами не представляетъ большихъ преимуществъ передь установкой по внутреннимъ стѣнамъ.

Какъ мы видѣли въ 1-й части, разница температуръ у окна и по срединѣ комнаты при хорошей изолировкѣ оконъ, всего  $1^0—1\frac{1}{2}^0$ , представляетъ мало замѣтную величину, а кромѣ того, вѣдь, не подь каждымъ окномъ можно устанавливать приборы, а только подь нѣкоторыми и поэтому полной равномерности т-ръ все равно достигнуть нельзя. Такимъ образомъ, всѣ преимущества на сторонѣ установки приборовъ по внутреннимъ стѣнамъ, тѣмъ болѣе, что при послѣднемъ способѣ проводка оказывается короче и, слѣдов., также дешевле.

Насколько меньше можно брать количество расходимаго тепла при расчетѣ въ случаѣ установки приборовъ по внутреннимъ стѣнамъ, указывалось уже выше.

## § 65. Расчетъ системы парового отопленія.

При паровомъ отопленіи по окончаніи точки парового котла сейчасъ же прекращается и выдѣленіе тепла нагрѣвательными приборами, такъ какъ, вообще, масса пара, находящагося во всей системѣ ничтожна и потому это отопленіе относится къ числу системъ съ малой теплоемкостью. Но все таки и паровое отопленіе работаетъ всегда почти съ перерывами на болѣе или менѣе продолжительное время и поэтому при расчетѣ поверхности нагрѣва котла необходимо сдѣлать всѣ тѣ поправки, какія были указаны выше при водяномъ отопленіи.

Если мы обозначимъ черезъ  $W_1$ —все то количество тепла которое должны выдѣлить нагрѣвательные приборы отъ начала точки до установившагося состоянія, т. е. въ теченіе  $z$  часовъ, то

$$W_1 = (W + Z)z,$$

гдѣ  $W$ —часовой расходъ тепла помѣщеніемъ, а  $Z$  имѣетъ указанное на стр. 36 значеніе.

Поверхность нагрѣва котла должна быть такова, чтобы послѣдній могъ выдѣлить въ  $z$  часовъ дѣйствительно необходимое количества тепла; въ такомъ случаѣ

$$F = \frac{1,1 \{ W_1 + 0,12 B (t_1 - \vartheta) \}}{W_2^2}$$

гдѣ  $B$ ,  $t_1$ ,  $\vartheta$  и  $W_2$  имѣютъ тѣ же значенія, что и на стр. 36.

Что касается величины  $W_2$ , а также раздѣленія полученной поверхности на нѣсколько отдѣльныхъ котловъ, то все сказанное выше по поводу водяного отопленія вполне применимо и здѣсь.

*Расчетъ трубопровода.* При расчетѣ трубопровода водяного отопленія на всей длинѣ участка одного сѣченія и проводящаго одно и то-же количество воды, скорость остается постоянной и поэтому тамъ можно было исходить изъ основнаго уравненія въ конечной формѣ. Въ данномъ случаѣ обстоятельства совершенно мѣняются. Вслѣдствіе охлажденія трубъ на пути часть пара конденсируется, также плотность пара измѣняется съ измѣненіемъ давленія, которое измѣняется непрерывно вслѣдствіе сопротивленій и поэтому здѣсь мы должны исходить уже изъ у-ія въ дифференціальной формѣ.

Если мы возьмемъ трубу съ внѣшнимъ діам.  $D$  и длины  $x$ , то количество пара, конденсирующееся на этой длинѣ вслѣдствіе охлажденія трубы, выразится въ  $kg$ . такъ:

$$\frac{D\pi (t_m - t_2) Kx}{\lambda_m},$$

гдѣ  $t_m$  — т-ра пара,  $t_2$  — т-ра воздуха, омывающаго трубу,  $K$  — коэф. теплопередачи и  $\lambda_m$  — скрытая теплота испаренія.

Если мы должны въ концѣ участка получить  $Q$   $kg$ . пара, то скорость пара  $v$  должна быть такая:

$$v = \frac{Q + \frac{D\pi (t_m - t_2) Kx}{\lambda_m}}{3600 \cdot \gamma \cdot \frac{\pi d^2}{4}},$$

гдѣ  $\gamma$  — плотность пара и  $d$  — внутр. діаметр. трубы.

Общее дифференціальное уравненіе измѣненія давленія по длинѣ такое:

$$dp = \frac{v^2}{2g} \gamma \cdot \frac{\rho dx}{d},$$

гдѣ  $p$  давленіе пара на разстояніи  $x$  отъ начала участка трубы и  $\rho$  — коэф. тренія.

Подставляя сюда выраженіе для  $v$  изъ предыдущаго, будемъ имѣть:

$$dp \cdot \gamma = \frac{A}{d^5} \left( Q + D B x \right)^2 \cdot dx,$$



гдѣ:

$$A = \frac{4^2 \rho}{2g \cdot 3600 \cdot \pi^2} \quad \text{и} \quad B = \frac{\pi K (t_m - t_s)}{\lambda_m}.$$

Такъ какъ здѣсь давленіе измѣняется очень мало, то для упрощенія  $\gamma$  можно считать постояннымъ, давши ему нѣкоторое среднее значеніе. Въ такомъ случаѣ, интегрируя въ предѣлахъ  $x$  отъ 0 до  $l$ , когда  $p$  измѣняется отъ  $p_1$  до  $p_2$ , получимъ:

$$p_2 - p_1 = \frac{Al}{3d^5 \gamma} \{3Q^2 + BDI(3Q + BDI)\}.$$

Обозначимъ  $BDI$  черезъ  $Q'$  и кромѣ того по опытамъ г. Ритцеля

$$\frac{l}{2g} = 0,0015.$$

Подставляя это въ предыдущее выраженіе и вставляя значеніе  $A$ , получаемъ:

$$p_2 - p_1 = \frac{0,626l}{(100d)^5 \cdot \gamma} \{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\}$$

Величина  $Q'$  мала сравнительно съ  $Q$ , а особенно сравнительно съ  $3Q$  и поэтому мы можемъ написать:

$$p_2 - p_1 = \frac{1,878l}{(100d)^5 \cdot \gamma} Q(Q + Q')$$

Но  $Q = \frac{W}{\lambda}$  и  $Q' = \frac{W'}{\lambda}$

Взявши для  $\gamma$  среднее значеніе въ предѣлахъ 1 — 1,2 атмосф., а также и для  $\lambda$ , можно написать такъ:

$$p_2 - p_1 = \frac{lW(W + W')}{(1000d)^5}$$

Въ последнемъ выраженіи мы имѣемъ потерю давленія на треніе и конденсацію, но сюда еще не входятъ отдѣльные, единичныя сопротивленія. Если мы эти сопротивленія обозначимъ черезъ  $p_2''$ , то, какъ извѣстно,

$$p_2'' = \frac{v^2}{2g} \gamma \cdot \Sigma \xi$$

Вставляя сюда также значеніе  $v$  и сдѣлавши опять все необходимыя передѣлки, будемъ имѣть:

$$p_2'' = \frac{(W + W')^2 \Sigma \xi}{(2330d)^4}$$

Въ такомъ случаѣ полное сопротивленіе получится такое:

$$p_2 - p_1 = \frac{lW(W + W')}{(1000d)^5} + \frac{(W + W')^2 \Sigma \zeta}{(2330d)^4}$$

Опредѣлять точно потерю давленія приходится въ очень рѣдкихъ случаяхъ, обыкновенно же приходится рѣшать обратную задачу—опредѣлять діаметры трубъ по данной разности давленій и въ такомъ случаѣ значенія отдѣльных сопротивленій можно отбросить, такъ какъ, опредѣливши діаметръ трубы, всегда приходится его округлять до ближайшаго имѣющагося въ продажѣ діаметра и этого, оказывается, достаточно, чтобы обезпечить нѣкоторый запасъ для этихъ сопротивленій. Такимъ образомъ:

$$d = 0,001 \sqrt[5]{\frac{lW(W + W')}{p_2 - p_1}} \text{ метра.}$$

Провѣрять на отдѣльныя сопротивленія надо только въ томъ случаѣ, если ихъ почему-либо очень много.

Для опредѣленія  $W' = D \pi l K (t_m - t_s)$  выраженіе  $\pi K (t_m - t_s)$  можно считать равнымъ:

для изолированныхъ трубъ	1000
„ неизолированныхъ „	3000.

Всѣ неточности расчета, происходящія вслѣдствіе ограниченности числа отдѣльных  $\Sigma \zeta$  существующихъ въ продажѣ трубъ, могутъ быть исправлены дополнительной регулировкой посредствомъ специальныхъ вентиляхъ или крановъ, но при этомъ надо имѣть въ виду, что сильное суженіе отверстій ихъ влечетъ за собой большой шумъ отъ протекающаго пара, а поэтому расчетъ слѣдуетъ вести всегда возможно точнѣе, и вентилями дорегулировать только неизбежныя ошибки.

Паденіе давленія на 1-цу длины зависитъ какъ отъ принятаго давленія въ котлѣ, такъ и отъ длины трубопровода, но во всякомъ случаѣ переходить за 0,2 атм. сверхъ атмосферы въ котлѣ не слѣдуетъ. Что касается давленія передъ входомъ въ нагревательные приборы, то для этого 10 кг. на кв. м. можно считать достаточнымъ.

Для удобства и скорости предварительнаго расчета трубопровода г. Ритшелемъ составлены таблицы для давленій въ котлѣ въ 500 кг., 1000, 1500 и 2000 кг. на 1 кв. м. съ различной величиной паденія давленія на 1 пог. метръ \*).

\*) Въ концѣ этой книги помѣщены для примѣра таблицы г. Ритшеля для давленія въ котлѣ 500 кг. и 2000 кг.

Діаметры спускной сѣти могутъ быть опредѣлены по количеству воды, образующейся изъ пара. Такимъ образомъ, вопросъ сводится къ рѣшенію у-ія

$$h = \frac{v^2}{2g} \left( 1 + \frac{\rho l}{d} + \Sigma \zeta \right),$$

гдѣ  $h$ —паденіе трубы въ метрахъ на длину  $l$ .

Но на самомъ дѣлѣ въ практикѣ никогда такъ трубы эти не рассчитываются, а берутся на основаніи практически составленной таблицы и эти размѣры значительно больше, чѣмъ получающіеся изъ расчета. Последнее дѣлается для того, чтобы выходъ и входъ воздуха происходили бы скорѣе и правильнѣе.

### Т А Б Л И Ц А 22.

Діаметры трубъ спускной сѣти парового отопленія.

Діаметры трубы въ метрахъ $d$ .	Сухія трубы.		Мокрыя трубы.		
	Горизонт.	Вертик.	Горизонтальныя или вертикальныя.		
			$l \leq 50$ м.	$l > 50 < 100$ м.	$l > 100$ м.
Количество тепла соотвѣтств. образовавшейся изъ пара водѣ.					
0,014	4000	6000	28000	18000	8000
0,020	15000	22000	70000	45000	25000
0,025	28000	42000	125000	80000	40000
0,034	68000	100000	270000	175000	85000
0,039	104000	155000	375000	250000	115000
0,043	150000	225000	470000	320000	150000
0,049	215000	320000	650000	440000	215000
0,057	315000	470000	950000	620000	315000
0,064	425000	635000	1250000	850000	425000
0,070	500000	750000	1500000	1050000	500000
0,076	600000	900000	1850000	1250000	600000
0,082	750000	1120000	2250000	1500000	750000
0,088	900000	1350000	2650000	1800000	900000
0,094	1100000	1650000	3100000	2000000	1100000
0,100	1250000	1850000	3500000	2400000	1250000

Примѣчанія къ таблицѣ 22-ой.

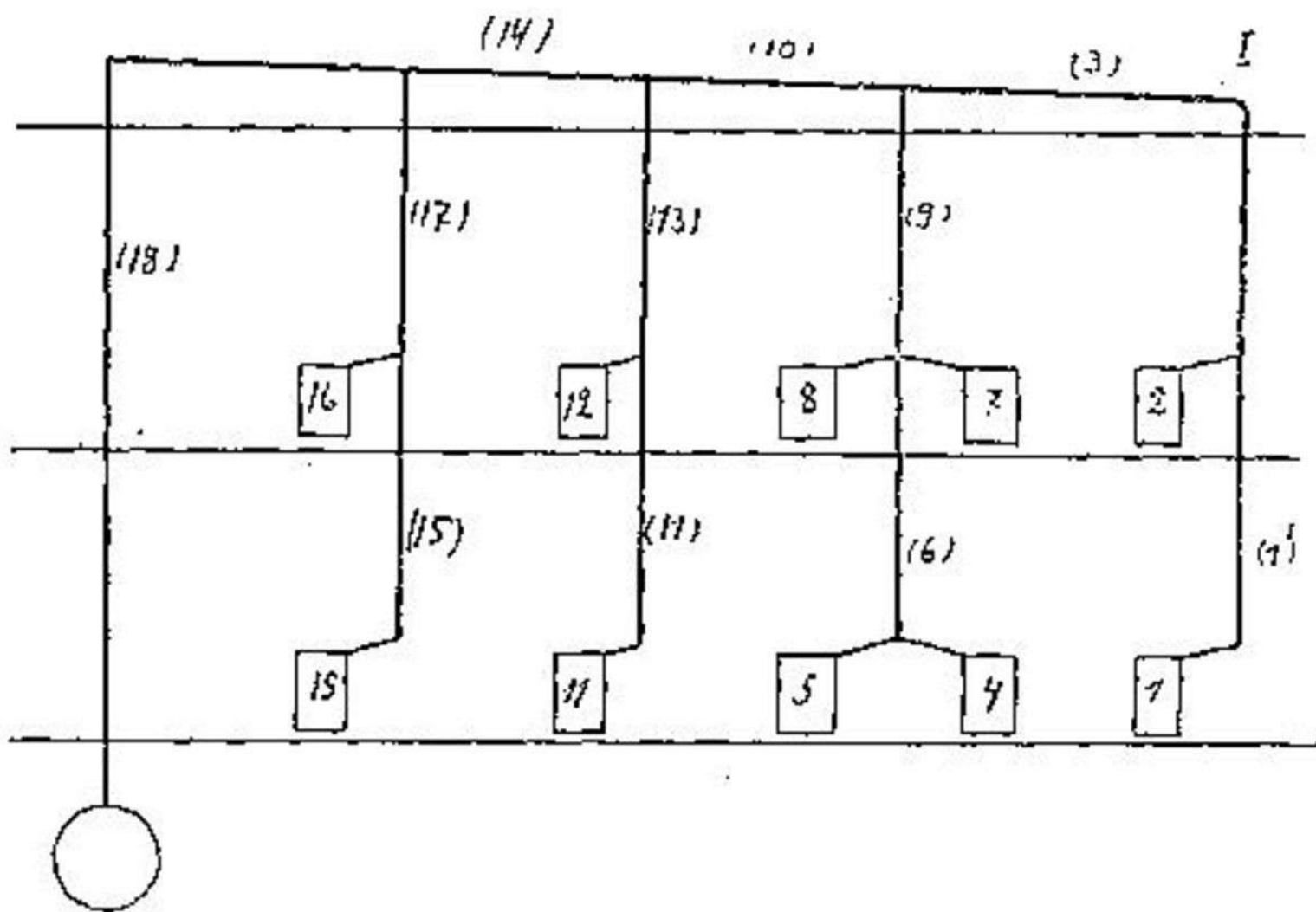
1) Диаметры менѣе 0,014 м. не берутся.

