

Б. К. Правдзик.

Заслуженный профессор Института Гражданских Инженеров.

ТРУПОСОЖИГАНИЕ

(КРЕМАЦИЯ)

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА КРЕМАЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ И ОПИСАНИЕ
ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИБОРОВ.**

**ПЕТЕРБУРГ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
1921.**

Б. К. Правдзик.

Заслуженный профессор Института Гражданских Инженеров.

ТРУПОСОЖИГАНИЕ (КРЕМАЦИЯ)

МЕТОДЫ РАСЧЕТА КРЕМАЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ И ОПИСАНИЕ
ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИБОРОВ.



ПЕТЕРБУРГ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
1921.

Р. С. Ф. С. Р.

Постоянная Комиссия
по постройке Государ-
ственного Крематория
и Морга в Петрограде.

Отпечатано в 25 Государственной типографии.

1. Введение.

В 1892-м году мною была напечатана краткая брошюра под названием „Кремация“, в которой были описаны с технической точки зрения методы, применявшиеся в то время для сожигания трупов людей. Появление брошюры и сделанные мною доклады не привлекли внимания тогдашнего технического мира; общественное же мнение и духовенство было против применения кремации, как метода погребения, значение которого с санитарной точки зрения недостаточно оценивалось. Таким образом, единственными поборниками применения кремации были лишь немногие гигиенисты, но их голоса не могли преодолеть инерции застоя в этом вопросе.

В последние годы эпидемии холеры и тифа с усиленною смертностью вновь подняли вопрос о применении кремации и только в 1919 году Петроградский Совет Рабочих Депутатов впервые в России об'явил два конкурса: один — на составление проекта здания крематориума, а другой — на составление проекта кремационной печи. В результате конкурсов Комиссия по постройке Первого Государственного Крематориума в Петрограде под председательством Б. Г. Каплуна получила проект здания крематория и проект кремационной печи, осуществление которых при современных условиях потребовало бы продолжительное время. Между тем санитарные условия настоятельно требовали быстрого создания возможности производить трупосожигание. Практическим выходом из указанного затруднительного положения явилось решение Комиссии устроить временную кремационную печь в одном из зданий на Васильевском Острове. Эта печь устроена по проекту профессора В. Н. Липина, признанному конкурсной Комиссией наилучшим из трех проектов, представленных на конкурс. С 14-го декабря 1920 г. в ней впервые в России непрерывно производится сожигание трупов, поступающих из больниц, а равно добровольно пожелавших быть сожженными.

Принимая участие в числе других профессоров в Конкурсной Комиссии, а равно совместно с профессорами Института Гражданских Инженеров А. К. Павловским и С. В. Баниге в Комиссии, наблюдавшей за производством трупосожигания, я получил возможность практически близко подойти к вопросу о кремации с одной стороны, а с другой стороны накопившийся научный и практический материал в области процессов горения при высоких температурах дают возможность обосновать рациональный расчет кремационных печей.

Эти обстоятельства, в связи с значительным интересом, проявляемым различными городами Российской Республики к вопросу об устройстве кремационных печей, создали потребность в кратком техническом руководстве, из которого можно было бы почерпнуть данные о типах, применяемых в настоящее время кремационных печей и о способах определения их размеров. Настоящая книга является попыткой удовлетворить по мере возможности указанной потребности, которая в известной мере дает рамки для самого содержания книги.

Таким образом, в нижеизложенном я не буду касаться исторического хода распространения кремации, ее достоинств в гигиеническом отношении; равным образом, мною будут обойдены молчанием вопросы об оценке кремации с точки зрения: юридической, религиозной, эстетической, этической и народного хозяйства.

Своей задачей я ставлю: описание устройства наиболее рациональных типов современных кремационных печей и приборов, необходимых для их действия, с критической оценкою каждого типа, и выяснение методов расчета этих печей, с указанием необходимых для этого практических и научных данных.

Для сокращения объема книги и облегчения ориентировки в материалах в ней заключающихся, мною будут пропущены описания всех тех типов кремационных печей, которые имеют лишь историческое значение в развитии техники кремации; важно дать описание того, что является пригодным материалом для рационального проектирования новых печей.

II. Техника трупосожигания.

Народы глубокой древности применяли сожигание умерших, как метод погребения; в описаниях путешественников мы находим данные о применении сожигания у кочевых народов Азии. Всем известны также случаи массового сожигания в военное время. Техника этих сожиганий представляет первобытный костер, при массовых же сожиганиях убитых и умерших на полях сражения применялось добавление горючих веществ, как-то: гудрона, нефти, керосина и т. п.; лишь в конце девятнадцатого столетия появляются особые, так называемые кремационные печи, и выясняются некоторые технические условия, при которых должно быть производимо сожигание трупов.

С технической точки зрения кремация представляет собою процесс сожигания органической массы, состоящей из разнообразных частей, как по химическому составу, так и по строению, причем все части содержат значительное количество воды от 10% (в зубах) до 99% (в хрусталике глаза). Сожигание веществ, заключающих большое количество воды, представляет, как известно, технические затруднения, так как на испарение воды требуется затратить значительное количество тепла.

С точки зрения санитарной сожигание должно быть производимо таким образом, чтобы в атмосферу не могли поступать продукты неполного сожигания органических веществ и в том числе зловонные газы.

Наконец, эстетические соображения требуют, чтобы остатки, получающиеся от сожигания человеческого тела, состояли исключительно из минеральных веществ, не производящих по своему внешнему виду неприятных впечатлений, т. е. из золы и мелких частиц костей белого цвета.

Таким образом, процесс трупосожигания в начальном фазе требует затраты довольно значительного количества

тепла на испарение воды, а в последующем — условий, обеспечивающих полноту сжигания твердых и летучих элементов, содержащихся в трупe.

Современная техника трупосжигания достигает вышеуказанных результатов посредством сжигания трупа в предварительно нагретой до высокой температуры камере, в струе сильно нагретого атмосферного воздуха; при таких условиях за счет теплоты, выделяемой стенками камеры в начальном фазисе, происходит испарение воды и выделение газообразных элементов из трупа, которые, встречая струю атмосферного воздуха, сгорают, соединяясь с кислородом в нем заключающимся.

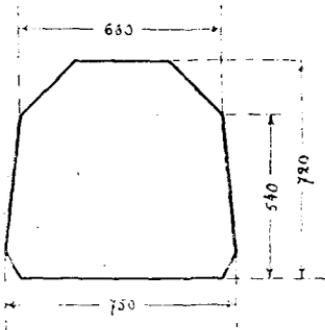
Следовательно, реакция окисления происходит в газообразном состоянии, что гарантирует наилучшие результаты при подаче достаточного количества кислорода и соответственной температуре. Наличие в сжигательной камере определенной высокой температуры является существенно важным, так как для сжигания (воспламенения) некоторых газообразных продуктов разложения человеческого тела требуется температура около 800° ; кроме того, высокая температура необходима для превращения костей в белые легко раздробляемые нажатием пальцев частицы. При низкой температуре (ниже 600°) кости лишь обугливаются и имеют или сплошь черный цвет, или же покрываются только снаружи сероватым слоем; при температуре свыше 1200° фосфорно-кислая известь состава костей сплавляется и остатки костей покрываются стекловидным слоем, препятствующим их раздроблению.

На основании сказанного мною можно наметить схему кремационной печи в следующем виде: камера для сжигания трупов, устройство для нагревания этой камеры и прибор для нагревания воздуха, подаваемого в камеру сжигания.

Камера сжигания трупов должна удовлетворять двум главным требованиям: иметь необходимые размеры и быть нагретою до необходимой температуры в продолжение всего процесса сжигания; размеры камеры сжигания зависят от наибольшего размера гроба, каковые могут быть приняты равными: длина 2250 мм., ширина 750 мм. и высота 720 мм., поперечные сечения гробов и их размеры в миллиметрах показаны на чертежах 1-м и 2-м:

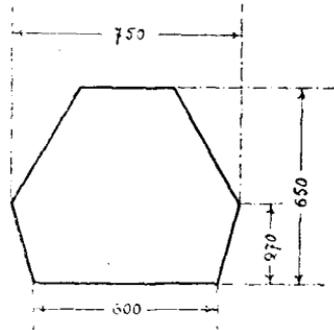
Чертеж 1.

Поперечный разрез.



Чертеж 2.

Поперечный разрез.



Соответственно размерам гроба камера сожигания должна иметь следующие минимальные размеры: длина 2500 мм., ширина 1000 мм. и высота 1000 мм., причем перекрытие камеры следует делать сводчатым.