2) Необходимыя при мокрыхъ трубахъ воздушныя трубы берутся по строѣ  $l \leq 50$  м.

3) Сухими трубами называются такія, которыя уложены съ уклономъ въ одномъ направленіи такимъ образомъ, что вода течетъ самотекомъ и по окончаніи точки вся выходитъ изъ системы, мокрыми же называются такія трубы, въ которыхъ вода течетъ подъ нѣкоторымъ напоромъ, занимаетъ все сѣченіе трубы и по окончаніи точки остается въ системѣ. При послѣднихъ трубахъ надо обезпечить правильное обезвоздушеваніе установкой въ необходимыхъ мѣстахъ спеціальныхъ воздушныхъ трубъ, указанныхъ въ примѣч. 2-мъ.

### § 66. Численный примѣръ \*).

Предположимъ, намъ требуется разсчитать систему парового отопленія, схема котораго показана на фиг. (98). Длина отдѣльныхъ участковъ, а также количество тепла, доставляемое нагрѣвательными приборами обозначены въ таблицѣ 23-ей, представляющей рѣшеніе задачи по таблицѣ Ритшеля. Наиболее длинные участки: 1, 3, 10, 14 и 18 должны быть под-



Фиг. 98.

считаны точно. Пусть давленіе въ котлѣ 500 kg. надъ атмосфернымъ. Отдѣльныя сопротивленія въ участкахъ: 1-мъ  $\Sigma \zeta_1 = 2,5$ , 3-мъ  $\Sigma \zeta_3 = 2$ , 10-мъ  $\Sigma \zeta_{10} = 0$ , 14-мъ  $\Sigma \zeta_{14} = 0$  и 18-мъ  $\Sigma \zeta_{18} = 4,5$ . Трубы изолированы и нагрѣвательными приборами служатъ радіаторы. Давленіе передъ входомъ въ нагрѣв. прибор.—10 kg. на 1 кв. метръ.

\*) Rietschel, Leitfaden u. s. w. 391.

Давленіе на преодоленіе сопротивленій въ трубахъ остается въ 490 kg. Начнемъ съ самаго отдаленнаго прибора № 1 и возьмемъ для всей магистрала небольшое паденіе давленія въ 4 kg. на 1 метръ, за исключеніемъ участка 18-го, сопротивленіе котораго получится уже какъ разность.

**Т А Б Л И Ц А 23.**

Участ- ки.	Количество тепла.				Длина участковъ въ м.	Паденіе давл. на 1 метръ.		Давленіе.		Диаметры трубъ по таблицѣ г. Ритшеля.
	Для нагрѣв. прибо- ровъ.	Потери предъ- идущихъ участ- ковъ, считая отъ кон- ца (№ 1)	Сумма 2-хъ предъ- идущихъ колич- ествъ.	Поте- ря каж- даго участ- ка.		При- нятое.	Необ- ходи- мое.	Въ концѣ участ- ка.	Въ началѣ.	
1*	4000	—	4000	231	7	4	—	10	<sup>26</sup> <del>38</del>	0,025
2	4500	—	4500	52	2	—	14	10	38	20
3*	8500	283	8783	504	12	4	—	38	86	34
4	4000	—	4000	66	2	4	—	10	18	25
5	3500	—	3500	66	2	4	—	10	18	25
6	7500	132	7632	210	5	4	—	18	38	34
7	4200	—	4200	52	2	—	14	10	38	20
8	4500	—	4500	52	2	—	14	10	38	20
9	16.200	446	16.646	210	5	—	9,6	38	86	34
10*	24.700	1446	26.143	590	10	4	—	86	126	49
11	4000	—	4000	231	7	4	—	10	38	25
12	5200	—	5200	52	2	—	14	10	38	20
13	9200	283	9483	172	5,2	—	17	38	126	25
14*	33.900	2488	36.388	567	9	4	—	126	162	57
15	3.800	—	3800	231	7	4	—	10	38	25
16	4.600	—	4600	52	2	—	14	10	38	20
17	8.400	283	8683	264	8	—	15,5	38	162	25
18*	42.300	3602	45.902	1534	26	—	13	162	500	0,049

*Точный расчет.* Для расчета надо взять участок, наиболее удаленный от котла и от него идти к котлу от узла к узлу. В данном случае необходимо начать с участка 1-го, в котором

$$W_1 = 4000 \text{ cal.}$$

$$d_1 \text{ (прин. по табл.)} = 0,025 \text{ м.}$$

$$D_1 = 0,033 \text{ м.}$$

$$l_1 = 7 \text{ м. и } \Sigma \zeta = 2,5.$$

$$W'_1 = 1000 \cdot 0,033 \cdot 7 = 231 \text{ ca.}$$

По уравнению (91 стр.)

$$\begin{aligned} p_2 - p_1 &= \frac{7 \cdot 4000(4000 + 231)}{(1000 \cdot 0,025)^5} + \frac{(4000 + 231)^2 \cdot 2,5}{(2330 \cdot 0,025)^4} = \\ &= 12,1 + 3,9 = 16,0 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Такъ какъ передъ входомъ въ нагрѣват. приборъ принято давленіе въ 10 kg., то давленіе въ началѣ 1-го участка будетъ 26 kg. Участокъ 3-й доставляетъ тепло для 1-го и 2-го нагрѣват. приборовъ. Участ. 2-ой при діам.  $d_2=0,020$ ,  $D_2=0,026$  и  $W'_2=1000 \cdot 0,026 \cdot 2=52 \text{ cal.}$

$$W_3 = 8500 + 231 + 52 = 8783 \text{ cal.}$$

$$d_3 \text{ (прин. по табл.)} = 0,034 \text{ м., } D_3 = 0,042$$

$$l_3 = 12 \text{ м., } \Sigma \zeta_3 = 3$$

$$W'_3 = 1000 \cdot 0,042 \cdot 12 = 504 \text{ cal.}$$

$$\begin{aligned} p_2 - p_1 &= \frac{12 \cdot 8783(8783 + 504)}{(1000 \cdot 0,034)^5} + \frac{(8783 + 504)^2 \cdot 3}{(2330 \cdot 0,034)^4} = 21,5 + 6,6 = \\ &= 28,1 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Слѣдов., въ началѣ 3-го уч. давленіе  $= 28,1 + 26 = 54,1 \text{ kg.}$  на 1 кв. м. вмѣсто принятыхъ по табл. 86 kg.

До уч. 10-го потеря тепла опредѣляется такимъ же образомъ, какъ и въ предыдущихъ и составляетъ въ суммѣ 1443 cal. Такимъ образомъ,

$$W_{10} = 26 \cdot 143 \text{ cal.}$$

$$d_{10} \text{ (принят.)} = 0,049, D_{10} = 0,059$$

$$l_{10} = 10 \text{ м., } \Sigma \zeta_{10} = 0.$$

$$W'_{10} = 1000 \cdot 0,059 \cdot 10 = 590 \text{ cal.}$$

$$p_2 - p_1 = \frac{10 \cdot 26 \cdot 143(26 \cdot 143 + 590)}{(1000 \cdot 0,049)^5} + 0 = 24,7 \text{ kg. на 1 кв. м.}$$

Давленіе въ началѣ 10-го участка  $54,1 + 24,7 = 78,8$  kg. До 14-го участка потеря тепла составляетъ 2488 cal. и поэтому

$$W_{14} = 33 \cdot 900 + 2488 = 36 \cdot 388 \text{ cal.}$$

$$d_{14} \text{ (принят.)} = 0,057 \text{ м., } D_{14} = 0,063 \text{ м.}$$

$$l_{14} = 9 \text{ м., } \Sigma \zeta_{14} = 0$$

$$W'_{14} = 1000 \cdot 0,063 \cdot 9 = 567 \text{ cal.}$$

$$p_2 - p_1 = \frac{9 \cdot 36 \cdot 388 (36 \cdot 388 + 567)}{(1000 \cdot 0,057)^5} + 0 = 20,0 \text{ kg.; } 78,8 + 20 = 98,8 \text{ kg.}$$

До уч. 18 потеря тепла составляетъ 3602 cal.

$$W_{18} = 42 \cdot 300 + 3602 = 45 \cdot 902 \text{ cal.}$$

$$d_{18} \text{ (принят. предв.)} = 0,049 \text{ м., } D_{18} = 0,059$$

$$l_{18} = 26 \text{ м., } \Sigma \zeta_{18} = 4,5$$

$$W'_{18} = 1000 \cdot 0,059 \cdot 26 = 1534 \text{ cal.}$$

Единичные сопротивленія даютъ:

$$p_2'' = \frac{(45 \cdot 902 + 1534)^2 \cdot 4,5}{(2330 \cdot 0,049)^4} = 59,5 \text{ kg.}$$

Такимъ образомъ для 18-го участка

$$p_2 - p_1 = 500 - 98,8 - 59,5 = 341,7$$

и

$$d_{18} = 0,001 \sqrt[5]{\frac{26 \cdot 45 \cdot 902 (45 \cdot 902 + 1534)}{341,7}} = 0,044 \text{ м.}$$

Принятый предварительно по таблицамъ діам. 0,049 необходимо оставить и послѣ точнаго расчета, такъ какъ ближайшій діам. 0,043 при повѣркѣ окажется малымъ.

Подобнымъ же образомъ могутъ быть провѣрены и другіе участки, такъ напр. во 2-мъ уч.

$$W_2 = 4500 \text{ cal.}$$

$$d_2 \text{ (принят.)} = 0,020 \text{ м., } D_2 = 0,026$$

$$l_2 = 2 \text{ м., } \Sigma \zeta_2 = 2,5$$

$$W'_2 = 1000 \cdot 0,026 \cdot 2 = 52 \text{ cal.}$$

Единичные сопротивления

$$p''_2 = \frac{(4500 + 52)^2 \cdot 2,5}{(2330 \cdot 0,020)^4} = 4,3 \text{ kg.}$$

$$p_2 - p_1 = 26 - 10 - 4,3 = 11,7 \text{ kg.}$$

$$d_2 = 0,001 \sqrt[5]{\frac{2 \cdot 4500(4500 + 52)}{11,7}} = 0,020 \text{ м.}$$

т. е. получилось совпадение съ предварительнымъ опредѣленіемъ по таблицѣ.

Можно было бы взять паденія давленій другія, такъ, напр., отъ котла меньше, а далѣе больше и тогда діаметры получились-бы другіе, но въ данномъ случаѣ длинная труба 26 м. получилась небольшого діаметра. При небольшихъ системахъ лучше брать паденіе давленія въ самой сѣти небольшое, а до сѣти больше и тогда возможныя неточности расчета меньше отражаются на распредѣленіи давленія въ разныхъ частяхъ системы.

## § 67. Паровое отовлевіе высокаго давленія.

Эта система, какъ указывалось выше, примѣняется главнымъ образомъ для отопленія фабричныхъ и заводскихъ помѣщеній; для остальныхъ зданій она примѣняется довольно рѣдко, но и то въ качествѣ промежуточной системы, для передачи тепла на значительное разстояніе, о чемъ уже было сказано въ § 60, или иногда для нагрѣванія воздуха при паровоздушномъ отопленіи большихъ зданій.

Способъ устройства трубопровода здѣсь тотъ же самый, что и въ предыдущемъ случаѣ, но для отвода конденсаціонной воды изъ него здѣсь уже не можетъ примѣняться система сифоновъ, а необходимо устанавливать конденсаціонные горшки той или другой конструкціи.

Давленіе въ нагрѣвательныхъ приборахъ этой системы берется все таки небольшое—не выше 1 атмосфер. (сверхъ атм.). При проведеніи пара на разстояніе въ началѣ трубопровода давленіе можетъ доходить до 6—8 атм., но въ концѣ давленіе должно быть небольшимъ. Въ такомъ случаѣ трубопроводъ получается малаго діаметра, слѣдов., недорогой. При этомъ вслѣдствіе большой скорости и тренія паръ получается уже перегрѣтымъ, но послѣднее обстоятельство несколько дѣлу не вредитъ.

Что касается расчета трубопровода, то здѣсь примѣнять выведенныя выше формулы нельзя, такъ какъ тамъ вслѣдствіе малого измѣненія давленія мы приняли его постояннымъ, въ данномъ же случаѣ давленіе мѣняется очень сильно, а вмѣстѣ съ нимъ и плотность пара, что необходимо принять во вниманіе.



Дифференціальное  $y$ -іе мы получили выше такое:

$$\gamma \cdot dp = \frac{A}{d^5} (Q + DBx)^2 dx$$

По Цейнеру  $\gamma = \alpha \cdot p \cdot \beta$ .

Но для упрощенія вывода дадимъ ему такое выраженіе, предложенное г. Ритшелемъ:

$$\gamma = a + bp,$$

гдѣ въ предѣлахъ 2—12 атм. абсол., если  $p$  выражено въ kg. на 1 кв. м.,

$$a = 0,1521$$

$$b = 0,000049769.$$

Наибольшее отклоненіе послѣдняго значенія  $\gamma$  отъ Цейнера получается при 2 атм. и составляетъ всего 1,5%, что можно считать небольшой ошибкой, имѣя въ виду цѣль настоящаго вывода. Такимъ образомъ:

$$(a + bp)dp = \frac{A}{d^5} (Q + DBx)^2 dx$$

Приведенное выше значеніе для  $\frac{p}{2g} = 0,0015$  въ данномъ случаѣ нѣсколько велико и по новѣйшему изслѣдованію Eberle должно быть всего—0,00105.

Интегрируя и подставляя всѣ значенія, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, получаемъ:

$$p_2' = \sqrt{\frac{176107}{(100d)^5} \{3Q^2 + Q'(3Q + Q')\} + (p_1 + 3060)^2 - 3060.}$$

Выбрасывая опять  $Q'$  при  $3Q$ , какъ и прежде, получаемъ

$$p_2' = \sqrt{\frac{52.830}{(100d)^5} \{Q(Q + Q')\} + (p_1 + 3060)^2 - 3060.}$$

Единичные отдѣльные сопротивленія сюда не входятъ и они опредѣляются изъ слѣдующаго

$$p_2'' = \frac{v^2}{2g} \gamma \cdot \xi \zeta.$$

Дѣлая тѣ же подстановки, что и раньше, имѣемъ

$$p_2'' = \frac{(Q + Q')^2}{(111,9d)^4 \cdot \gamma}$$

Замѣняя опять  $Q$  и  $Q'$  черезъ  $W$  и  $W'$ , будемъ имѣть:

$$p_2 = p_2' + p_2'' = \sqrt{\frac{0,195 l}{(100 d)^5} \{W(W + W')\} + (p_1 + 3060)^2} - 3060 + \frac{(W + W')^2 \Sigma \xi}{(2550 d)^4 \cdot \gamma}$$

Здѣсь  $W' = Q'$  соответствуетъ среднему давленію въ 5 атм. и его можно замѣнить выраженіемъ

$$m D l,$$

гдѣ для изолированныхъ трубъ  $m = 1100$

и „ неизолирован. „  $m = 5200$ .

Способъ расчета здѣсь тотъ же самый, что и въ предыдущемъ случаѣ, т. е. первоначально единичныя сопротивленія можно не принимать во вниманіе и опредѣлять діаметры по формулѣ

$$d = 0,0072 \sqrt[5]{\frac{l W (W + m D l)}{(p_2 - p_1)(p_2 + p_1 + 6120)}}$$

Такъ какъ въ правую часть входитъ  $D$ , зависящее отъ  $d$ , то рѣшать это уравненіе приходится нѣсколькими попытками и если  $d$  получается немного меньше взятой для  $D$  существующей въ продажѣ трубы, то и надо брать эту трубу.

Проверка на единичныя сопротивленія можетъ быть сдѣлана по приведенной выше формулѣ, когда уже выяснится значеніе  $\gamma$ , для предварительнаго же расчета округленіе получающихся діаметровъ до существующихъ въ продажѣ является достаточнымъ.

## § 68. Пароводяное отопленіе.

Подъ такимъ названіемъ въ настоящее время извѣстна такая система, когда въ обыкновенномъ водяномъ отопленіи вода нагревается не огнемъ, а паромъ.

Въ прежнее время существовало еще такое устройство, что въ разставленныхъ по отапливаемымъ помѣщеніямъ водяныя печи проводился паръ, который и нагревалъ воду. Нагреваніе воды производилось при

посредствомъ змѣвика, или непосредственнымъ впускомъ пара въ воду. При томъ и другомъ способѣ печи наполнялись водой до  $\frac{2}{3}$  высоты и въ послѣднемъ случаѣ для спуска прибавляющейся воды отъ пара устраивались на нѣкоторой высотѣ сливныя трубы. При впускѣ пара непосредственно въ воду, пока она не нагрѣется, все время происходитъ значительный шумъ.

Съ усовершенствованіемъ обыкновенныхъ водяного и парового отопленій послѣднія совершенно вытѣснили только что указанные способы пароводяного отопленія и въ настоящее время такую систему можно встрѣтить только, какъ нѣкоторую рѣдкость, такъ какъ она имѣетъ много недостатковъ, а именно сложность устройства, трудность ухода и регуляванія.

Въ настоящемъ своемъ видѣ пароводяное отопленіе примѣняется главнымъ образомъ въ большихъ зданіяхъ, гдѣ приходится устраивать нѣсколько отдѣльныхъ центровъ для водяного отопленія или, если необходимо пользоваться отработаннымъ парь и желательно устроить водяное отопленіе. Здѣсь мы будемъ имѣть въ виду пока первый случай, такъ какъ второй будетъ разсмотрѣнъ въ особой статьѣ.

Система эта заключается въ томъ, что огневую точку имѣетъ только паровой котель, паръ изъ котораго проводится для нагрѣванія воды въ водогрѣйныхъ котлахъ.

Обыкновенно внутри послѣднихъ устраивается рядъ трубъ, по которымъ движется паръ и передаетъ свое тепло водѣ.

Наиболѣе удачной формой такихъ нагрѣвателей являются длинные небольшого діаметра цилиндры съ нѣсколькими рядами мѣднокрасныхъ трубъ, причемъ паръ и вода движутся навстрѣчу другъ другу.

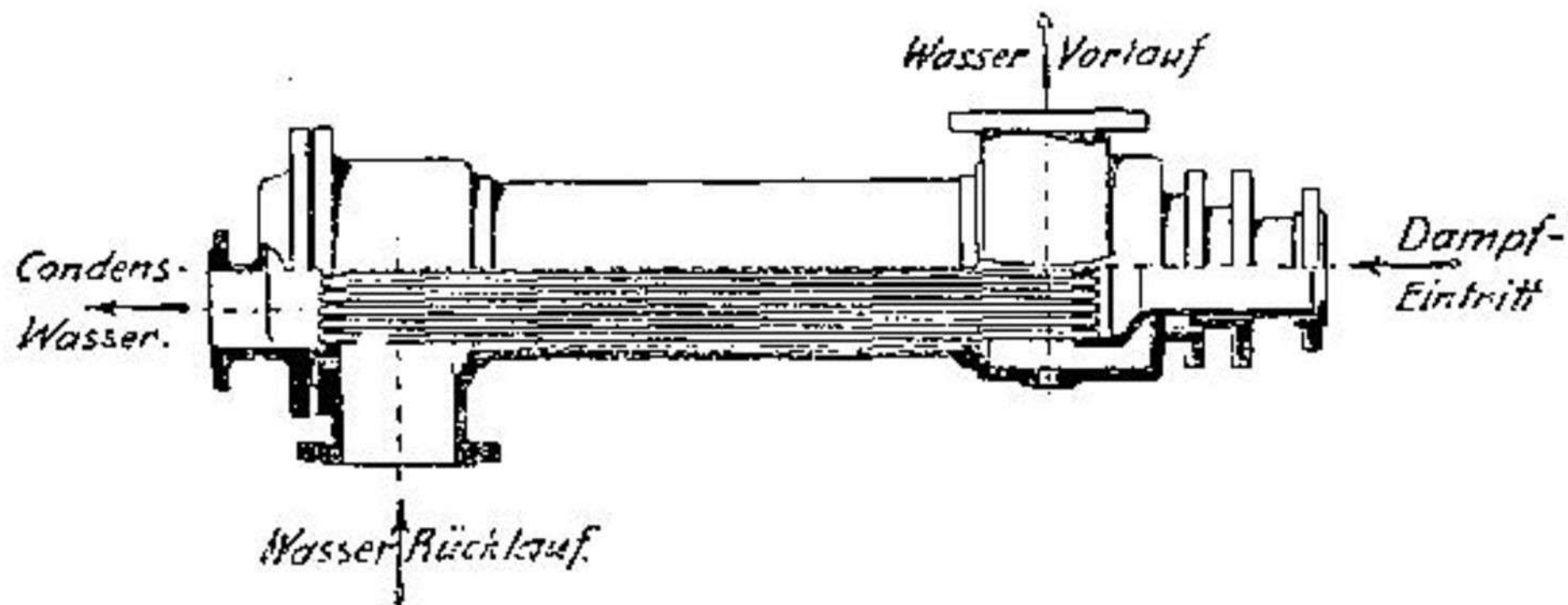
Для регуляванія температуры воды служатъ обыкновенные вентили, установленные на паровой трубѣ и на спускной для конденсаціонной воды, но вообще регуляваніе такимъ образомъ не допускаетъ большой точности и поэтому очень часто система паровыхъ трубъ раздѣляется на нѣсколько отдѣльныхъ самостоятельныхъ секцій. Для того чтобы не могло произойти перегрѣванія воды, на водогрѣйномъ котлѣ долженъ быть установленъ термометръ со впажкой на опредѣленной высотѣ волосной трубочки и въ шарикѣ платиновыхъ проволочекъ для замыканія тока сигнальнаго звонка.

На фиг. (99) показанъ для примѣра одинъ изъ нагрѣвателей для воды со встрѣчными токами: вода идетъ слѣва направо, а паръ наоборотъ.

Въ настоящее время съ развитіемъ водяного отопленія изъ отдаленнаго центра нѣтъ никакого рациональнаго основанія устраивать паровую установку спеціально только для отопленія, если при этомъ паръ не используется для другихъ еще цѣлей. Но, если часть зданія можетъ имѣть паровое отопленіе или необходимо подогрѣвать большое количество воздуха, то въ

такомъ случаѣ имѣется достаточно оснований для устройства пароводяного отопленія.

Разсчетъ пароводяного отопленія производится точно также, какъ и обыкновеннаго водяного за исключениемъ, конечно, нагревателя для воды. Въ послѣднемъ же необходимо разсчитать поверхность паровыхъ трубъ для передачи достаточнаго количества тепла, что зависитъ отъ т-рой



Фиг. 99.

разности пара и воды, а также и отъ скорости движенія воды. Коэф. теплопередачи въ этомъ случаѣ

$$K = 300 + 1800 \sqrt{v},$$

гдѣ  $v$ —скорость движенія воды у первыхъ трубъ. Въ небольшихъ приборахъ въ родѣ указаннаго на фиг. (99) скорость воды нетрудно опредѣлить, но въ большихъ котлахъ точно сдѣлать это почти невозможно и въ такомъ случаѣ въ практикѣ принимаютъ съ 1 кв. метра и на 1° т-рой разности 1000—1500 cal. тепла.

Примръ\*). Для нагреванія воды при пароводяномъ отопленіи требуется доставить 100·000 cal. Вода нагревается съ 70° до 90°. Давленіе пара въ паровомъ котлѣ 500 kg. на 1 кв. м. при разстояніи отъ водяного котла въ 50 м. Единичныя сопротивленія на пути  $\sum \zeta = 6$ .

Обыкновенно здѣсь при входѣ пара въ водяной котелъ для большей надежности въ передачѣ тепла держится значительное давленіе и поэтому паденіе давленія на пути возьмемъ небольшое въ 4 kg. на 1 м. Въ такомъ случаѣ потеря давленія въ трубопроводѣ составитъ 200 kg. и при входѣ въ водяной котелъ давленіе пара будетъ—300 kg. Опредѣляя діаметръ по таблицѣ, найдемъ  $d = 0,082$  м., а провѣряя по выведеннымъ выше формуламъ получимъ:

$$W' = 1000 \cdot 0,089 \cdot 50 = 4450 \text{ cal.}$$

\*) Ритшель стр. 399 (1909).

$$p_2 - p_1 = \frac{50 \cdot 100 \cdot 000 (100 \cdot 000 + 4450)}{(1000 \cdot 0,082)^5} + \frac{(100 \cdot 000 + 4450)^2 \cdot 6}{(2330 \cdot 0,082)^4} =$$

$$= 140,5 + 49,0 = 189,5 \text{ kg.}$$

Такимъ образомъ, при входѣ въ водяной котель давление будетъ 310,5 kg.

Принимая теперь коэффициентъ  $K = 1000$  cal. и т-ру пара въ  $100^\circ$ , а среднюю т-ру воды въ  $80^\circ$ , будемъ имѣть

$$D \cdot \pi \cdot l (100 - 80) 1000 = W,$$

гдѣ  $D$  наружный діам. и  $l$  длина паровой спирали. Взявши для послѣдней  $d = 0,034$  и, слѣдов.,  $D = 0,042$ , получаемъ для  $l$  приблизительно 38 метровъ длины. При  $d = 0,049$  и  $D = 0,059$   $l = 27$  метр.

Теперь мы должны провѣрить могутъ-ли полученные нами діаметры пропустить такое количество пара, чтобы онъ выдѣлалъ 100·000 cal. Раньше мы имѣли (стр. 90):

$$p_2 - p_1 = \frac{0,626 l}{(100 d)^5 \gamma} \{3 Q^2 + Q'(3Q + Q')\}$$

Такъ какъ у насъ весь паръ на пути спирали долженъ конденсироваться, то  $Q = 0$  и  $Q' = Q_H$  — количеству пара, соответствующему теплу доставляемому нагрѣват. спиралью, т. е. въ данномъ случаѣ 100·000 cal. Такимъ образомъ,

$$p_2 - p_1 = \frac{0,626 \cdot l \cdot Q_H^2}{(100d)^5 \gamma}$$

Но  $Q_H = \frac{W_H}{\lambda_m}$ ,  $\lambda_m = 534,6$  cal. и  $\gamma = 0,6628$ , то

$$p_2 - p_1 = \frac{0,33047 \cdot l \cdot W_H^2}{d^5}$$

здѣсь  $d$  выражено въ миллиметрахъ.

Если мы и  $D$  выразимъ въ миллм., то у насъ

$$D \cdot \pi \cdot l \cdot 20 = 100 \cdot 000 = W,$$

откуда

$$p_2 - p_1 = \frac{0,33047 \cdot W^2}{d^5 D \cdot \pi \cdot 20}$$

или

$$W = \sqrt[3]{190d^5 \cdot D \cdot (p_2 - p_1)}.$$

У насъ  $p_2 - p_1 = 310,5$  kg., такъ какъ въ концѣ спирали намъ давленіе уже не требуется. Въ такомъ случаѣ:

$d = 0,025$	0,034	0,039	0,049	0,065
$D = 0,033$	0,042	0,048	0,059	0,076
$W = 26 \cdot 895$	48 \cdot 286	63 \cdot 454	99 \cdot 437	173 \cdot 280

Такимъ образомъ, если-бы мы взяли 38 метр. трубы въ 0,025 м. діам., то мы могли-бы передать только  $\frac{1}{4}$  того количества тепла, которое необходимо. Наименьшій діаметръ долженъ быть 0,049 м., но и его одного нѣсколько мало, а на цѣломъ протяженіи долженъ быть діаметръ въ 0,065, но весь такой сдѣлать—было бы уже много.

Можно также взять 2 спирали въ 0,025 и одну въ 0,034. Одну въ 0,034 и одну въ 0,039 и т. д.

При устройствѣ водонагрѣвательнаго прибора по типу фиг. (99) можно задаться или длиною прибора или числомъ трубъ и опредѣлить количество тепла, приходящееся на каждую трубу.

## § 69. Отопленіе отработаннымъ паромъ.

Какъ извѣстно, паровая машина можетъ использовать, сравнительно, только небольшую часть всего тепла, заключающагося въ парѣ. Такъ, напр., наиболѣе усовершенствованныя паровыя установки въ настоящее время довели коэф. использованія тепла до  $\frac{25}{100}$ , остальные же  $\frac{75}{100}$  составляютъ неизбѣжную потерю и поэтому является очень выгоднымъ использовать это тепло для другихъ цѣлей. Съ развитіемъ въ настоящее время большихъ паровыхъ установокъ для полученія электрической энергіи и проч. получилось громадное количество отработаннаго пара, который теперь стали примѣнять для цѣлей отопленія, какъ отдѣльныхъ зданій, такъ и цѣлыхъ городскихъ кварталовъ.