Сожигание трупа без гроба происходит быстрее, нежели в гробу, но так как транспортирование трупов без гроба и манипуляции подачи в камеру сожигания являются более затруднительными, а для трупов, умерших от заразных болезней, недопустимыми по санитарным соображениям, а с другой стороны у трупа, подвергнутого действию сильно нагретого воздуха и лучистой теплоты, происходят сокращения мышц и сухожилий и обусловливаемое этим передвижение конечностей, открытие глаз и т. п. явления, производящие неприятное впечатление, то и с эстетической точки зрения является желательным сожигать труп вместе с гробом, скрывающим эти явления.

С точки зрения техники сожигания, гроб создает известные затруднения, а потому заграничная практика трупосожигания выработала некоторые требования, уменьшающие эти затруднения; главные из них следующие:

1) Деревянные гробы должны быть изготавливаемы из легких пород дерева: ели, тополя и т. п.

2) Металлические гвозди не допускаются: для сколачивания досок должны быть применяемы деревянные нагеля.

3) Толщина досок гроба не должна превышать 18 мм. для нижней части и 15 мм. для верхней.

4) Металлические ручки, проволока и другие железные части не допускаются.

5) Окраска (масляная) и лакировка гроба должны быть заменяемы протравой.

6) Под труп не должны быть подкладываемы вещества, препятствующие прониканию тепла, как-то: подушки всякого рода, уголь, зола, солома и т. п.; допускаются лишь древесные стружки (древесная шерсть).

7) Одежда трупа должна быть возможно легкая.

8) Металлические гробы допускаются лишь из цинка, толщиной не более 1 мм., причем никакие другие металлы, хотя бы в виде легких украшений, не допускаются.

Цинк, при температуре около 900 гр., превращается в пары.

Температура камеры сожигания имеет существенное значение на ход процесса сожигания и на его результаты: чем выше температура, тем энергичнее идут процессы сожигания; кроме того, высокая температура в камере сожигания является, в связи с достаточным притоком воздуха, гарантией полноты сожигания. Но, рассматривая процесс сожигания трупа, как практический метод наилучшего с санитарной точки зрения захоронения умерших, следует обращать внимание и на экономическую сторону дела, т. е. на расход топлива; в экономическом отношении, чем ниже температура камеры сожигания, тем меньше расход топлива.

Таким образом, в отношении температуры камеры сожигания следует установить такой минимум, при котором процесс сожигания получался бы полным, при наименьшем расходе топлива.

Для полноты сожигания трупа необходимо, чтобы оно происходило при такой температуре, при которой сгорают самые стойкие газообразные и твердые составные части трупа; к первым следует отнести аммиак, воспламеняющийся при температуре 700 — 860 гр. По отношению других частей человеческого тела наблюдения показали, что наиболее медленно сгорают некоторые внутренние органы, как-то: легкие, сердце, печень, почки, селезенка, мозг и кости; медленность сожигания внутренних органов обуславливается не огнестойкостью.

их составляющей материи, а значительным содержанием в них воды (легкие — 79^{0/0}, печень — 74⁰, почки — 81⁰, селезенка — 80⁰ и мозг — 81^{0/0}) и их строением; при таких условиях для сжигания этих органов необходимо сначала выпарить из них воду, для чего требуется известное время, тем более, что эти органы сокрыты внутри трупа и непосредственное воздействие на них тепла и нагретого воздуха начинается лишь после сгорания покрывающих их мягких частей тела. Кости, в главной массе, состоят из фосфорно-известковой соли и азотистого органического вещества — оссеина, дающего клей; при обжигании оссеин сгорает и остается масса, содержащая 90⁰ фосфорно-известковой соли $Ca_3(PO_4)_2$ и небольшого количества углекислой извести. Для сгорания костей и превращения их в легко раздробляющийся белый остаток, необходимо сжечь оссеин, для чего нужна такая же температура, как и для других составных частей тела, но так как оссеин находится во внутренних ячейках костного вещества, то необходимо некоторое время для нагрева костей и их внутренних полостей до необходимой для сгорания оссеина температуры.

Наблюдения показывают, что сгорание трупа одинаково по продолжительности при температуре камеры сжигания в 860 гр. и в 1000°; кроме того, известно, что при температуре свыше 1200° начинается плавление фосфорно-кислой извести и кости покрываются с поверхности стекловидным слоем, препятствующим их раздроблению.

На основании изложенных соображений следует признать, что минимальная температура камеры сжигания должна быть около 900°; при этой температуре безусловно будет обеспечена полнота сгорания всех частей тела и получения остатков, вполне удовлетворяющих санитарным и эстетическим требованиям.

По отношению продолжительности сжигания следует указать, что, по имеющимся литературным данным, таковая составляет не менее 1½ часа, причем по некоторым данным можно предположить, что при такой продолжительности происходит еще в последующем догорание некоторых частиц в местах собирания остатков; в некоторых-же случаях имеются указания, что продолжительность сжигания равнялась 2-м и 2½ часам.

По моим наблюдениям для индивидуальных сожиганий требуется не менее $1\frac{3}{4}$ — 2 часов времени, для коллективных же, когда нет нужды выделять остатки каждого трупа особо, эта продолжительность может быть понижена до 1 часа.

Для предварительного и последующих нагреваний камеры сожигания могли быть применены обыкновенные топливники, но, как известно, успешное сожигание твердого и жидкого топлива требует значительного притока кислорода, а так как таковой вводится вместе с азотом, в виде воздуха, то чрез топливник проходит много бесполезного для горения газа (азота), который понижает значительно температуру горения (до 800° — 700°), а следовательно и ту температуру, до которой может быть нагрета камера сожигания продуктами горения топлива в топливнике.

Между тем выше было указано, что температура камеры сожигания должна быть около 900° , следовательно обыкновенным методом сожигания твердого и жидкого топлива нельзя достигнуть этой температуры, а потому при устройстве кремационных печей применяют для нагревания камеры сожигания, так называемый генераторный газ, который получается в специально устраиваемых при кремационной печи генераторах, в которых перерабатывается в газ твердое топливо, как-то: дрова, торф, бурый уголь, каменный уголь, кокс, древесный уголь и всякие прочие отбросы.

Генераторный газ может быть практически сожигаем с значительно меньшим притоком воздуха, а потому и температура его горения может быть доведена до 1200° , а следовательно, сожигая этот газ в самой камере сожигания трупов, мы можем легко достигнуть желаемой степени ее нагрева.

Устройство генераторов и их расчет будет рассмотрен ниже.

Выше было указано, что для полного сгорания трупа в накалившую камеру сожигания должен быть вводим нагретый воздух в достаточном количестве и чем сильнее будет нагрет воздух, тем выше будет температура горения трупа, а следовательно тем более будет гарантирована полнота этого горения. Для нагревания воздуха, вводимого в камеру сожигания, при кремационных печах устраиваются особые калориферы двух систем: в первой — горячие продукты горения трупа и газа движутся по каналам или трубам, с наружной

стороны которых движется в противоположном направлении атмосферный воздух, вводимый в камеру сожигания. Этой системы калориферы носят название рекуператоров; они являются непрерывно действующими приборами и высшая температура нагрева в них воздуха зависит, как от температуры продуктов горения, так и от материала и толщины стенок труб или каналов, чрез которые происходит передача тепла от продуктов горения к воздуху.

Во второй системе — продукты горения, выйдя из камеры сожигания, поступают в особую камеру, заполненную огнеупорным кирпичем, уложенным на ребро в клетку с промежутками, достаточными для прохода продуктов горения; это заполнение носит название насадки. Продукты горения, проходя насадку сверху вниз, накаливают ее и, таким образом, насадка аккумулирует теплоту; если в дальнейшем направить продукты горения в другую камеру с насадкою, а чрез первую пропускать атмосферный воздух, то последний, соприкасаясь с накаленною поверхностью кирпичей насадки, нагреется до высокой температуры. Такого устройства нагреватели воздуха носят название регенераторов и являются приборами переменного действия, а потому для непрерывного действия печи их должно быть два.

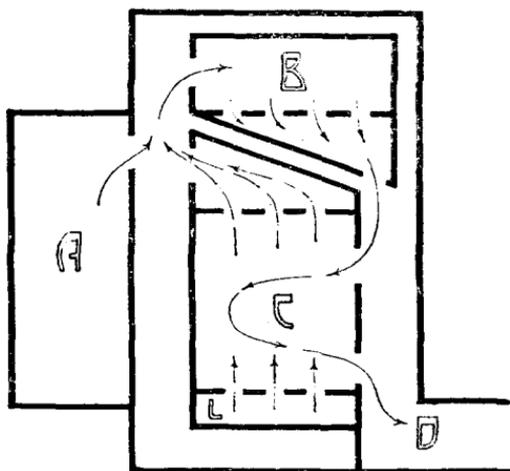
Из сравнения конструкций регенераторов и рекуператоров ясно, что, при одной и той же температуре продуктов горения чрез них проходящих, температура нагрева воздуха будет выше в регенераторах, нежели в рекуператорах, но работа рекуператоров, как непрерывная, не требует особого ухода; в регенераторах-же требуется периодическая перестановка клапанов для переменного направления продуктов горения, то в один, то в другой регенератор.