Съ другой стороны, паръ, идущій для отопленія большихъ зданій или цѣлыхъ комплексовъ, возможно предварительно пропустить черезъ паровую машину и такимъ образомъ дешево получить энергію для освѣщенія или другихъ цѣлей.

Примѣненіе отработаннаго пара для отопленія, начавшееся въ Америкѣ и затѣмъ быстро распространившееся повсюду, въ настоящее время производится тремя способами: 1) паръ изъ машины непосредственно поступаетъ въ нагрѣвательную сѣть, въ которой давленіе выше атмосфернаго, 2) изъ машины паръ поступаетъ въ сѣть, въ которой поддерживается воздушнымъ насосомъ холодильника вакуумъ на опредѣленной высотѣ и, наконецъ, 3) паръ отдаетъ свое тепло водѣ, которая уже и идетъ для отопленія. Тамъ, гдѣ требуется паръ большаго давленія, чѣмъ выходящій изъ машины, берутъ паръ изъ рессивера. Очень часто количество отработаннаго пара не соотвѣтствуетъ потребности отопленія—больше или меньше его. Въ первомъ случаѣ лишній паръ выпускается наружу, а во второмъ—въ нагрѣвательную сѣть добавляется редуцированный до того же давленія свѣжий паръ.

Часто также наибольшая потребность въ отопленіи не совпадаетъ съ потребностью въ энергіи; такъ, напр., обыкновенно въ школахъ и нѣкоторыхъ другихъ зданіяхъ наибольшая потребность въ отопленіи имѣетъ мѣсто днемъ, а потребность въ освѣщеніи вечеромъ. Въ такихъ случаяхъ является уже для лучшаго использованія отработавшаго пара необходимость въ тепловыхъ или электрическихъ аккумуляторахъ, которые давали бы возможность неиспользованное тепло вечеромъ сохранить и использовать его на другой день.

Имѣть тепловые аккумуляторы при первыхъ двухъ способахъ примѣненія отработаннаго пара является затруднительнымъ [и только 3-й способъ даетъ эту возможность въ видѣ большихъ баковъ для горячей воды, между тѣмъ первый способъ болѣе простой по своему устройству и поэтому болѣе распространенный требуетъ въ такомъ случаѣ дорогихъ скоропортящихся электрическихъ аккумуляторовъ. Такимъ образомъ въ каждомъ частичномъ случаѣ необходимо рѣшить, какой изъ 3-хъ способовъ будетъ наивыгоднѣйшимъ. Первый способъ можно считать безусловно выгоднымъ въ томъ случаѣ, если работа машинъ невелика сравнительно съ потребностью въ отопленіи и отработанный паръ можетъ быть использованъ и не при максимумѣ потребности въ отопленіи и если въ лѣтнее время работа машинъ также уменьшается, какъ, напр., при освѣщеніи.

При рѣшеніи вопроса о выгодности использованія отработаннаго пара надо принять во вниманіе не только сбереженіе въ топливѣ, а и другія обстоятельства особенно при новой установкѣ.

При отдѣльномъ потребленіи пара въ машинахъ освѣщенія и въ отопленіи, такъ какъ наибольшая потребность какъ въ свѣтѣ, такъ и въ теплѣ получается почти въ одни и тѣ же мѣсяцы, то паровые котлы необходимо установить въ количествѣ, еоотвѣтствующемъ максимальной потребности для того и другого назначенія и только запасной котель можетъ быть общимъ. При употребленіи же отработаннаго пара для отопленія котельная установка, предназначенная для отопленія, можетъ быть уменьшена приблизительно на  $\frac{3}{4}$  величины установки машинной.

Точно также въ самой машинѣ можно имѣть сбереженіе при употребленіи отработаннаго пара, такъ какъ въ такомъ случаѣ незачѣмъ выбирать дорогую съ тройнымъ расширеніемъ машину, гарантирующую малое потребленіе пара, а можно уже довольствоваться простой, одноцилиндровой. Лишнее потребленіе пара послѣдней машинной никакого существеннаго значенія уже не имѣетъ.

Такъ какъ при непосредственномъ использованіи отработаннаго пара получается большее или меньшее противодавленіе, то важно знать какъ увеличивается потребленіе пара машиной при этомъ противодавленіи и, вообще, желательно располагать точными цифровыми данными по разсматриваемому вопросу. Въ этомъ отношеніи имѣются очень интересные опыты пѣмецкаго инженера Эберле, произведенные очень тщательно надъ специально для опытовъ приспособленной машиной въ 40 — 60 лощ. силъ \*). Машина могла работать, какъ одноцилиндровая, 2-хъ цилиндровая, съ охлажденіемъ, безъ охлажденія и съ разными степенями вакуума. При работѣ безъ охлажденія паръ конденсировался поверхностнымъ холодильникомъ для опредѣленія его количества, но безъ воздушнаго насоса. Табл. (24), взятая изъ серіи этихъ опытовъ, относится къ тому случаю, который мы разсматриваемъ.

Для того чтобы результаты опытовъ могли имѣть болѣе общее приложеніе, опредѣлены для отдѣльныхъ рядовъ опытовъ тѣ величины, которыя могутъ быть приложены для машинъ другихъ конструкцій и мощностей. „Теоретическое наполненіе“ указано по отношенію къ упругости пара передъ впускомъ въ машину; паросодержаніе  $x$ , т. е. отношеніе видимаго расхода пара къ дѣйствительному, вычислено для средней діаграммы въ концѣ кривой расширенія. Видимый расходъ пара для одной стороны цилиндра, какъ извѣстно, равенъ: рабочему объему цилиндра, помноженному на степень наполненія и на удѣльный вѣсъ пара. Показатель  $n$  кривой  $p v^n$  вычисленъ по формулѣ:

$$n = \frac{\lg p_1 - \lg p_2}{\lg v_2 - \lg v_1}$$

\*) Zeitschrift des Bayerischen Revisions-Vereins 1908 г.  
Бюлет. полит. Общ. 1909. № 1.



гдѣ  $p$ —абсолютныя давленія и  $v$ —абсолютн. объемы; значекъ 1 относится къ началу расширенія и 2 къ окончанію.

Коэф. полезнаго дѣйствія  $\eta_p$ —для рабочаго процесса разсчитанъ согласно съ нормами для изслѣдованій надъ работой паровыхъ машинъ, выработанныхъ обществомъ нѣмецкихъ инженеровъ, а именно здѣсь сравнивается индикаторная работа  $N_i$ , произведенная 1 kg. пара въ часъ съ индикаторной работой  $N_i^0$ , которая была бы произведена 1 kg. пара въ 1 часъ въ изслѣдуемой машинѣ при данной степени расширенія, при давленіи впуска  $p_1$  и давленіи выпуска  $p_0$  (изм. за машиной) и при отсутствіи потерь во вредномъ пространствѣ, въ парораспредѣленіи, а также при отсутствіи потерь тепла вслѣдствіе охлажденія черезъ стѣпки.

Пользуясь этой таблицей, можно въ каждомъ частномъ случаѣ рѣшить вопросъ, насколько выгодно или нѣтъ использовать отработанный паръ непосредственно по первому способу.

Опыты производились только съ машиной одноцилиндровой и не были распространены на машину двойного расширенія, такъ какъ при высокихъ противодавленіяхъ распредѣленіе въ цилиндрахъ давленія и паденія температуры было-бы такъ невыгодно, что не оправдывалась бы въ этомъ случаѣ первоначальная стоимость машины. Если же имѣется уже такая машина, то лучше всего брать паръ изъ ресивера. Таблица (25) представляетъ результаты серіи опытовъ для послѣдняго случая.

---

Т А Б Л И Ц А 24.

Вліяніе противодавленія на расходъ пара одноцилиндровой паровой машины.

№№ опытовъ.	Темп. паръ.	Нагр. пар. руб.	Давленіе пара <i>abs.</i>		Индик. работа л. с.	Теоретич. палолл. %.	Относительн. расшир. ε.	Паросодержан. въ концѣ расш.	Показатель кривой расш. $\eta$	$\eta_y$	Часовой расходъ пара на 1 л. с. кг.
			Передъ впускомъ.	Передъ дресс. км. кг. на 1 кв. с.							
1	Ц а с ы щ о н ы й п а р ь .	Паров. руб. пагрѣвалась.	8,1	1,00	44,4	22,8	3,77	0,87	1,027	0,787	10,59
2			8,1	1,51	43,7	28,2	3,16	0,87	1,015	0,769	12,06
3			10,1	1,00	44,0	14,2	5,30	0,80	0,965	0,722	9,68
4			10,1	1,00	44,6	14,2	5,30	0,84	1,038	0,719	9,52
5			10,1	1,52	43,7	17,8	4,55	0,87	0,989	0,756	10,63
6			10,1	1,97	44,0	21,8	3,90	0,90	1,007	0,779	11,62
7			10,1	2,54	44,5	27,9	3,17	0,91	1,011	0,818	12,96
8			12,1	1,00	43,9	10,0	6,99	0,84	0,976	0,675	9,33
9			12,1	2,09	45,0	16,8	4,80	0,85	0,998	0,746	11,33
10			12,1	2,99	44,6	22,9	3,76	0,86	1,050	0,803	13,05
11	Паръ переср. 250° - 275°.	Паровая рубашка по пагрѣвалась.	10,1	1,00	44,1	16,3	4,95	0,90	1,167	0,840	7,74
12			10,1	1,52	44,5	20,1	4,18	0,93	1,170	0,875	8,59
13			10,1	2,51	45,2	29,2	3,06	0,98	1,195	0,925	10,25
14			12,1	1,00	43,6	11,5	6,33	0,92	1,096	0,785	7,69
15			12,1	1,99	44,5	17,8	4,60	0,94	1,104	0,850	9,18
16			12,1	3,04	44,2	24,4	3,58	0,95	1,174	0,908	10,79
17			14,1	3,93	45,1	24,5	3,57	1,01	1,122	0,919	11,29

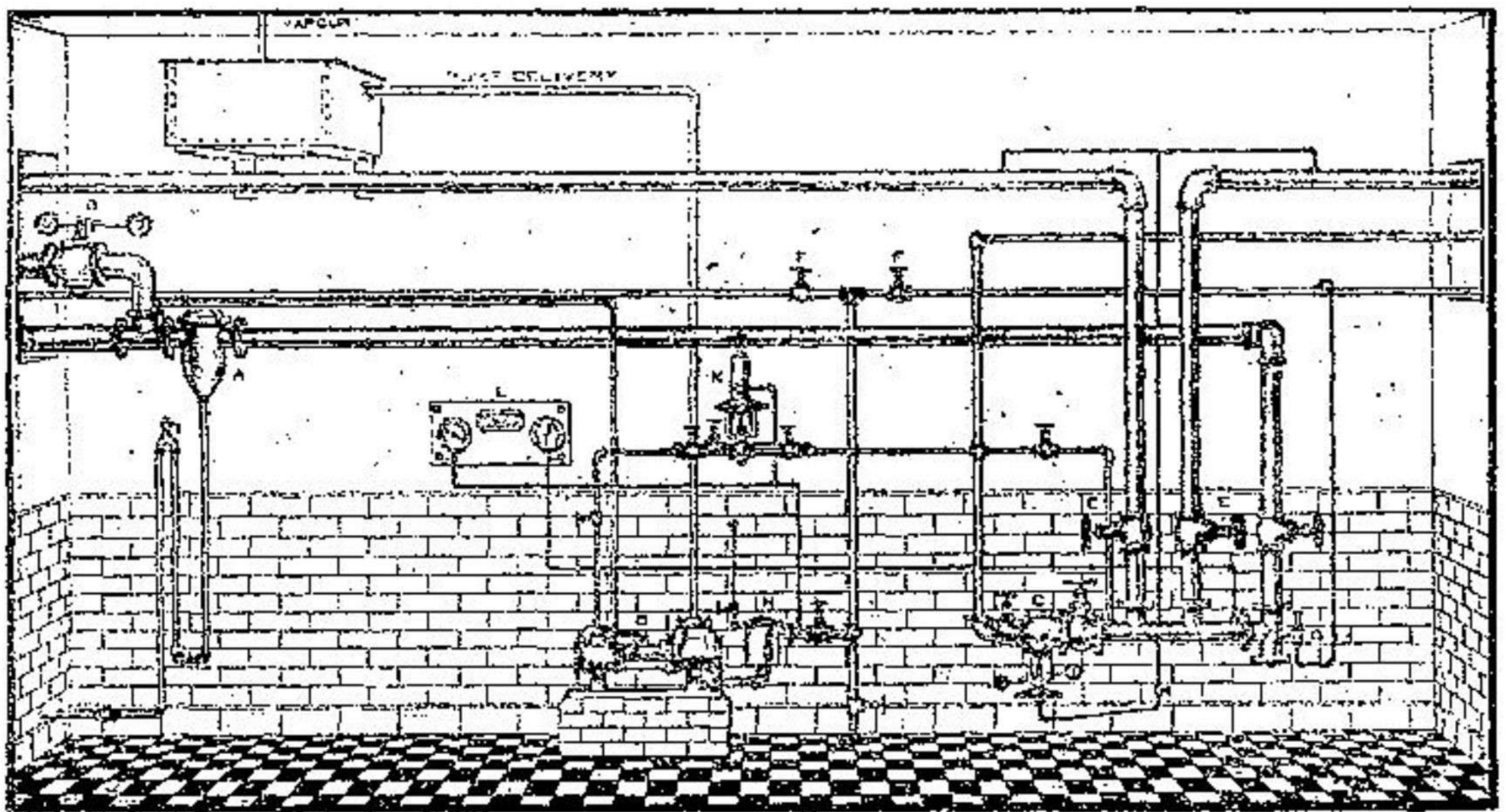
ТАБЛИЦА 25.

Двухцилиндровая машина съ конденсаціей и использованиемъ рессивернаго пара.