На основании всего сказанного кремационную печь с рекуператором можно представить в виде схемы, изображенной на чертеже 3-м, на котором изображены следующие ее части:

- A* — генератор,
- B* — камера сожигания трупа,
- C* — рекуператор,
- D* — дымоход,
- L* — приток атмосферного воздуха.

Чертеж 3.

Схема разреза.



При первоначальном нагревании камеры сгорания в нее из генератора А поступает горючий газ, а из рекуператора В сильно нагретый воздух, происходит сгорание газа при высоком пирометрическом эффекте (жаропроизводительной способности), что дает в результате высокую температуру нагрева камеры; продукты же горения газа поступают в рекуператор Г, где отдают значительную часть своего тепла воздуху, поступающему через канал Д; а затем продукты горения выходят по дымоходу Д в дымовую трубу и в атмосферу. На схеме движение газов и движение воздуха показано соответствующими стрелками.

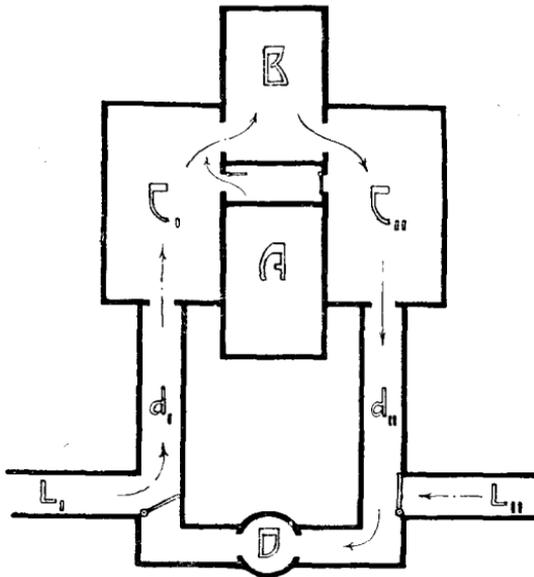
Когда в камеру сгорания вводится труп, тогда приток в нее газа прекращается, который в этот период направляется непосредственно в рекуператор, где встречается с продуктами горения трупа, содержащими излишек воздуха, вследствие чего происходит возгорание газа и попутно вторичное сжигание продуктов горения, выходящих из камеры.

Кремационная печь с регенераторами представлена в схеме на плане чертежа № 4, в ней:

- A — генератор,
- B — камера сожигания трупа,
- C_1 и C_2 — регенераторы,
- D — дымовая труба,
- d_1 и d_2 — дымоходы,
- L_1 и L_2 — каналы для притока воздуха.

Чертеж 4.

Схема плана.

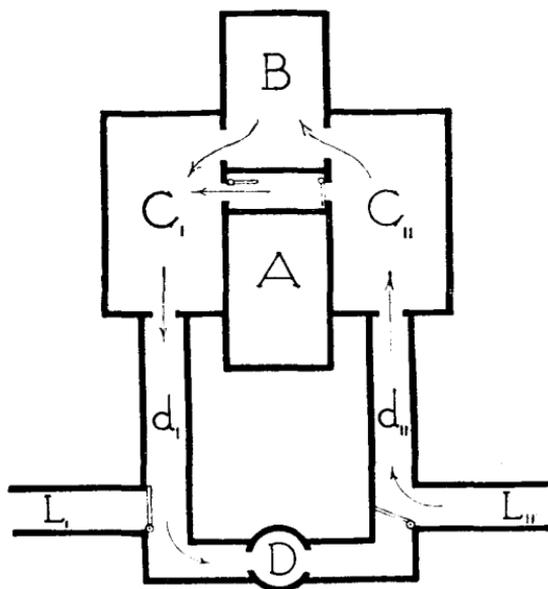


Для предварительного разогревания такой печи зажигают топливо непосредственно в камере сожигания, затем приводят в действие генератор A и газ из него направляют в камеру сожигания B , пропуская туда же чрез регенератор C_1 воздух, продукты же горения выходят чрез регенератор C_2 , нагревая его; в дальнейшем переставляют клапаны так, что воздух поступает чрез регенератор C_2 , а продукты горения вы-

ходят в дымовую трубу через регенератор C_1 и тоже нагревают его. Когда, путем повторения вышеуказанных манипуляций, камера сжигания и регенераторы будут нагреты до необходимой температуры, тогда прекращают приток газа в камеру сжигания B , вводят в нее труп и пропускают через регенератор C_1 воздух, который нагревается в нем до высокой температуры и, входя в камеру B , служит для сжигания трупа. В то же время газ из генератора A пропускают в регенератор C_2 , где он встречает продукты горения трупа, выходящие из камеры B , содержащие избыток нагретого воздуха, смешиваясь с которыми, загорается, и при высокой температуре проходит через регенератор C_2 , нагревая его насадку и затем уходит в дымовую трубу. Путем перестановки клапанов заменяют регенератор, нагревающий воздух, другим, и таким образом можно вести процесс сжигания, теоретически говоря, непрерывно.

Чертеж 5.

Схема плана.

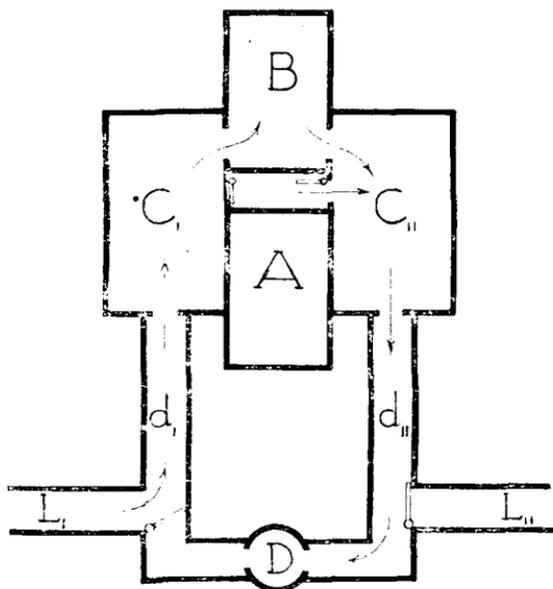


На чертеже 5-м и 6-м показаны стрелками направления движения воздуха и газа из генератора A во время сжигания.

ния трупа, причем при положении, изображенном на чертеже 5-м, работает, т. е. нагревает воздух, регенератор C_1 , а регенератор C_2 — сам нагревается: при положении клапанов, показанном на чертеже 6-м, работает регенератор C_2 , а C_1 — нагревается.

Чертеж 6.

Схема плана.



Соответственно разделению приборов, служащих для нагревания воздуха, и кремационные печи могут быть разделены на две группы: к первой относятся печи с рекуператорами, а к второй печи с регенераторами. Кроме того, кремационные печи различаются по способам устройства сожигательных камер, рекуператоров и генераторов, но так как такая детальная классификация особого значения не имеет, то в дальнейшем будут описаны наиболее характерные кремационные печи с рекуператорами и регенераторами.

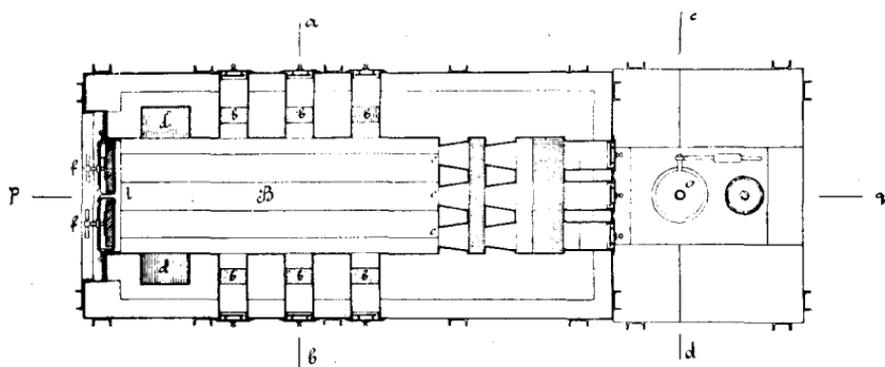
Сравнительная характеристика печей той и другой группы будет сделана после ознакомления с их конструкцией.

III. Конструкция кремационных печей.

Кремационная печь *Toissoul* и *Fradet*, устроенная в Париже на кладбище *Père Lachaise*, хотя и не представляет собою совершенного типа кремационной печи с точки зрения современных требований, но конструкция отдельных частей ее поучительна.

Эта печь состоит из генератора *A*, камеры сжигания *B* (чертежи 7, 8, 9 и 10) и рекуператора *C*; общая конструкция

Чертеж 7.



печи представляется компактной и в круглых цифрах печь занимает площадь в 5.000×2.000 кв. метров при максимальной высоте в 7.500 метров. Генератор *A* (черт. 9 и 10) представляет топливник с наклонной ступенчатой решеткою *n* и наклонною заднюю стенкою *m*, под поддувала покрыт железным листом, на который во время действия генератора из водопроводной трубки *v* (чертеж 10) капает вода, испаряющаяся затем и поступающая вместе с воздухом к топливнику. Водяные пары, как будет объяснено ниже, обогащают генераторный газ в отношении теплопроизводительной его

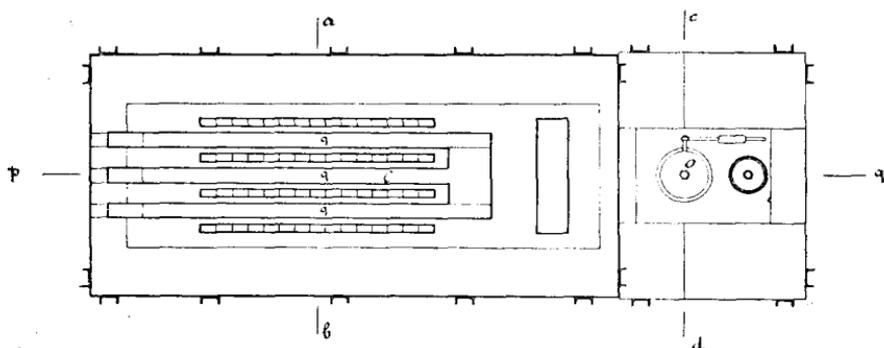
способности. Поддувало F закрывается клапаном с верхней осью вращения (чертеж 10), снабженным зубчатой дугой, посредством которой можно задерживать его в необходимой степени открытия, что дает возможность регулировать приток воздуха к топливу.

Генератор имеет наполнительную шахту A , снабженную в верхней части отверстием T и загрузочной коробкой C с клапаном, удерживаемым в закрытом положении грузом; для добавки топлива, не открывая клапана, заполняют топливом загрузочную коробку, закрывают ее крышкой и лишь после этого открывают клапан; таким образом генератор наполняется топливом, без допущения в него излишнего количества воздуха, сверху.

Для шуровки топлива устроено отверстие i (чертеж 10); внутри генератор облицован огнеупорным кирпичем.

Образовавшийся в генераторе газ выходит из него по каналу N , отделенному от шахты A висячею стенкою K .

Чертеж 8.



Камера сжигания имеет длину 2150 мм., ширину 750 мм. и высоту 900 мм.; она облицована внутри огнеупорным кирпичем; приемное отверстие ее закрывается двухстворною чугуною дверцею, футерованною огнеупорными плитами, удерживаемыми нажимными винтами; в задней стенке устроены в два ряда по высоте 6 отверстий e (чертежи 7 и 10), сообщающихся с каналом N , подающим газ из генератора, и с каналом C незначительного сечения, подающим нагретый воз-

дух из рекуператора; кроме того, в боковых стенках камеры B имеется по 3 отверстия b_1 , чрез которые из рекуператора по каналам b подается нагретый воздух.

Продукты горения из камеры B поступают по двум каналам d и d_1 в рекуператор C .

Под камеры сжигания B снабжен тремя продольными шанцами для поддержания железного противня, на котором устанавливается гроб, промежутки же между ними предназначаются для прохода подхватов тележки, на которых противень с гробом вводится в камеру сожигания; после ввода противня подхваты опускаются, противень ложится на шанцы, а тележка с подхватами отодвигается и дверца камеры B закрывается.

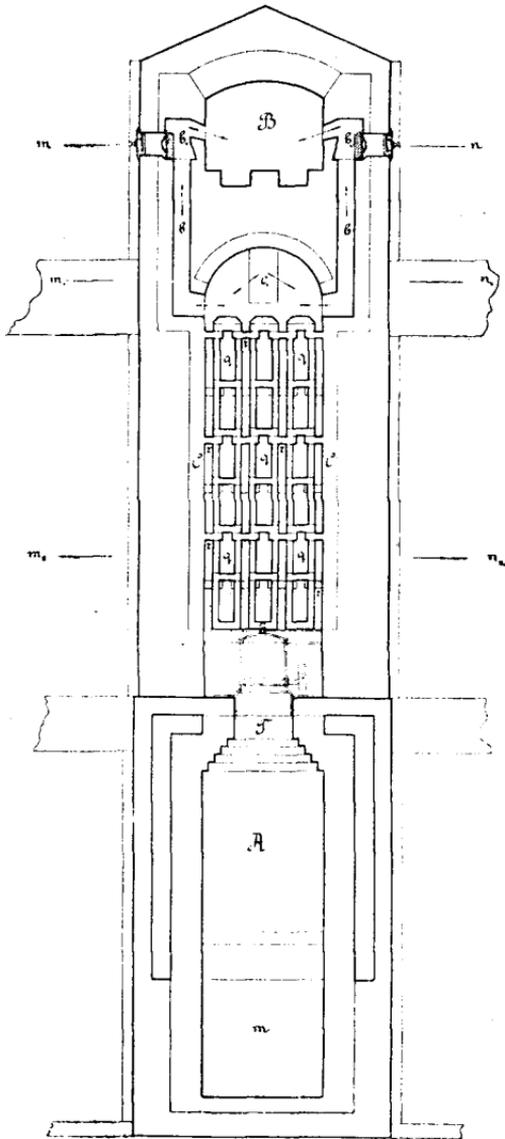
Рекуператор C состоит из трёх вертикальных рядов горизонтальных дымооборотов g , в промежутках r , между которыми циркулирует воздух; стенки и перекрытия дымооборотов устроены из тонких огнеупорных плиток, причем местами стенки соседних рядов связаны между собою сквозными тычками, чем увеличивается устойчивость отдельных рядов оборотов.

Весь рекуператор основан на двутавровых балках, по которым высланы огнеупорные плиты с промежутками для прохода воздуха: ограждающие рекуператор стенки сделаны двойными: внутренняя—из огнеупорного кирпича, а наружная—из обыкновенного кирпича; в передней стенке рекуператора устроены дверцы z для очистки оборотов, последние обороты сообщаются с горизонтальным каналом t , отводящим продукты горения в дымовую трубу.

Нагревание сжигательной камеры B производится посредством впуска горючего газа из генератора A по каналу N через отверстия C ; газ, входя в камеру, предварительно нагретую сжиганием в ней топлива непосредственно, и встречаясь с воздухом, входящим через отверстия b_1 , загорается, нагревает камеру и выходит чрез отверстия d в рекуператор. Циркулируя по оборотам рекуператора, продукты горения нагревают воздух, поступающий через отверстие p , снабженное регулирующим клапаном, идущий затем в камеру сожигания.

Когда камера сожигания и рекуператор достаточно нагреты, тогда закрывают канал N клапаном J , прекращая

Чертеж 9.



приток газа в камеру сжигания, и вводят гроб с трупом, который под действием лучистой теплоты стенок камеры выделяет газообразные составные части, сгорающие в струе горячего воздуха, а затем вспыхивает сам. На время сжигания действие генератора ослабляется, выделяющийся-же газ направляется по каналу непосредственно в дымовую трубу.

По литературным данным предварительное нагревание печи продолжается около 6-ти часов, для подогревания-же перед каждым сжиганием достаточно около $1\frac{1}{2}$ часа, продолжительность сжигания около $1\frac{1}{2}$ час., но при недостаточности запаса тепла в массе камеры сжигания, таковое может значительно затянуться и даже совершенно остановиться. В этом случае прибегают к дополнительному впуску газа в камеру сжигания и процесс сжигания происходит в струе не горячего воздуха, а горящего генераторного газа, что с точки зрения гарантированности полноты сжигания является существенным дефектом.