№№ опытовъ.	Родъ пара.	Нагр. паров. рубашекъ.	Давленіе пара.		Индикат. работы.		Расходъ пара на индик. л. с.	показат. кривой.		Паросодержаніе с.			$\eta_p$	Относ. расход. пара при вмс. л.	Отвод. паръ въ % отъ общаго расхода.	Колич. тепла въ 1 кг. пара.		Колич. тепла на 1 инд. с. л.		Количество тепла, затрач. машиной $W = W_2 - W_3$ .	Расходъ тепла въ машинѣ безъ использования пара.	Расходъ пара машиной $\frac{W_2}{W_1}$ .	Сбереженіе топлива путемъ использования рессив. пара.			
			Передъ впускомъ.	Среднее индикат.	Цилиндръ. высок. дав.	Цилиндръ. низк. дав.		Цилиндръ. высок. дав.	Цилиндръ. низк. дав.	Ц. В. Д.	Цилиндръ Н. Давл.	Конюль.				Начало.	Конецъ.	Свѣжій паръ $W_1$ .	Мертвый паръ $W_2$ .					Собщено $W_2$ .	Отнат. $W_3$ .	
			Цилиндръ. высок. дав.	Цилиндръ. низк. дав.	Цилиндръ. высок. дав.	Цилиндръ. низк. дав.		Цилиндръ. высок. дав.	Цилиндръ. низк. дав.	Цилиндръ. высок. дав.	Цилиндръ. низк. дав.															
2	Паръ насыщеннй.	Объ паровая рубашка нагрѣта.	10.1	2,08	26,5	20,6	8,47	0,98	1,03	0,78	0,79	0,91	0,70	0,63	5,7	43,8	666,2	639,5	5650	2370	3280	4105	4,9	20		
3			10.1	2,54	22,2	24,8	8,58	0,90	0,88	0,78	0,78	0,96	0,74	0,62	5,7	50,1	666,2	642,0	5720	2760	2960		4,4	28		
4			10.1	2,11	37,3	10,3	10,52	0,98	0,82	0,84	0,71	1,21	0,74	0,54	4,4	74,6	666,2	639,5	7010	5010	2000		3,0	51		
5			10.1	2,49	34,6	12,1	10,68	0,99	0,80	0,84	0,73	1,25	0,78	0,58	4,1	72,7	666,2	639,5	7090	4940	2150	4195	3,2	47,5		
7			12.1	2,55	38,5	28,2	8,11	0,98	0,92	0,83	0,76	0,93	0,72	0,62	4,7	45,8	668,2	639,5	5420	2370	3050		4,6	27		
8			12.1	3,59	33,9	29,4	9,40	1,01	0,86	0,85	0,63	0,88	0,73	0,55	3,8	47,6	668,2	641,0	6280	2870	3410		5,1	19		
9			12.1	2,55	54,3	12,7	10,68	1,00	0,74	0,80	0,65	1,22	0,76	0,49	3,5	77,7	668,2	639,5	7130	5300	1830	4195	2,7	56		
10			12.1	3,61	45,0	18,8	11,22	1,02	0,82	0,89	0,57	1,00	0,79	0,48	3,1	69,8	668,2	640,0	7500	5010	2490		3,7	40,5		
12			12.1	2,50	34,8	12,6	10,11	0,98	0,83	0,80	0,61	1,22	0,73	0,56	5,3	68,2	668,2	639,5	6760	4410	2350	4115	3,5	43		
13			12.1	3,43	28,4	18,3	11,00	1,01	0,84	0,80	0,62	1,06	0,72	0,53	4,6	60,7	668,2	644,5	7350	4300	3050		4,6	36		
15			Паръ перегрѣтый.	Паров. рубашка цил. низк. давл. нагрѣвалась.	14.1	4,00	43,3	20,6	10,80	0,97	0,82	0,87	0,54	0,93	0,76	0,47	3,8	64,4	669,8	640,5	7230	4455	2775	4110	4,2	33
17					10.1	2,12	36,0	9,5	7,76	1,18	0,86	1,00	0,80	1,13	0,59	0,54	3,7	72,8	720,0	650,0	5595	3680	1915		3690	2,7
18	10.1	2,55			32,7	12,4	8,42	1,17	0,84	0,98	0,68	1,03	0,85	0,52	4,0	67,4	714,6	650,5	6010	3690	2320	3,3	37			
20	12.1	2,69			52,5	12,3	7,98	1,19	0,80	1,04	0,63	1,13	0,91	0,49	3,0	76,2	716,5	652	5720	3960	1760	3505	2,5	50		
21	12.1	3,53			45,9	17,7	8,37	1,18	0,89	1,05	0,60	0,98	0,92	0,51	3,3	68,6	718,4	658	6010	3780	2230		3,1	36,5		
23	12.1	2,65			33,3	12,7	7,73	1,15	0,80	1,01	0,64	1,11	0,90	0,55	4,1	65,8	717,4	654	5550	3320	2230	3620	3,1	38,5		
24	12.1	3,64			26,6	18,6	8,23	1,18	0,90	1,01	0,60	0,95	0,92	0,53	4,8	54,5	718,4	659	5910	2950	2960		4,1	18		
25	14.1	1,90			47,3	39,3	5,03	1,07	1,08	0,93	0,92	0,92	0,87	0,73	3,6	0	716,0	—	3600	0	3600	3600	5,0	—		
26	14.1	3,97			63,7	21,6	8,42	1,20	1,86	1,05	0,57	0,89	0,88	0,54	2,6	73,5	717,5	658	6045	4072	1973		2,8	45		
28	14.1	4,04			43,1	21,5	8,36	1,15	0,86	0,98	0,56	0,89	0,90	0,50	5,6	63,0	713,0	656	5965	3460	2505	3440	3,5	27		

*Отопление съ вакуумомъ.* Въ томъ случаѣ, если имѣется возможность примѣнить для отопленія отработанный паръ ниже  $100^{\circ}$ , то употребляется такъ назыв. система парового отопленія съ вакуумомъ. Обыкновенно эта система состоитъ въ томъ, что между выходомъ пара изъ машины и конденсаторомъ вставляется сѣть трубъ для отопленія. Примѣненіе такой системы является въ достаточной степени удобнымъ и выгоднымъ, такъ какъ температура пара падаетъ значительно медленнѣе, чѣмъ идетъ паденіе давленія. Такъ, напр., при паденіи давленія до  $\frac{1}{2}$  атм. (50% вакуумъ, т-ра пара еще нѣсколько выше  $80^{\circ}$ , при давленіи 0,2 атм. паръ имѣетъ еще т-ру въ  $60^{\circ}$  и т. д.

На фиг. (100) показаны главнѣйшія детали этой системы, гдѣ обозначаютъ: *A*—отдѣлитель масла изъ мятата пара, *B*—вентиль для выпуска мятата пара въ случаѣ надобности на воздухъ, *C*—редукціонный аппаратъ для добавки свѣжаго пара, если мятата не хватаетъ, *D*—воздушный насосъ для конденсата, *E*—вентиль предъ входомъ въ отопительную сѣть) *F*—вентиль на обратныхъ конденсаціонныхъ трубахъ, *G*—самодѣйствующій приборъ для отвода изъ паровой трубы конденсаціонной воды, *H*—грязеотдѣлитель для конденсата, *K*—регуляторъ для воздушнаго насоса, *L*—манометръ и вакууметръ, Pump delivery — нагнетательная труба насоса, ведущая въ бакъ для конденсаціонной воды, Vacuum — труба, сообщающая этотъ бакъ съ атмосферой.



Фиг. 100.

Последнее время разсматриваемая система въ Англии и особенно въ Америкѣ получила большое распространеніе. Дѣйствуетъ она обыкновенно такимъ образомъ, что при недостаткѣ мятата пара добавляется свѣжій, а при излпшкѣ работаетъ еще и обыкновенный конденсаторъ.

Степень вакуума, которымъ можетъ въ данномъ случаѣ располагать машина, зависитъ какъ отъ той температуры, которую долженъ имѣть мятый паръ, такъ и отъ сопротивленія въ нагревательной сѣти. Поэтому въ различныхъ случаяхъ вакуумъ можетъ быть различнымъ, а слѣдоват., и потребление пара на 1 л. силу въ часъ можетъ мѣняться. Чтобы отдать себѣ отчетъ, насколько въ каждомъ частномъ случаѣ выгодно или нѣтъ примѣнить эту систему отопленія необходимо имѣть также, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, точныя цифры расхода пара. Въ этомъ отношеніи опять такъ большую пользу припесутъ указанные выше опыты инженера Эберле. Результаты этихъ опытовъ для одноцилиндровой машины при различныхъ степеняхъ вакуума помѣщены въ табл. 26-ой, а въ 27-ой для машины компаундъ. При посредствѣ этихъ таблицъ въ каждомъ частномъ случаѣ можно разобратся, какая комбинація окажется болѣе выгодной.

**Т А Б Л И Ц А 26.**

Вліяніе вакуума на расходъ пара въ одноцилиндровой паровой машинѣ.

№№ опытовъ.		Давленіе пара.		Индикаторная работа л. с.	Расходъ пара на 1 инд. л. с. кг.	Теоретич. наполненіе %.	Степень расширения с.	Широкое держаніе вѣт. концъ расширеній.	Показатель кривой расширения η.	η <sub>с</sub> .
		При выпускѣ.	Въ конденсаторѣ.							
1	П а р ъ н а о ш е щ е н н ы й. Р у б а ш к а о б о г р ѣ в а л а с ь.	10,1	0,10	46,2	7,88	10,9	6,6	0,80	1,00	0,66
2		10,1	0,38	44,2	8,25	11,0	6,6	0,83	0,98	0,68
3		10,1	0,58	43,7	8,74	11,7	6,3	0,84	1,00	0,69
4		10,1	1,02	44,0	9,41	14,5	5,4	0,84	1,04	0,73
5		10,1	0,14	65,3	8,37	22,0	3,9	0,87	1,03	0,73
6		10,1	0,38	65,7	8,55	23,0	3,9	0,87	1,00	0,75
7		10,1	0,59	66,3	9,25	24,7	3,5	0,83	1,01	0,75
8		10,1	1,01	66,7	9,93	28,7	3,1	0,87	1,02	0,78

### Т А Б Л И Ц А 27

Вліяніе вакуума на расходъ пара въ двухцилиндровой паровой машинѣ.

№№ опытовъ.		Давленіе пара.		Индикаторная работа л. с.	Часовой расходъ пара на 1 л. с.	Теоретич. выхол. въ цилиндр. высок. давл. %/о.	Общая степ. расширения.	Паросодержаніе э.		Показатель кривой расширен. въ цилиндр. высок. давл. э.	$\eta_g$	
		Передъ впускомъ.	Въ конденсаторѣ кг.					Цилиндръ высок. давл.	Цилиндръ низк. давл.			
1	Насосный паръ.	Объ паров. руб. на грѣв.	10,1	0,10	47,4	6,16	6,6	26,2	0,75	1,00	0,96	0,65
2			10,1	0,38	48,0	6,96	9,7	20,5	0,77	1,00	0,97	0,71
3			10,1	0,59	49,3	7,47	11,9	17,8	0,78	0,96	0,96	0,77
4			10,1	1,01	48,5	8,88	17,1	13,7	0,85	0,99	1,01	0,82
5			10,1	0,10	71,2	6,12	15,3	14,8	0,80	0,96	0,99	0,71
6			10,1	0,37	72,4	6,68	19,4	12,4	0,84	0,91	0,99	0,76
7			10,1	0,58	72,6	7,26	22,0	11,2	0,86	0,98	1,02	0,77
8			10,1	1,02	71,5	8,44	28,7	9,0	0,89	0,98	1,02	0,80

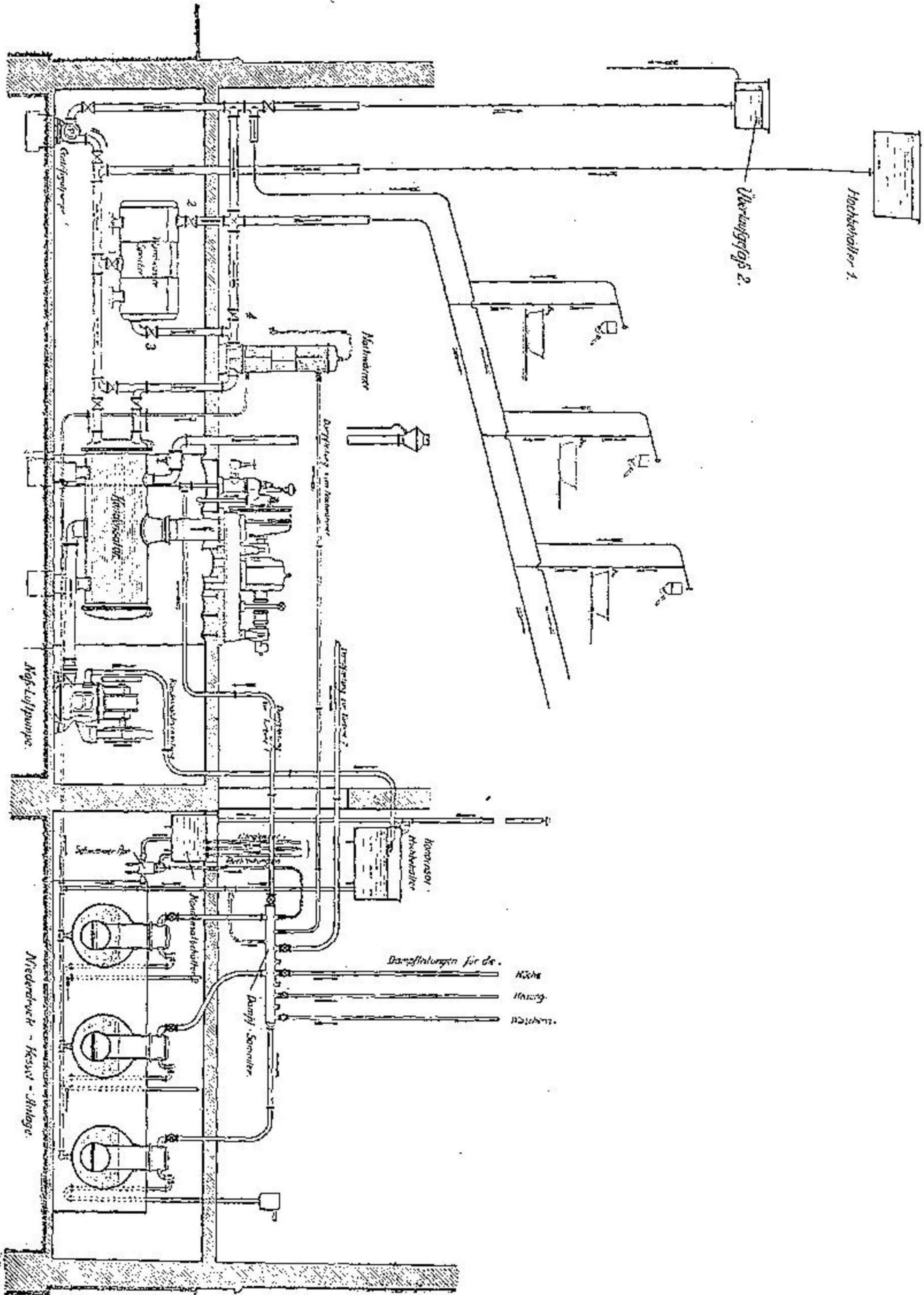
Паровое отопленіе съ вакуумомъ передъ обыкновеннымъ паровымъ низкимъ давленія, имѣетъ много преимуществъ, изъ которыхъ наиболѣе существенными являются: невысокая температура поверхности нагревательныхъ приборовъ и хорошее регулированіе посредствомъ измѣненія температуры пара, которая мѣняется сообразно потребности въ теплѣ. Такимъ образомъ уменьшеніе вакуума, а слѣдов., и излишнее потребленіе пара машиной на 1 лощ. силу имѣетъ мѣсто только при значительныхъ холодахъ, большую же часть отопительнаго періода машина работаетъ при обычныхъ условіяхъ и потребляетъ нормальное количество пара. Но при устройствѣ этой системы надо имѣть въ виду излишній расходъ на нагревательные приборы, такъ какъ при низкой т-рѣ ихъ поверхности количество ихъ получается значительно большее, чѣмъ при обыкновенномъ паровомъ отопленіи.