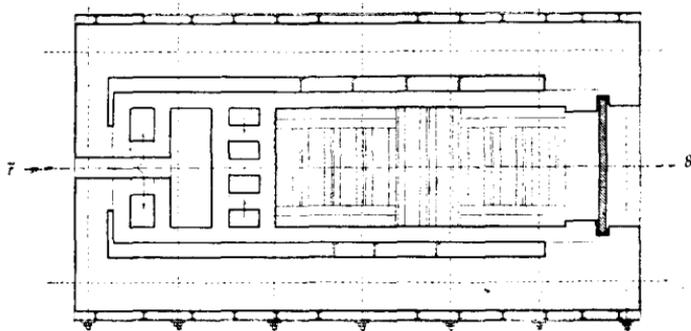
Наиболее существенными недостатками кремационной печи Toisoil и Fradet является отсутствие возможности использовать генераторный газ для нагревания рекуператора во время трупосжигания, необходимость выпуска горячего газа непосредственно в дымовую трубу и недостатки в устройстве рекуператора, а именно: горизонтальное направление дымооборотов, при котором невозможно получить равномерную циркуляцию по ним и невозможность интенсивного нагревания воздуха до высокой температуры, обуславливаемая сравнительно незначительною теплопроводностью огнеупорного кирпича и значительною толщиной стенок дымооборотов.

Кремационная печь Klingenstierna, показанная на чертежах 11, 12, 13 и 14, представляет один из наиболее выработанных типов кремационных печей с рекуператорами; этой системы печи действуют в Майнце, Ульме, Гейльбронне и Штуттгардте, в некоторых сочинениях их называют печами Klingenstierna-Beck, присоединяя фамилию строителя этих печей в Германии, внесшего некоторые улучшения в первоначальный тип.

Кремационная печь системы Klingenstierna состоит из генератора *A*, сжигательной камеры *B* и рекуператора *C*

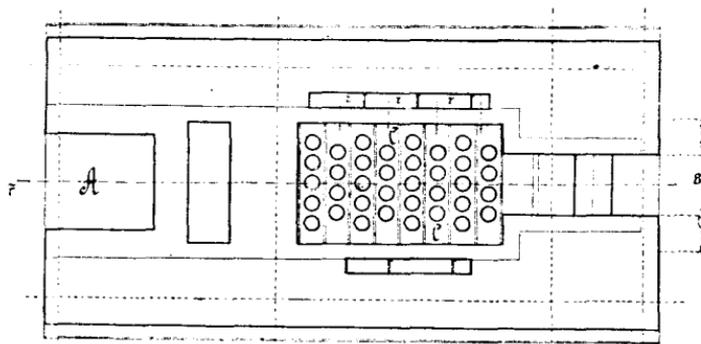
Чертеж 11.

План по 3—4.



Чертеж 12.

План по 5—6.

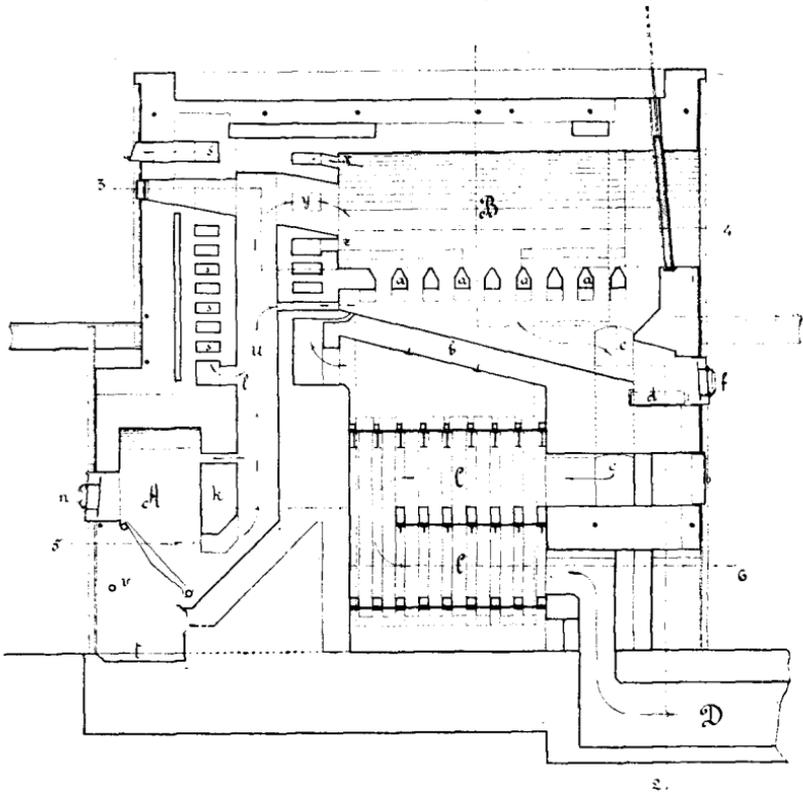


(черт. 13); площадь, занимаемая печью, составляет $4,50 \times 2,40$ кв. метра при высоте 4,50 метров.

Генератор А представляет собою топливник с наклонною колосниковою решеткою *м*, конструированный по типу топливников с опрокинутым пламенем, с висячим порогом *к*, засыпка топлива (кокс) производится через боковую дверцу *н*, зольник имеет углубление *т*, в которое из трубки *г* (черт. 13) капает вода, испаряющаяся от тепла, выделяемого золою и шлаками и поступающая затем в виде водяных паров вместе с воздухом в генератор. Водяные пары служат для увеличе-

Чертеж 13.

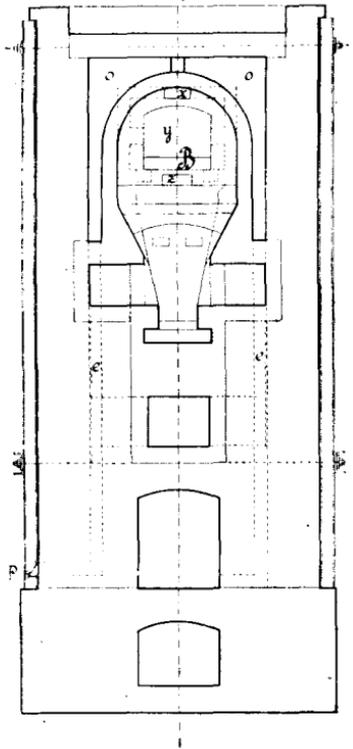
Разрез по 7—8



ния теплопроизводительной способности газа, получающегося из генератора. Из генератора газ поступает по каналу *u* (черт. 13) в сожигательную камеру, смешиваясь по пути с нагретым воздухом, выходящим чрез отверстие *l*: нагрев воздуха происходит во время его циркуляции в горизонтальных оборотах *S, S'* за счет тепла, теряемого стенками канала *u*. В дальнейшем при входе в сожигательную камеру чрез отверстия *x, y* и *z* (черт. 13) поступает из рекуператора *C* необходимый для полного сожигания генераторного газа объем сильно нагретого воздуха и таким образом получается предварительное нагревание камеры сожигания.

Чертеж 14.

Разрез по 1—2.



Камера сожигания *B* (черт. 13 и 14) имеет размеры: длина 2250 мм., ширина 900 мм. и высота 875 мм. в шельге свода, камера перекрыта цилиндрическим сводом; под камеры представляет ряд перемычек *a* из огнеупорного кирпича с обтесанными наклонно щелевыми плоскостями, толщина перемычек 115 мм. (пол кирпича—огнеупорного), промежутки между ними имеют ширину также в 115 мм.; таким образом гроб устанавливается на решетчатом поду и остатки трупa, сгоревшие вполне, а равно не догоревшие, проваливаясь чрез просветы пода, попадают на наклонный сплошной под *b*, на котором догорают, а затем сгребаются в железный ящик *d*, вынимаемый через дверцу *f*. Продукты горения из камеры *B*

поступают чрез два канала c в рекуператор C , где делают два оборота и выходят по каналу D в дымовую трубу.

Рекуператор C (черт. 13 и 12) состоит из 8 рядов чугунных труб (всего 36 труб), укрепленных на двутавровых балках, покрытых металлическими листами и огнеупорными плитками. Воздух забирается чрез отверстие p , циркулирует по каналам e , обходит камеру сжигания по пространству o между внутренними и наружными стенками и затем чрез распределительную камеру r поступает в трубы рекуператора. Выходя из рекуператора, воздух должен быть нагретым до температуры камеры сжигания, в которую он поступает по горизонтальным оборотам, устроенным в задней стенке камеры сжигания. и выходит чрез отверстия x , y и z (черт. 13).

В общем описанную конструкцию кремационной печи Klingenstierpla следует признать удачною, неудовлетворительным является лишь пропускание воздуха, идущего в рекуператор вокруг камеры сжигания, чем таковая охлаждается во время процесса сжигания.

Пробное сжигание произведенное в кремационной печи описанной системы в г. Майнце протекало следующим образом:

В 8 часов был зажжен генератор, загрузка топлива равнялась 100 килограммам кокса, причем было открыто только поддувало генератора.

В 9 час. 30 мин. был произведен анализ газа, который содержал 11% углекислоты (CO_2), 9% окиси углерода (CO) и 0,5% кислорода (O). В 10 час. 50 мин. было открыто на 30 мм. отверстие для притока воздуха, вследствие чего увеличилась полнота сгорания, выразившаяся поднятием содержания CO_2 до 16,2%; температура в камере сжигания составляла $590^\circ C$. Затем приточное отверстие для воздуха было открыто на 60 мм. и в дальнейшем увеличено до 100 мм. причем анализ газов дал: 18,5%— CO_2 и 2,5% избыточного кислорода, температура поднялась до $600^\circ C$.

В 11 час. 35 мин., т. е. после 3½-часового нагревания в камере сжигания был введен деревянный ящик с частью туши лошади, весом 80 килограмм (около 5-ти пудов), отверстие для притока воздуха было увеличено до 150 мм., темпе-

ратура поднялась до 820° , содержание углекислоты (CO_2) составляло 17%, избыточного кислорода 4%.

В 12 час. 40 мин. анализ газов дал: 10%— CO_2 и 11% избыточного кислорода.

В 1 час 20 мин., т. е. чрез $1\frac{3}{4}$ часа после введения туши, сжигание было окончено, а в 2 часа 40 мин., т. е. чрез 3 часа, все отверстия печи были закрыты для уменьшения ее остывания.

Другое описание трупосжигания в кремационной печи системы Klingensteinpa в г. Гейдельберге дает следующие данные:

В 10 час. 30 мин. начата топка генератора, воздух для сжигания газа поступает чрез дверцу (f), служащую для извлечения золы; в 11 час. вся масса кокса в генераторе накалена, приток воздуха в рекуператор открыт на одну четверть.

В 12 час. 35 м. труп в цинковом гробе введен в сжигательную камеру, цинк тотчас-же плавится и стекает вниз на сплошной под к дверце, где охлаждается и после окончания сжигания вынимается; в 12 час. 45 мин. весь труп видим; кожа на черепе уже сгорела, мозг представляет черную обугленную массу: все тело покрыто мясом, а правая рука сохранила мускулы и кожу.

В 12 час. 55 мин. весь череп обнажен, мясо и мускулы представляют черную обугленную массу, весь скелет является видимым; подушка из древесной шерсти, подложенная под голову, сгорела вполне, покрывало трупа лежит на скелете. В 1 час 18 мин. череп разваливается на части, скелет частью стал белым, внутренние органы представляются в виде черносерой губчатой массы. В 2 часа 15 мин. легкие и часть печени сгорели и все кости скелета стали белыми; в 2 ч. 30 мин. горение прекратилось, а в 2 часа 55 мин. тележка с остатками извлечена из печи, причем остатки представляют белые осколки костей. Таким образом сжигание продолжалось 2 часа 10 мин.

Продолжительность опытного сжигания человеческого трупа в кремационной печи г. Майнца определилась, не считая $3\frac{1}{2}$ -часового разогревания, в $2\frac{1}{4}$ часа для первого трупа, $1\frac{1}{2}$ часа для второго и 1 час для третьего, причем темпе-

ратура в сожигательной камере поднялась до 1000°, а температура продуктов горения при выходе в дымовую трубу составляла 820°.

На основании приведенных описаний кремационных печей с рекуператорами можно сделать следующую общую их характеристику: кремационные печи с рекуператорами представляют сооружения небольшого сравнительно объема (50—70 куб. метров), занимают площадь от 10 до 12 квадрат. метров и соответственно их объему количество материалов и работы, необходимых для их сооружения, представляется умеренным. Приводятся в действие кремационные печи этой группы сравнительно легко и потребное для этого время не превышает 4—5 часов; процесс сожигания трупа не требует особых сложных и ответственных манипуляций и продолжается от 1½ до 2 часов в среднем. Таким образом в отношении затрат на первоначальное устройство и управление во время действия кремационные печи с рекуператорами представляются сооружениями вполне доступными и не требующими значительного числа людей для их обслуживания.

В отношении хода самого процесса трупосожигания в этих печах следует считать установленным возможность полного сожигания трупа без загрязнения атмосферы газообразными продуктами его разложения, так как необходимая для их сожигания температура горения (900°) легко может быть получена в камере сожигания кремационных печей с рекуператорами.

Внутренние поверхности кремационных печей с рекуператорами должны быть облицованы огнеупорным кирпичем высшего качества, лучше всего применять для этой цели английский шамотовый кирпич; применение диңасовых кирпичей, хотя и выдерживающих более высокую температуру, не следует рекомендовать, так как прочность их значительно ниже и при нагревании они дают значительное увеличение их объема, влекущее за собою деформацию печи. В остальном при устройстве кремационных печей должны быть соблюдены правила, предписываемые для устройства сооружений, в которых развивается во время действия высокая температура.

Кремационные печи с регенераторами.

Общая схема печей с регенераторами была объяснена выше (гл. II), первым примером печей этой системы была печь системы Ф. Сименса, устроенная в 1878 году в Готе, а затем подобная-же печь, но лишь несколько усовершенствованная, была построена в Дрездене.

Наиболее разработанным образцом cremaционных печей с регенераторами, существующих в настоящее время, следует признать опытную cremaционную печь, построенную по проекту профессора В. Н. Липина в Петрограде (В. О. 14 линия) распоряжением Комиссии по постройке Первого Государственного Крематориума.

Регенеративная cremaционная печь профессора В. Н. Липина (черт 15, 16, 17, 18, 19 и 20) состоит из следующих частей:

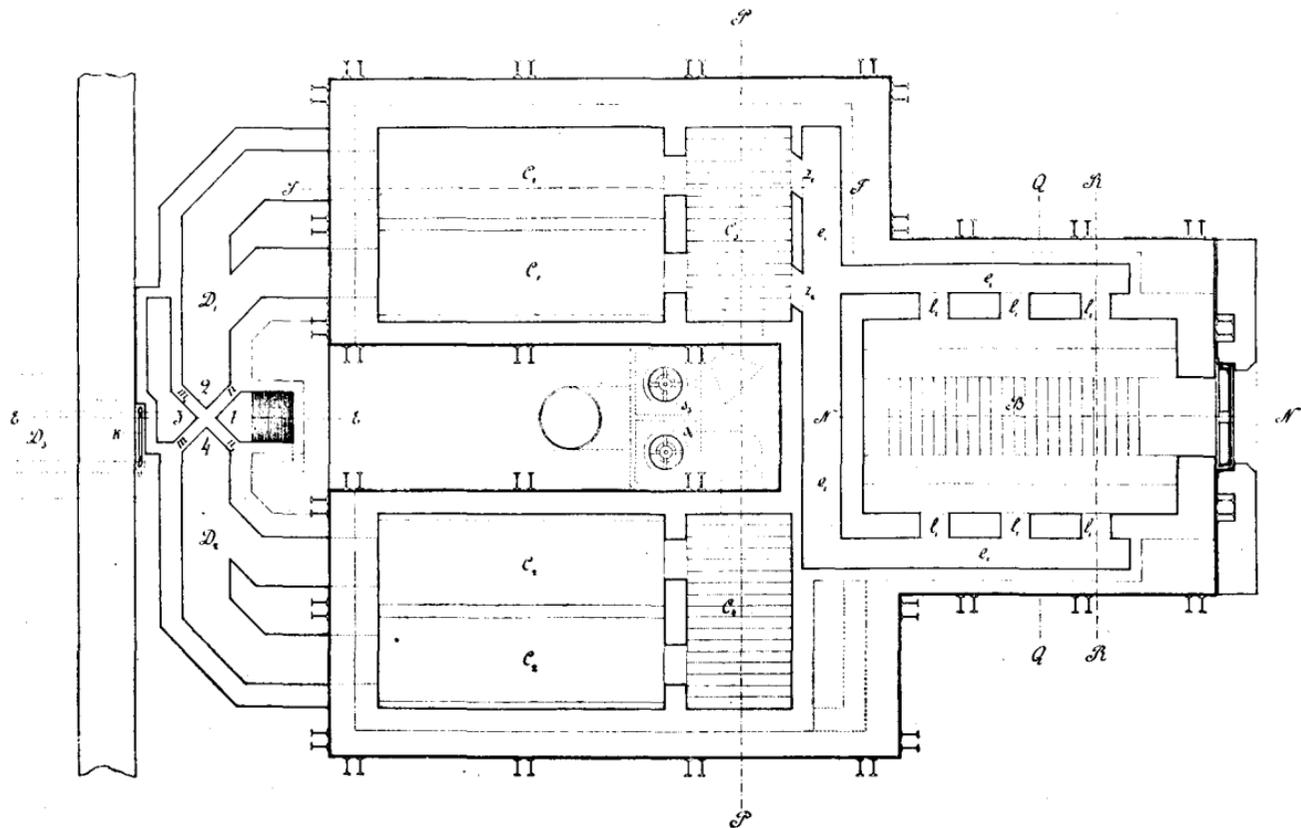
а) Генератора A (черт. 20), помещенного отдельно в особом помещении (черт. 15 и 16) рядом с помещением, занимаемым печью;

б) Регенераторов C_1 и C_2 (черт. 15 и 16), соединенных с одной стороны посредством каналов D_1 и D_2 с дымовым бором D_3 , снабженным шибером K , а с другой стороны, могущих при посредстве клапанам K_1 с колоколом соединяться попеременно с каналом подводящим воздух. Схема устройства клапана K_1 следующая: (черт. 15 и 16) каналы D_1 , D_2 и D_3 в месте их пересечения разделены двумя перпендикулярными стенками m и $m_1 n_1$, образующими четыре угла 1, 2, 3 и 4, над которыми установлен колокол, имеющий внутри чугунную перегородку K_2 . Если колокол повернуть так, что перегородка K_2 станет на стенку $m_1 n_1$, то регенератор C_1 будет соединен с дымоходом D_3 , а регенератор C_2 с углом 3, к которому подведен воздух.