*Отопленіе водою изъ конденсатора* является наиболѣе удобной формой использованія отработаннаго пара въ томъ случаѣ, если его нельзя пустить въ дѣло непосредственно по выходѣ изъ машины. Въ данномъ случаѣ вода изъ конденсатора является аккумуляторомъ тепла, заключающагося въ парѣ, для расходованія его черезъ болѣе или менѣе продолжительное время.

Кромѣ того, получившія въ послѣднее время значительное распространеніе паровыя турбины сильно реагируютъ въ худую сторону при уменьшеніи вакуума, а потому при этого рода двигателяхъ наилучшее использованіе мятата пара достигается употребленіемъ горячей воды изъ холодильника.

Для представленія о размѣрахъ резервуара для собиранія и храненія горячей воды приведемъ слѣдующій расчетъ. Предположимъ, у насъ работаетъ паровая машина въ 100 лощ. силъ съ вакуумомъ въ 50—60% и вода получается въ 70°, которую мы охлаждаемъ до 40°. Расходъ пара на 1 индикат. силу составляетъ 7 kg. въ часъ. Воды для охлажденія требуется 20—22 kg. на 1 kg. пара. Такимъ образомъ въ 1 часъ отъ этой машины получится горячей воды 14—16 куб. м. и при работѣ машины 3—4 часа, когда тепло отходящаго пара не можетъ быть использовано, необходимо имѣть резервуаръ до 60 куб. м., что не представляется слишкомъ громоздкимъ для установки въ 100 силъ.

Схему расположенія отдѣльныхъ частей рассматриваемой системы можно видѣть на фиг. (101). Эта схема интересна еще и въ другомъ отношеніи, а именно, здѣсь примѣняется для работы въ паровой турбинѣ паръ низкаго давленія всего въ 0,4 атм., т. е. такой, какой примѣняется только для отопленія. Конечно, въ данномъ случаѣ на 1 лощ. силу идетъ довольно много пара, но такъ какъ весь отработанный можетъ быть использованъ, то такая установка можетъ быть выгодной. Обслуживаніе же котловъ малаго давленія во много разъ проще, удобнѣе и безопаснѣе, чѣмъ большаго давленія.



Фиг. 101.



Данная фигура представляет изъ себя центральную станцію цѣлой группы зданій одной больницы на 800 человекъ. Паръ здѣсь расходуется на варку пищи, прачешную и движущую силу для освѣщенія и прачешной. Двигателями служатъ двѣ паровыя турбины, по 60 л. силъ каждая, приспособенныя для малаго давленія. Вода же для охлажденія поверхностнаго конденсатора послѣ нагрѣванія идетъ для отопленія, ваннъ и проч., а вода изъ мятаго пара, электрическимъ воздушнымъ насосомъ перекачивается въ верхній резервуаръ надъ котельной, куда перекачивается и конденсационная вода изъ кухни и прачешной, собирающаяся въ нижнемъ резервуарѣ. Последнее перекачиваніе производится автоматическимъ приборомъ съ поплавкомъ. Верхній резервуаръ находится на такой высотѣ, что питаніе котловъ изъ него можно производить непосредственно. Циркуляція воды для отопленія происходитъ подъ вліяніемъ разности высотъ 1-го и 2-го резервуаровъ лѣвой части, а также работаетъ и центробѣжный насосъ; для ебереженія же горячей воды имѣются особые резервуары (Wasserspeicher) какъ на станціи, такъ и въ отдѣльныхъ зданіяхъ, гдѣ устроено обычное водяное отопленіе. Въ томъ случаѣ, если по состоянію внѣшней погоды температура воды изъ холодильника недостаточно высока, пускается въ ходъ подогреватель; послѣдній примѣняется также и въ томъ случаѣ, если двигатели не работаютъ, а горячая вода требуется для отопленія и другихъ цѣлей. (На фиг. (101) пропущенъ вентиль, который долженъ быть установленъ на горизонтальной трубѣ симметрично 4-му вентилю по другую сторону подводящей трубы.)

Паровая турбина приспособлена для малаго давленія (Alg. El. Ges. Curtis-Turbine) и потребляетъ 14 kg. пара на 1 лощ. силу въ часъ при 0,3 kg. давленія при входѣ въ турбину. Только что описанная установка очень проста по уходу, экономна въ эксплуатаціи и недорога по своему устройству и поэтому строителямъ отопленій и вентиляцій слѣдуетъ обратить на нее вниманіе.

Какъ указывалось выше, турбины паровыя сильно реагируютъ въ худую сторону при непосредственномъ употребленіи мятаго пара, когда получается противодавленіе, но все таки и въ послѣднемъ случаѣ использование мятаго пара представляетъ нѣкоторыя выгоды.—Вотъ, напр., нѣсколько данныхъ по этому поводу, заимствованныхъ у Alg. El.-Ges. \*). При коэф. полезнаго дѣйствія котловъ въ 75% на 1000 К. W. въ 1 часъ необходимо 6·882·983 cal. тепла, если турбина работаетъ только для полученія электрической энергіи и мятый паръ не используется. Коэф. полезнаго дѣйствія турбины—12,47%.

При неиспользованіи мятаго пара съ противодавленіемъ въ 2 kg. на 1 кв. с.-м. для полученія 1000 К. W. въ часъ требуется уже 19·550·700

\*J Ges.—Ing. 1909, № 17.

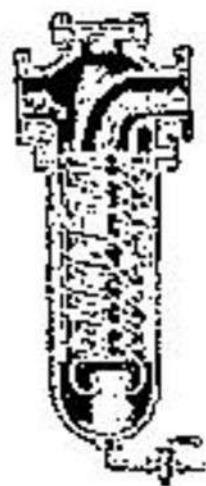
cal., причемъ турбина уже работаетъ съ коэф. полезн. дѣйств. въ 4,38%. На отопленіе идетъ 13·220·250 cal.—67,62%.

Если-бы работали отдѣльно турбина и отопленіе, то для полученія 13·220·250 cal. тепла, требовалось-бы:

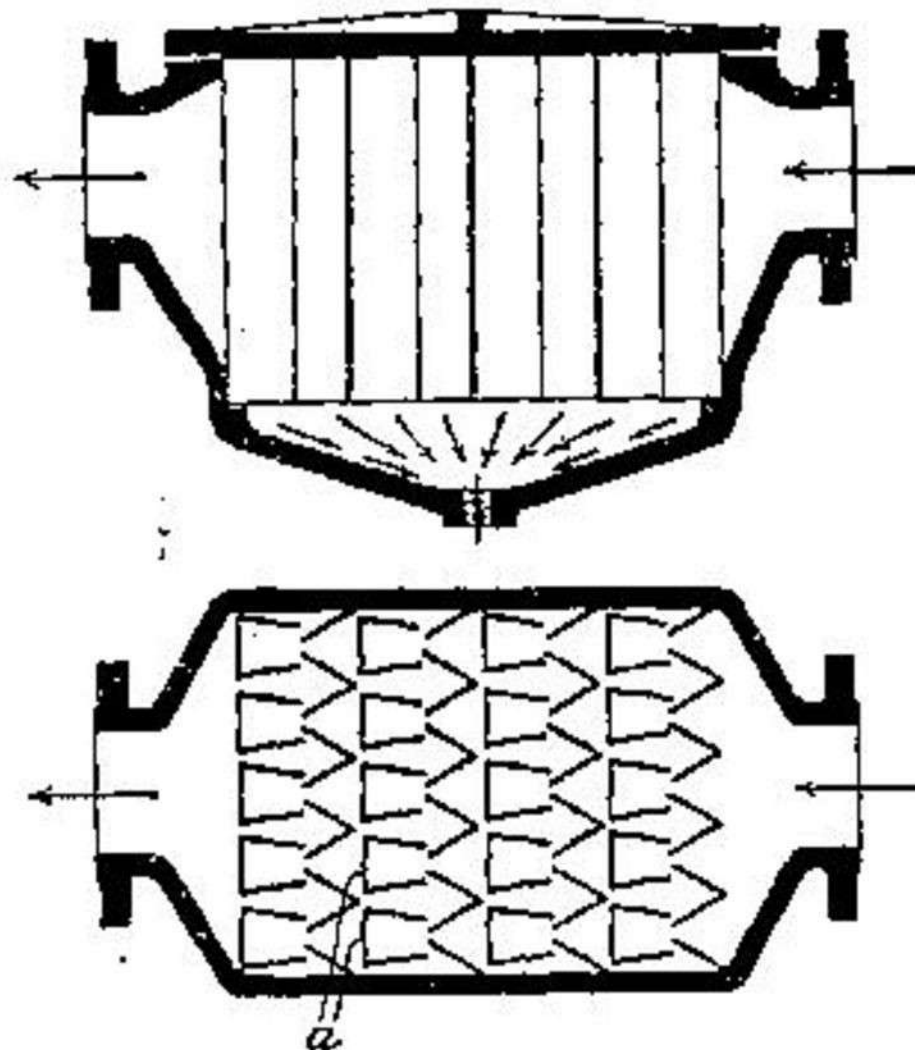
считая потерю въ котлахъ и на охлажденіи, . . .	17·897·353 cal.
для турбины уже требуется . . . . .	6·882·983 „
всего, слѣдов., 24·780·336 cal., т. е. въ перв. случ. на	5·229·636 „

менѣе, что составитъ 20,6% сбереженія въ топливѣ.

Примѣняя въ данномъ случаѣ паровыя машины, а не турбины можно получить большую экономію, по послѣднія со своей стороны имѣютъ также значительное преимущество передъ первыми въ томъ, что изъ нихъ паръ получается совершенно чистымъ, безъ масла, отдѣленіе котораго представляетъ много трудностей при употребленіи поршневыхъ машинъ. Какъ бы тщательно масло не отдѣлялось изъ пара, все-таки нѣкоторая часть его остается и осаждается на стѣнкахъ нагревательныхъ приборовъ, уменьшая тѣмъ ихъ теплоотдачу; поэтому время отъ времени въ такомъ случаѣ надо всѣ приборы разбирать и чистить. Для отдѣленія масла примѣняется въ настоящее время нѣсколько приборовъ. На фиг. (102) и (103)



Фиг. 102.



Фиг. 103.

показано два такихъ прибора, изъ которыхъ въ первомъ отдѣленіе масла основано на принципѣ центробѣжной силы, а во второмъ—масло при ударахъ пара пригнѣпляется къ внутреннимъ стѣнкамъ корытообразныхъ стоекъ и стекаетъ внизъ. Часто пользуются также для отдѣленія масла большими цилиндрами, наполненными коксомъ, чрезъ которые и пропускаютъ мятый паръ, причемъ масло поглощается пораами кокса. Кроме только что указаннаго преимущества турбинъ передъ поршневыми маши-

нами онѣ имѣютъ и нѣкоторыя другія довольно существенныя, а именно: малое занимаемое мѣсто, простой и легкій фундаментъ и простота ухода.

Въ заключеніе этого параграфа для иллюстраціи выгоды использования мятго пара приведемъ здѣсь результатъ перехода отъ системы отдѣльныхъ установокъ для получения эмергіи и отопленія къ системѣ отопленія мятымъ паромъ при работѣ поршневыхъ машинъ на одной изъ электрическихъ станцій\*). Измѣренія производились съ 1-го Октября по 1-ое Декабря 1908 г. и для получения 211·840 К.-W. часовъ, а также отопленія мятымъ паромъ израсходовано 2·969·000 kg. пара. Въ прежнее время при отдѣльной работѣ расходовалось на 1 киловаттъ 9,5 kg. пара и, слѣдов., потребовалось бы 2·012·000 kg. На отопленіе за то же время 1907 г. израсходовано было 2·506·000 kg. пара — всего 4·518·000 kg.; экономія, такимъ образомъ, составляетъ 1·549·000 kg. или почти 34,4% прежняго расхода.

Такимъ образомъ, для вновь устраиваемыхъ установокъ отопленія съ получениемъ движущей силы въ настоящее время большой выборъ способовъ рѣшенія задачи, и опытный стронтель въ каждомъ частномъ случаѣ можетъ остановиться на наиболѣе по мѣстнымъ условіямъ выгодномъ способѣ, но все таки настоящее состояніе этого вопроса нельзя еще считать окончательно разработаннымъ и какъ специалистамъ по отопленію, такъ и механикамъ предстонтъ еще совмѣстными усиліями двигать это интересное дѣло дальше.

---

## § 70. Использование тепла отъ машинъ внутреннего сгорания.

Этотъ вопросъ въ настоящее время только начинаетъ разрабатываться и поэтому мы располагаемъ въ этомъ отношеніи еще небольшимъ матеріаломъ. Теплота здѣсь получается при охлажденіи водой поверхности цилиндровъ, а также много ея заключается и въ отходящихъ газахъ.

На основаніи имѣющихся пока немногочисленныхъ опытовъ можно считать, что изъ всего количества тепла развивающагося въ двигателѣ для цѣлей отопленія можетъ быть использовано до 37%, а такъ какъ на движеніе утилизируется до 33—35% то, слѣдов., коэф. полезнаго дѣйствія всей установки можетъ доходить до 71—72%.

Температура воды для охлажденія цилиндровъ должна имѣть температуру не болѣе 50—60° и на каждую лощ. силу расходуется холодной воды 12—13 kg. въ 8—10°. Такая температура воды мало пригодна для циркуляціи и обыкновенно по проходѣ черезъ нагрѣвательные приборы уходитъ прочь, а вмѣсто нея идетъ опять свѣжая.

---

\*) Ges.-Ing. 1909, № 14.