При установке клапана так, что перегородка K_2 станет на стенку m , с дымоходом будет соединен регенератор C_2 , а с воздухоприводом регенератор C_1 . Колокол снабжен гидравлическим застоем, препятствующим, прониканию газов в помещение.

с) Камеры сожигания трупов B и двух камер C_3 и C_4 , служащих для впуска газа в регенераторы и дополнительного сожигания продуктов горения, выходящих из камеры B .

Чертеж 15.
План по КК—НН—ИИ.



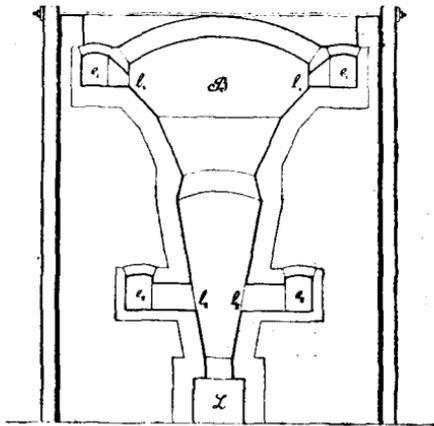
Генератор A (черт. 20) предназначен для выработки воздушного генераторного газа из дровяного топлива; он представляет шахту прямоугольного сечения, высоту, считая от колосников до свода, 5100 мм., снабженную сверху загрузочной коробкой d и железную трубою k ; чрез которую, в случае надобности, можно выпускать генераторный газ в атмосферу. При нормальной работе генератора, образующийся в нем газ чрез отверстие m поступает в вертикальную железную трубу n с гидравликом внизу, в котором собираются конденсирующиеся смолы и вода; верхний конец трубы снабжен тарелочным клапаном p , насаженным на винтовом шпинделе с песчаным затвором. Труба n входит в цилиндрический резервуар r , из которого газ по трубе f поступает к кремационной печи. Колосниковая решетка t составлена из железных брусков, уложенных по тавровым балочкам; загрузка топлива должна производиться горизонтальными рядами.

Регенераторы C_1 и C_2 (черт. 15 и 16) представляют собою две совершенно одинаковые камеры, внутренним размером $2,0 \times 3,0$ кв. метров и высотой до шельги свода в 4340 мм. Нижняя часть, высотой 400 мм., каждого регенератора делится продольною стенкою на две равные части, которые перекрыты полукирпичными арочками с такой-же ширины промежутками между ними; по арочкам в нормальном к ним направлении уложен ряд огнеупорных кирпичей на ребро с промежутками между ними, по этому ряду в перпендикулярном направлении уложен второй ряд и т. д. Таким образом внутренняя емкость регенератора заполнена на высоту 3,00 метра рядами кирпичей (насадка), уложенных крестообразно на ребро, между которыми получают вертикальные каналы, предназначенные для пропуска горячих продуктов горения, которые, соприкасаясь с поверхностью кирпичей (насадки), нагревают их до высокой температуры (1200°C).

Если в нагретый регенератор пустить атмосферный воздух, то он, проходя через насадку регенератора, соответственно нагреется до высокой температуры. Камеры дополнительного сжигания C_3 и C_4 внизу соединены с трубою, подающею генераторный газ, причем впуск газа в ту или другую камеру требует открытия соответственно одного из двух тарелочных клапанов S_3 и S_4 (черт. 18). Вверху эти

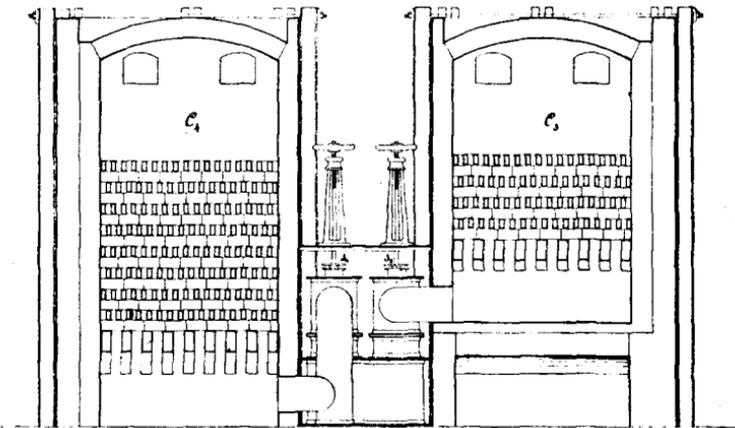
Чертеж 17.

Разрез по PR—QQ.



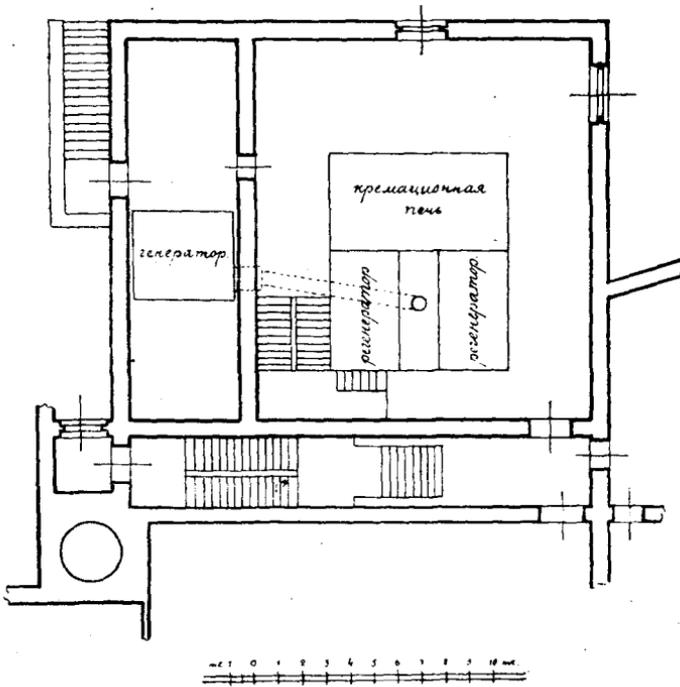
Чертеж 18.

Разрез по PP.



камеры с одной стороны при посредстве окон Z_1 и Z_2 соединяются с регенераторами, а с другой при посредстве каналов e_1 , e_1 и окон l_1 , l_1 с верхом камеры сжигания B (черт. 15 и 17), а посредством каналов e_2 , e_2 и окон l_2 , l_2 с нижнюю часть камеры сжигания B (черт. 17).

Чертеж 19.