Отходящіе газы имѣютъ очень высокую т-ру 300—500° и поэтому не могутъ быть использованы непосредственно, а употребляются для подогреванія воды. Охлаждающая вода успѣетъ до 27°/о отъ всего количества тепла, а отходящіе газы могутъ возвратитъ до 10°/о, но такъ какъ въ нагрѣвательныхъ приборахъ нельзя охладитъ воду до 10°, а только до 30—35°, то, слѣдов., удобно использовать тепло можно только до 20—25°/о, а не 37°/о и коэф. полезнаго дѣйствія всей установки можетъ доходить, слѣдов., до 60°/о.

---

## § 71. Сравненіе центральныхъ системъ отопленія между собою.

Достоинства и недостатки обыкновеннаго воздушнаго отопленія рассмотрѣны уже въ § 44 и здѣсь только остается сказать, что эта система имѣетъ преимущества передъ другими главнымъ образомъ своею дешевизною, а также отчасти и попутной вентиляціей, хотя и съ недостатками. Изъ другихъ же системъ мы должны только сравнитъ между собою обыкновенное водяное съ паровымъ низкаго давленія, такъ какъ всѣ остальные сводятся къ этимъ основнымъ. Изъ этихъ же двухъ, какъ указывалось и раньше, всѣ преимущества въ смыслѣ гигиены, экономичности и простоты ухода на сторонѣ водянаго отопленія и только по стоимости первоначальнаго устройства и удобству соединенія съ вентиляціей, о чемъ будетъ сказано въ 3-ей части, преимущества на сторонѣ пароваго отопленія.

Вообще же можно сказать, что въ помѣщеніяхъ все время занятыхъ людьми въ нашемъ климатѣ, требующемъ отопленія большой теплоемкости, устраивать пароваго отопленія нельзя, а только водяное. Въ тѣхъ же, главнымъ образомъ, общественнаго характера зданіяхъ, которыя люди занимаютъ только временно, можно устраивать и паровое отопленіе, но всегда слѣдуетъ при этомъ устраивать и вентиляцію. Изъ послѣдняго не слѣдуетъ еще заключить, что при водяномъ отопленіи вентиляція не нужна, но при паровомъ она нужна настоятельно.

Достоинства и недостатки, а также мѣсто примѣненія остальныхъ системъ выяснены при ихъ описаніи.

---

§ 72. Таблицы.

ТАБЛИЦА 28.

Значения  $[\eta]$  и  $\frac{[\eta]}{\gamma}$  для воды при различных температурах.

Темп.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$[\eta]$	0,01775	0,01310	0,01010	0,00805	0,00660	0,00550	0,00465	0,00395	0,00350	0,00320	0,00298
$\frac{[\eta]}{\gamma}$	0,01775	0,01310	0,01011	0,00808	0,00665	0,00556	0,00473	0,00404	0,00361	0,00332	0,00311

ТАБЛИЦА 29.

Нижний предел скорости в метрах для разл. диаметров (в мм.) (стр. 37)  
а) трубы с муфтами.

$d=11$	14	20	25	34	39	43	49	65	79
$v=0,111$	0,087	0,061	0,049	0,036	0,031	0,029	0,025	0,019	0,016

б) трубы с фланцами.

$d=57$	70	82	94	106	119	131	143	156	169
$v=0,022$	0,018	0,015	0,013	0,012	0,010	0,009	0,009	0,008	0,007

ТАБЛИЦА 30.

Верхний предел скоростей для различных диаметров (стр. 38)  
а) трубы с муфтами.

$d=11$	14	20	25	34	39	43	49	65	79
$v=0,640$	0,569	0,476	0,425	0,365	0,339	0,324	0,304	0,263	0,239



Вѣсъ 1 куб. метра воды въ кг. при температурахъ 50<sup>0</sup>—100<sup>0</sup>.

Т-ра.	Вѣсъ.	Т-ра.	Вѣсъ.	Т-ра.	Вѣсъ.	Т-ра.	Вѣсъ.	Т-ра.	Вѣсъ.
76	974,3	81	971,2	86	968,0	91	964,6	96	961,2
77	73,7	82	70,6	87	67,3	92	63,9	97	60,5
78	73,0	83	70,0	88	66,7	93	63,3	98	59,8
79	72,4	84	69,3	89	66,0	94	62,6	99	59,1
80	71,8	85	68,7	90	65,3	95	61,9	100	58,4

**Т А Б Л И Ц А 33** (Рекнагеля).

Для опредѣленія количества тепла, доставляемаго трубами ( $d = 14$  м.м. — 79 м.м.) въ 1 часъ при паденіи давленія на 1 метръ длины отъ 0,01 до 30,0 м.м. водяного столба при разности т-ръ воды въ  $30^{\circ}$ .

$d$ м.м. $p$ м.м.	14	20	25	34	39	43	49	65	79
0,01	17	69	169	580	1 003	1 432	2 449	6 665	11 012
02	33	138	338	1 158	2 000	2 964	4 685	9 424	15 565
03	50	208	508	1 736	2 904	3 952	5 561	11 539	19 006
04	67	277	679	2 314	3 536	4 579	6 416	13 295	21 971
05	83	346	849	2 746	4 014	5 128	7 170	14 907	24 618
0,06	100	414	1 014	3 089	4 372	5 614	7 862	16 305	26 947
07	116	485	1 183	3 373	4 711	6 053	8 494	17 601	29 065
08	133	553	1 352	3 609	5 033	6 477	9 084	18 813	31 077
09	150	624	1 522	3 746	5 333	6 869	9 634	19 996	32 983
10	166	692	1 692	3 942	5 627	7 229	10 164	21 035	34 730
0,15	249	1 058	2 154	4 835	6 905	8 876	12 445	25 801	42 565
20	335	1 384	2 545	5 580	7 963	10 240	14 360	29 778	49 130
25	420	1 628	2 825	6 237	8 905	11 448	16 051	33 290	55 060
30	505	1 771	3 076	6 835	9 744	12 545	17 599	36 551	60 824
35	590	1 899	3 320	7 384	10 531	13 549	19 004	39 418	65 118
0,40	675	2 011	3 548	7 894	11 267	14 474	20 308	41 926	69 354
45	760	2 117	3 765	8 374	11 951	15 368	21 591	44 435	73 588
50	845	2 222	3 967	8 826	12 616	16 152	22 709	46 843	77 824
55	915	2 325	4 163	9 257	13 263	16 936	23 809	49 252	81 530
60	981	2 428	4 348	9 679	13 809	17 720	24 850	51 602	85 236
0,65	1 045	2 530	4 523	10 091	14 336	18 504	25 868	53 792	88 713
70	1 098	2 629	4 693	10 485	14 842	19 232	26 887	55 843	92 118
75	1 148	2 724	4 857	10 867	15 347	19 959	27 812	57 693	95 295
80	1 181	2 815	5 017	11 229	15 844	20 643	28 720	59 485	98 471
85	1 214	2 902	5 176	11 572	16 334	21 313	29 615	61 277	101 648
0,90	1 247	2 984	5 334	11 906	16 817	21 841	30 453	63 069	104 295
95	1 270	3 056	5 491	12 210	17 289	22 368	31 268	64 860	106 942
1,00	1 291	3 137	5 647	12 454	17 760	22 895	32 083	66 652	109 589
1,2	1 380	3 455	6 151	13 641	19 488	25 091	35 238	72 744	120 177
1,4	1 471	3 720	6 639	14 808	21 037	27 129	38 090	78 566	130 236
1,6	1 561	3 966	7 106	15 838	22 496	28 954	40 734	84 211	139 236
1,8	1 652	4 209	7 530	16 769	23 876	30 736	43 178	89 428	147 707
2,0	2 743	4 441	7 901	17 652	25 167	32 461	45 422	94 245	155 119
2,5	1 955	4 949	8 856	19 711	28 135	36 225	50 718	105 353	174 707
3,0	2 146	5 424	9 704	21 574	30 755	39 674	55 607	115 390	191 060



**Т А Б Л И Ц А 33.**

$\bar{d}$ м.м. $\bar{d}$ м.м.	14	20	25	34	39	43	49	65	79
3,5	2 322	5 865	10 497	23 309	33 298	42 811	60 088	124 345	205 413
4,0	2 478	6 272	11 242	24 908	35 621	45 790	64 162	132 946	219 178
4,5	2 628	6 645	11 931	26 477	37 815	48 613	68 032	140 830	232 943
5,0	2 761	7 018	12 568	27 850	39 880	51 179	71 698	149 071	245 649
5,5	2 894	7 357	13 151	29 223	41 815	53 531	75 265	156 240	257 826
6,0	3 026	7 696	13 734	30 596	43 693	55 983	78 624	163 050	269 473
6,5	3 143	8 002	14 318	31 773	45 429	58 336	81 883	169 800	280 062
7,0	3 260	8 306	14 848	32 950	47 078	60 531	84 938	176 310	290 649
7,5	3 377	8 598	15 378	34 126	48 685	62 726	87 890	182 600	300 708
8,0	3 493	8 880	15 895	35 303	50 233	64 765	90 840	188 531	310 767
8,5	3 609	9 154	16 386	36 382	51 782	66 747	93 693	194 164	320 326
9,0	3 709	9 426	16 810	37 460	53 302	68 685	96 344	199 660	329 826
9,5	3 809	9 683	17 234	38 441	54 801	70 567	98 889	205 031	338 826
10,0	3 909	9 901	17 651	39 422	56 270	72 292	101 440	210 350	347 297
12,0	4 274	10 950	19 408	43 148	61 562	79 035	111 213	230 415	380 650
14,0	4 639	11 834	20 999	46 679	66 724	85 378	120 176	249 049	411 356
16,0	5 000	12 547	22 431	49 915	71 341	91 580	128 527	266 250	439 945
18,0	5 250	13 294	23 810	52 857	75 629	97 069	136 064	282 375	466 416
20,0	5 520	14 036	25 082	55 698	79 830	102 401	143 400	297 784	491 298
22,0	5 800	14 700	26 305	58 450	83 901	107 410	150 603	312 795	512 888
24,0	6 060	15 280	27 450	60 800	88 050	112 300	157 801	327 474	534 170
26,0	6 310	15 905	28 580	63 240	92 100	117 010	164 800	341 600	554 200
28,0	6 550	16 620	29 680	65 300	96 000	121 500	170 100	355 500	572 910
30,0	6 780	17 000	30 750	67 100	99 850	125 800	177 000	369 100	590 300
км./сек.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.
	16 632	33 912	53 028	98 064	129 060	156 816	203 688	358 344	529 416

**Т А Б Л И Ц А 34.**

Продолженіе табл. 33-й для трубъ съ флянцами ( $d$  отъ 57 м.м. до 169).

$d$ м.м. $p$ м.м.	57	70	82	94	106	119	131	143	156	169
0,01	4 741	8 064	12 091	17 164	23 351	31 471	42 795	58 425	66 261	80 917
0,02	6 696	11 390	17 110	24 284	32 977	44 444	60 554	75 455	93 921	114 592
0,03	8 213	13 926	20 932	29 756	40 411	54 533	74 237	92 454	114 976	140 514
0,04	9 481	16 087	24 183	34 579	46 702	62 942	85 736	106 851	132 728	162 076
0,05	10 584	18 000	27 034	38 450	52 230	70 389	95 780	119 340	148 416	181 215
0,06	11 603	19 745	29 658	42 048	57 186	76 995	104 951	130 788	162 453	198 416
0,07	12 521	21 325	31 997	45 396	61 761	83 242	113 248	141 196	175 457	214 405
0,08	13 395	22 780	34 121	48 644	66 050	88 887	121 108	150 909	187 636	229 383
0,09	14 249	24 152	36 274	51 567	70 053	94 292	128 532	160 103	199 189	243 688
0,10	14 994	25 482	38 270	54 340	73 865	99 457	135 373	168 775	210 549	256 802
0,15	18 384	31 177	46 826	66 557	90 449	122 520	165 941	206 416	258 026	314 945
0,20	21 222	36 041	54 069	77 201	104 441	140 538	191 142	239 373	297 245	363 398
0,25	23 731	40 281	60 457	86 195	117 231	157 354	213 977	267 127	332 337	404 584
0,30	25 933	44 063	66 060	94 440	128 115	172 869	234 356	292 145	363 300	443 346
0,35	28 030	47 589	71 294	111 935	138 200	186 182	253 279	315 695	392 199	479 686
0,40	30 042	50 914	76 327	108 680	147 531	199 395	270 746	338 245	419 033	512 603
0,45	31 896	54 040	80 989	115 126	156 308	211 407	286 758	358 325	444 868	542 675
0,50	33 550	56 950	85 352	121 422	164 886	222 418	302 770	377 140	468 574	571 747
0,55	35 179	59 760	89 545	127 418	173 164	233 228	317 326	395 486	491 281	599 819
0,60	36 789	62 454	93 537	133 165	181 089	243 839	331 882	412 832	512 987	627 468
0,65	38 289	65 048	97 330	138 661	188 614	253 848	344 983	429 578	534 629	653 517
0,70	39 769	67 542	100 952	143 908	195 386	263 458	358 084	445 789	554 270	678 344
0,75	41 219	70 036	104 454	148 905	202 057	272 667	371 184	461 400	573 849	702 570
0,80	42 597	72 315	107 876	153 552	208 729	281 475	382 829	477 012	592 491	726 374
0,85	43 875	74 409	111 428	158 149	215 401	289 883	394 474	492 223	611 004	749 178
0,90	45 077	76 487	114 640	162 646	221 872	298 292	406 119	506 500	628 582	770 404
0,95	46 280	78 566	117 799	167 143	227 791	306 700	417 764	520 376	646 096	791 286
1,0	47 458	80 644	120 914	171 640	233 510	314 708	427 954	534 253	662 610	811 590
1,2	52 091	88 127	132 321	188 130	256 384	344 738	468 711	585 556	726 600	887 692
1,4	56 426	95 194	143 146	203 220	277 399	372 365	506 557	633 125	784 462	959 372
1,6	60 084	101 845	152 842	217 361	295 461	397 589	541 948	676 489	838 067	1025 784
1,8	63 592	108 080	161 968	230 752	313 017	421 613	574 972	716 385	889 672	1088 350
2,0	66 975	113 900	169 604	242 845	329 773	444 435	605 540	754 546	937 213	1145 916
2,2	70 282	119 404	177 589	254 737	345 975	466 056	634 652	790 972	982 761	1201 637
2,4	73 490	124 708	185 204	266 080	361 425	487 678	662 765	825 664	1027 974	1254 936
2,6	76 546	129 796	192 759	277 122	376 475	506 806	689 966	860 356	1070 322	1305 812
2,8	79 477	134 684	200 174	287 517	390 771	526 115	716 623	893 313	1110 542	1354 265
3,0	82 134	139 473	207 418	297 559	401 114	545 334	742 368	924 535	1149 762	1402 141
3,2	84 890	144 129	214 562	307 303	417 458	563 150	766 653	954 023	1186 917	1448 748
3,4	87 570	148 718	221 406	316 847	430 801	580 168	790 404	983 511	1223 209	1494 356

Т А Б Л И Ц А 34.

d м.м.	57		70		82		94		106		119		131		143		156		169	
p м.м.																				
3,6	90	126	153	059	228	180	326	041	443	192	596	985	813	694	1012	999	1259	164	1538	387
3,8	92	607	157	235	234	754	335	035	454	129	612	600	835	528	1040	753	1234	256	1580	572
4,0	94	912	161	273	241	128	343	880	467	019	628	215	857	863	1068	506	1328	219	1620	334
4,2	97	293	165	130	247	301	352	274	478	456	643	830	877	841	1094	525	1360	310	1659	519
4,4	99	497	168	771	253	105	360	519	489	893	659	446	898	220	1190	544	1391	274	1698	282
4,6	101	702	172	328	258	808	368	764	501	278	674	860	918	588	1145	828	1422	237	1736	467
4,8	103	907	175	753	264	412	376	859	511	775	689	475	938	878	1170	112	1453	200	1774	307
5,0	106	112	179	110	269	945	384	504	522	299	703	889	957	801	1195	131	1484	163	1812	147
м.м./сек.	cal.		cal.		cal.		cal.		cal.		cal.		cal.		cal.		cal.		cal.	
	275	616	415	692	570	348	749	520	953	100	120	1176	1455	624	1734	588	2064	204	2422	656

Примѣчаніе къ таблиц. 33 и 34-й.

Эти таблицы составлены для разности т-ръ теплой и охлажденной воды въ 30°, при другой же разности т-ръ цифры въ таблицахъ должны быть измѣнены пропорціонально отношенію новой разности къ 30. Такъ при разности въ 20° цифры таблицъ должны быть уменьшены въ  $\frac{2}{3}$ , и напр., послѣднее число для трубы въ 14 м.м. будетъ не 6780 cal. а 4520 cal. и т. д.

### Т А Б Л И Ц А 35.

Падение т-ры въ трубахъ водяного отопленія въ градусахъ С на 1 метръ длины.

а) Открытыя подводящія трубы передъ стѣной ( $85^{\circ} - 20^{\circ}$ ).

Количество доставляемаго тепла при разности т-ръ.			$d =$ 14 м.м.	20	25	34	39	43	49	65	79
20°	25°	30°									
800	1000	1200	1,219°	1,593°	2,015°	2,258°	2,563°	2,793°	3,165°	4,075°	4,775°
880	1100	1320	1,107	1,446	1,830	2,050	2,327	2,536	2,874	3,700	4,336
960	1200	1440	1,014	1,325	1,677	1,878	2,132	2,323	2,633	3,390	3,973
1040	1300	1560	0,938	1,226	1,549	1,738	1,972	2,150	2,436	3,134	3,674
1120	1400	1680	0,870	1,137	1,439	1,612	1,830	1,994	2,265	2,910	3,409
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 ч.			48,75	63,70	80,60	90,30	102,50	111,70	126,60	163,00	191,00

б) Трубы въ пазахъ стѣны, неизолированныя ( $85^{\circ} - 40^{\circ}$ ).

800	1000	1200	0,776°	1,013°	1,283°	1,405°	1,608°	1,744°	1,980°	2,550°	2,980°
1000	1250	1500	0,621	0,810	1,026	1,124	1,286	1,395	1,584	2,040	2,384
1200	1500	1800	0,519	0,679	0,857	0,939	1,074	1,165	1,323	1,703	1,991
1400	1750	2100	0,444	0,579	0,734	0,804	0,919	0,997	1,133	1,459	1,705
1600	2000	2400	0,388	0,506	0,641	0,703	0,804	0,872	0,990	1,275	1,490
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 ч.			31,05	40,50	51,30	56,20	64,30	69,75	79,20	102,00	119,20

в) Трубы на чердакѣ, изолированныя [ $85^{\circ} - (-10^{\circ})$ ].

800	1000	1200	0,713°	0,926°	1,188°	1,306°	1,496°	1,639°	1,853°	2,375°	2,775°
1000	1250	1500	0,570	0,741	0,950	1,045	1,197	1,311	1,482	1,900	2,220
1200	1500	1800	0,476	0,619	0,793	0,873	0,999	1,095	1,237	1,584	1,854
1400	1750	2100	0,408	0,530	0,679	0,747	0,856	0,937	1,060	1,359	1,587
1600	2000	2400	0,356	0,463	0,594	0,653	0,748	0,819	0,926	1,188	1,388
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 ч.			28,50	37,05	47,50	52,25	59,85	65,55	74,10	95,00	111,00

Т А Б Л И Ц А 35.

д) Отводные трубы (пепзолированные) въ пазухъ стѣны (55°—40°)

Количество доставляемаго тепла при разности т-ръ.			$d=$ 14 м.м.	20	25	34	39	43	49	65	79
20°	25°	30°									
800	1000	1200	0,248°	0,323°	0,409°	0,446°	0,510°	0,551°	0,626°	0,761°	0,893°
1000	1250	1500	0,198	0,258	0,327	0,357	0,408	0,441	0,501	0,609	0,714
1200	1500	1800	0,165	0,215	0,273	0,298	0,341	0,368	0,418	0,509	0,596
1400	1750	2100	0,142	0,184	0,234	0,255	0,292	0,315	0,358	0,435	0,511
1600	2000	2400	0,124	0,161	0,204	0,223	0,255	0,276	0,313	0,381	0,446
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 ч.			9,90	12,90	16,35	17,85	20,40	22,05	25,05	30,45	35,70

е) Отводные трубы пепзолиров. передъ стѣной (55°—20°).

800	1000	1200	0,578°	0,753°	0,955°	1,040°	1,190°	1,288°	1,463°	1,778°	2,083°
1000	1250	1500	0,462	0,602	0,764	0,832	0,952	1,030	1,170	1,422	1,666
1200	1500	1800	0,386	0,503	0,638	0,695	0,795	0,860	0,977	1,187	1,391
1400	1750	2100	0,330	0,430	0,546	0,595	0,681	0,736	0,837	1,017	1,191
1600	2000	2400	0,289	0,376	0,478	0,520	0,595	0,644	0,731	0,889	1,041
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 ч.			23,10	30,10	38,20	41,60	47,60	51,50	58,50	71,10	83,30

Т А Б Л И Ц А 36.

Падения т-ры въ трубахъ водяного отопленія въ градусахъ С на 1 метръ длины ( $d=57-169$  м.м.).

а) Открытыя подводныя трубы передъ стѣной ( $85^{\circ}-20^{\circ}$ ).

Количество доставляемаго тепла при разности т-ръ.			$d=$ 57 м.м.	70	82	94	106	119	131	143	156	169
20°	25°	30°										
4000	5000	6000	0,676°	0,815°	0,955°	1,040°	1,105°	1,231°	1,360°	1,475°	1,520°	1,545°
8000	10000	12000	0,338	0,408	0,478	0,520	0,553	0,616	0,680	0,738	0,760	0,773
12000	15000	18000	0,226	0,272	0,319	0,347	0,369	0,411	0,454	0,493	0,508	0,516
10000	20000	24000	0,169	0,204	0,239	0,260	0,276	0,308	0,340	0,369	0,380	0,386
20000	25000	30000	0,135	0,169	0,191	0,208	0,221	0,246	0,272	0,295	0,304	0,309
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 часъ			135,1	163,0	191,0	208,0	221,0	246,2	272,0	295,0	304,0	309,0

б) Изолированныя трубы, передъ стѣной ( $85^{\circ}-15^{\circ}$ ).

4000	5000	6000	0,291	0,350	0,410	0,448	0,476	0,532	0,585	0,634	0,655	0,665
8000	10000	12000	0,145	0,175	0,205	0,224	0,238	0,266	0,292	0,317	0,327	0,332
12000	15000	18000	0,097	0,117	0,137	0,150	0,159	0,178	0,195	0,212	0,219	0,224
16000	20000	24000	0,073	0,088	0,102	0,112	0,119	0,133	0,146	0,158	0,164	0,166
20000	25000	30000	0,058	0,070	0,082	0,090	0,095	0,106	0,117	0,127	0,131	0,133
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 часъ			58,1	70,0	81,9	89,6	92,2	106,4	116,9	126,7	130,9	133,0

в) Изолированныя трубы на чердакѣ [ $85-(-10^{\circ}\text{C})$ ].

4000	5000	6000	0,394°	0,475°	0,555°	0,608°	0,645°	0,721°	0,793°	0,860°	0,888°	0,903°
8000	10000	12000	0,197	0,238	0,278	0,304	0,323	0,361	0,397	0,430	0,444	0,452
12000	15000	18000	0,132	0,159	0,185	0,203	0,215	0,241	0,265	0,287	0,296	0,301
16000	20000	24000	0,099	0,119	0,139	0,152	0,161	0,180	0,198	0,215	0,222	0,226
20000	25000	30000	0,079	0,095	0,111	0,122	0,129	0,144	0,159	0,172	0,178	0,181
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 часъ			78,8	95,0	111,0	121,5	129,0	144,2	158,5	172,0	177,5	180,5

Т А Б Л И Ц А 36.

д) Отводная, изолированная трубы передъ стѣной (55°—15°).

Количество доставляемаго тепла при разности т-ръ.			d = 57 м.м.	70	82	94	106	119	131	143	156	169
20°	25°	30°										
4000	5000	6000	0,134°	0,162°	0,190°	0,206°	0,230°	0,256°	0,282°	0,306°	0,332°	0,358°
8000	10000	12000	0,067	0,081	0,095	0,103	0,115	0,128	0,141	0,153	0,166	0,179
12000	15000	18000	0,045	0,054	0,064	0,069	0,077	0,086	0,094	0,102	0,111	0,120
16000	20000	24000	0,034	0,041	0,048	0,052	0,058	0,064	0,071	0,077	0,083	0,090
20000	25000	30000	0,027	0,032	0,038	0,041	0,046	0,051	0,056	0,061	0,066	0,072
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 часъ.			26,8	32,4	38,0	41,2	46,0	51,2	56,4	61,2	66,4	71,6

е) Отводная, открытая трубы передъ стѣной (55°—20°).

4000	5000	6000	0,294°	0,355°	0,412°	0,448°	0,502°	0,558°	0,616°	0,669°	0,726°	0,782°
8000	10000	12000	0,147	0,178	0,206	0,224	0,251	0,279	0,308	0,334	0,363	0,391
12000	15000	18000	0,098	0,119	0,137	0,150	0,168	0,186	0,206	0,223	0,243	0,261
16000	20000	24000	0,074	0,089	0,103	0,112	0,126	0,140	0,154	0,167	0,182	0,196
20000	25000	30000	0,059	0,071	0,082	0,090	0,101	0,112	0,123	0,134	0,145	0,157
Потеря тепла сал. на 1 м. въ 1 часъ.			58,80	71,05	82,30	89,60	100,45	111,65	123,20	133,70	145,25	156,45

Примѣчаніе къ таблицамъ 35 и 36-ой.

Эти таблицы составлены для различныхъ случаевъ охлажденія, при чемъ на каждый случай взято 5 количествъ проводимаго по трубамъ тепла. Количества эти взяты совершенно произвольно и для всякаго другого количества можно пользоваться тѣми же цифрами пониженія температуры, измѣняя ихъ обратно пропорціонально количеству тепла. Такъ, напр., въ первой строчкѣ 35-ой табл. при 1200 сал., (разн. 30°) проводя-

ныхъ по трубамъ въ 79 м.м. пониженіе температуры на 1 метръ составляетъ  $4,775^{\circ}$ , если же при тѣхъ же условіяхъ черезъ ту трубу будетъ проведено 12·000 cal., то пониженіе температуры будетъ  $0,477^{\circ}$ . Если-бы, далѣе, проведено было не 1200 cal., а всего 600 cal., то, напр., въ трубѣ 25 м.м. пониженіе т-ры было-бы не  $2,015^{\circ}$ , а  $4,030^{\circ}$ ; въ трубѣ 14 м.м. не  $1,219^{\circ}$ , а  $2,438^{\circ}$  и т. д.

---



Таблица № 37-ая и 38-ая

**Проф. Ритшеля**

для приблизит. опредѣленія діаметровъ трубъ при паровомъ  
отопленіи низкаго давленія.





## ОГЛАВЛЕНИЕ.

ПАРАГР.	СТРАН.
35. Центральныя системы отопленія . . . . .	3
36. Система воздушнаго отопленія . . . . .	4
37. Металлическіе калориферы . . . . .	5
38. Калориферы большой теплоемкости . . . . .	8
39. Воздушная камера и капалы . . . . .	11
40. Разсчетъ воздушнаго отопленія . . . . .	13
41. Разсчетъ калорифера . . . . .	14
42. Разсчетъ жаровыхъ капаловъ . . . . .	16
44. Достоинства и недостатки системы воздушнаго отопленія . . . . .	21
45. Водяное отопленіе низкаго давленія . . . . .	22
46. Водогрѣйный котель . . . . .	23
47. Циркуляціонныя трубы . . . . .	24
48. Компенсаторы . . . . .	25
49. Нагрѣвательные приборы . . . . .	25
50. Опредѣленіе поверхности нагрѣвательныхъ приборовъ . . . . .	29
51. Воздушныя трубки . . . . .	32
52. Расширительный сосудъ . . . . .	32
53. Разсчетъ водянаго отопленія низк. давл. . . . .	33
54. Численный примѣръ разчета трубопровода . . . . .	42
55. Одноэтажная система водянаго отопленія . . . . .	49
56. Сопротивленіе въ нагрѣвательныхъ приборахъ . . . . .	52
57. Одноводная система водянаго отопленія . . . . .	54
58. Регулированіе сист. водянаго отопленія . . . . .	57
59. Водяное отопленіе съ повышенной циркуляціей . . . . .	64
60. Водяное отопленіе при помощи насоса . . . . .	68
61. Паровое отопленіе низкаго давленія . . . . .	74
62. Система разомкнутая . . . . .	78
63. Специальныя котлы, регуляторы тяги и давленія . . . . .	80
64. Нагрѣвательные приборы и вентили . . . . .	86
65. Разсчетъ системы пароваго отопленія . . . . .	88
66. Численный примѣръ . . . . .	93
67. Паровое отопленіе высокаго давленія . . . . .	97
68. Пароводяное отопленіе . . . . .	99
69. Отопленіе отработаннымъ паромъ . . . . .	103
70. Использование тепла отъ машинъ внутренняго сгоранія . . . . .	117
71. Сравненіе центральныхъ системъ отопленія между собою . . . . .	118