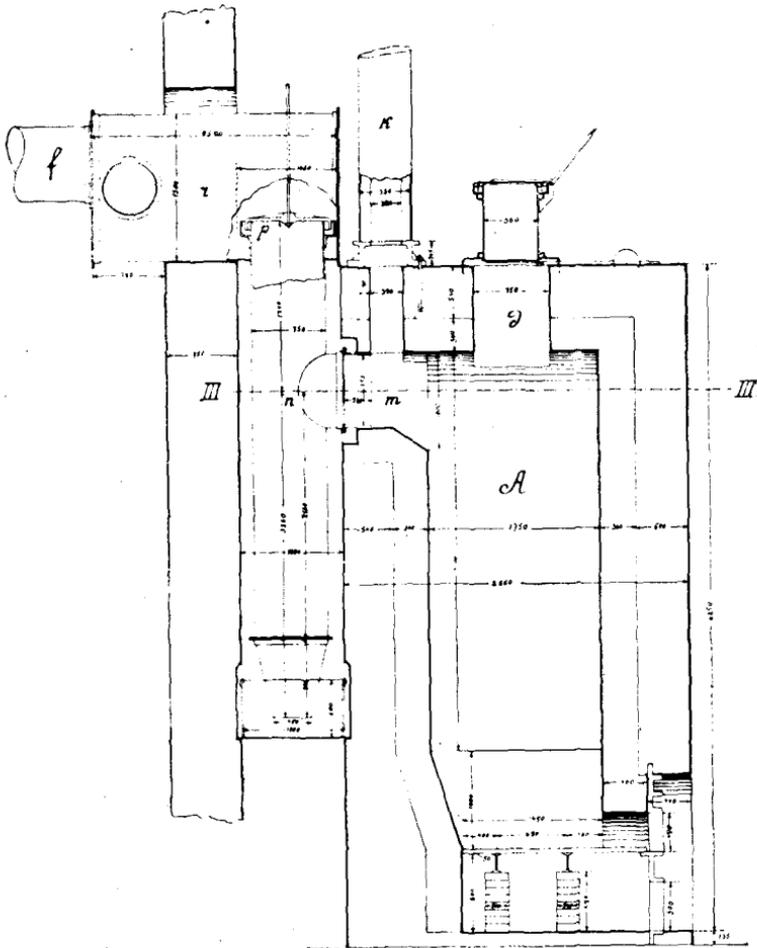
Камера сожигания трупов имеет длину в 3,300 мм., ширину под сводом 2000 мм., а у пода 850 мм., при высоте в шельге свода в 1500 мм.; под камеры представляет ряд арочек в полкирпича шириною с промежутками между ними.

Под, внутренние стенки и своды над камерою сожигания *B*, регенераторами и камерами *C₃* и *C₄* сложены из динасовых кирпичей; камера сожигания снабжена в передней части под'емною дверцею из котельного железа с коробчатою обвязкою, футерованною с внутренней стороны огнеупорным кирпичем.

Под камерую сожигания устроено помещение *L*, в котором находится металлический ящик для собиранья золы и остатков костей, получающихся при сожигании трупа.

Чертеж 20.

Разрез I—I.



Кремационная печь с регенераторами требует для своего устройства места, длиною 11270 мм. и шириною 7000 мм. при высоте 5000 м.; кроме того генератор занимает площадь $4,00 \times 4,00$ кв. метра при высоте 6900 мм., таким образом печь с генератором занимает площадь $11,27 \times 7,0 + 4,0 \times 4,0 = 94,89 \sim 95,0$ квадратных метров, не считая необходимых проходов.

Приведение в действие готовой и хорошо просушенной печи представляет процедуру длительную, требующую несколько дней и так как охлажденный генераторный газ загорается лишь при температуре около 600° Ц., то предварительно приходится разогревать печь посредством костров, разжигаемых в камере сжигания B и в камерах C_3 и C_4 . Затем пропускают газ чрез одну из камер C_3 или C_4 , направляя его в камеру B , для чего следует соединить с дымоходом соответственно регенераторы C_2 или C_1 ; изменяя периодически направление газа и воздуха, достигают необходимого нагрева камеры сжигания трупов B , камер C_3 и C_4 и регенераторов C_1 и C_2 . Когда необходимая степень нагрева (от 1000 до 1200°) достигнута, тогда чрез дверцу вводят в камеру B гроб с трупом, прекратив предварительно приток газа в нее, направляя его чрез камеру C_4 и регенератор C_2 в дымовую трубу. В то-же время перестановкою клапана K регенератор C_1 соединяется с притоком воздуха, который, циркулируя в нем, нагревается до высокой температуры и чрез окна l_1 , l_1 и каналы e_1 e_1 поступает в камеру сжигания B , где, встречаясь с газообразными продуктами, выделяющимися из трупа и материала гроба под действием лучистой теплоты стенок и свода камеры, воспламеняет их. Продукты горения, обладая избытком воздуха, из камеры сжигания B выходят в просветы между арочками пода и по каналам e_2 e_2 поступают в камеру C_4 , где, встречаясь с струей генераторного газа, воспламеняют его и поступают в регенератор C_2 , проходя который накаливают его насадку. Регенератор C_1 (работающий), отдавая заключающееся в его насадке тепло воздуху, остывает и должен быть вновь нагрет, для этого закрывают приток газа в камеру C_4 , переставляют клапан K_1 так, чтобы регенератор C_1 был соединен с дымовым каналом D , а регенератор C_2 с притоком воздуха, и открывают постепенно приток генераторного газа в камеру C_3 . В таком положении печь действует, пока не охладится регенератор C_2 , тогда вновь переставляют клапаны и так повторяют в течение всего времени сжигания трупа; опыт показывает, что в описанной кремационной печи перестановку клапанов следует производить каждые $1\frac{1}{2}$ часа.

Описанная кремационная регенеративная печь находится в действии и наблюдения над сжиганиями показали, что для

полного сжигания одного трупа требуется время от $1\frac{3}{4}$ до 2-х часов, причем степень разогрева печи не превышала 1000° ; процесс сжигания протекал так же, как было описано при печах с рекуператорами, наиболее длительно горели внутренние органы: мозг, легкия, печень и др., чем и задерживали окончание сжигания трупа.

В тех случаях, когда не было надобности выделять остатки каждого трупа, то сжигание можно было вести более интенсивно, вводя последующие трупы, не ожидая момента догорания мелких частей предыдущего, и в результате удавалось в сутки сжигать до 18—20 трупов.

Из вышеизложенного явствует, что регенеративные кремационные печи наиболее рационально использовать для непрерывной работы, так как процесс приведения печи в действие требует несколько дней и поглощает значительное количество топлива. По отношению занимаемого места нужно указать, что печи этой системы требуют площади почти в 10 раз большей, нежели печи с рекуператорами; соответственно размерам, в той-же почти пропорции находится и количество строительных материалов, необходимых для сооружения кремационной печи.

Эксплуатация кремационных регенеративных печей требует значительно большего числа рабочих рук и технического персонала, нежели эксплуатация печей с рекуператорами.

Главным преимуществом печей с регенераторами является возможность производить трупосжигание при температурах более высоких (до 1200° Ц.), нежели в рекуператорных печах, хотя следует заметить, что при сжигании при температуре в 900° Ц. практические результаты с точки зрения санитарной получаются вполне удовлетворительными.

IV. Устройство генераторов.

Генераторы имеют громадное применение в современной технике, но в настоящем описании их устройство будет рассмотрено лишь в пределах применения к кремационным печам, для которых требуются генераторы незначительной производительности.

Генераторы имеют целью превращать твердое топливо в газообразное, которое в дальнейшем подвергается сжиганию в соответствующих частях кремационной печи. Преимущество такого метода использования теплопроизводительной способности топлива заключается: во-первых, в том, что полное сжигание, а значит и полное использование теплопроизводительной способности газообразного топлива возможно практически производить при незначительном избытке воздуха против теоретически необходимого, примерно от 15 до 20% вместо 100—150% при твердом топливе, что обуславливает получение более высокой температуры горения, как то видно из уравнения $W = PcT$, где W —количество тепла, получающегося при сжигании топлива, P —весовое количество продуктов горения, c —их теплоемкость и T —температура горения, и, так как в P входит вес вводимого воздуха, то ясно, что чем его меньше, тем выше получается T .

Во-вторых, в генераторе можно превращать в газ самые разнообразные виды горючего, мало пригодные для непосредственного сжигания; и, в третьих, сжигать газообразное топливо представляется возможным именно там, где необходим наивысший нагрев, что не всегда возможно при твердом топливе.

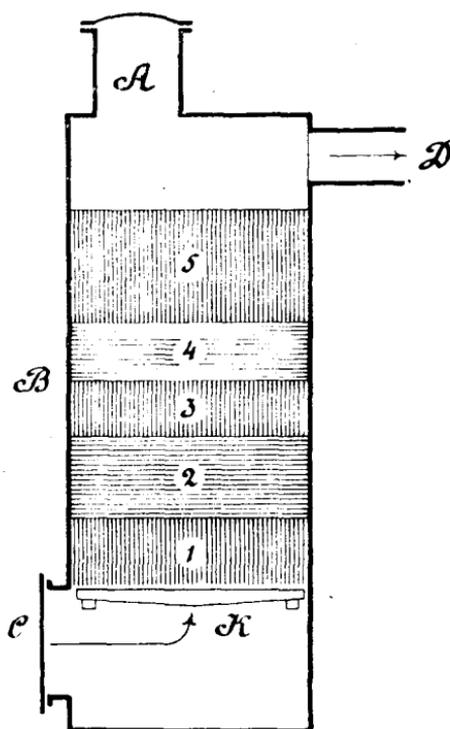
Генераторы могут быть разбиты на три группы: к первой относятся генераторы, работающие с притоком воздуха, которые дают так называемый воздушный генераторный газ; ко второй группе относятся генераторы, работающие с притоком одного водяного пара, вырабатывающие водяной гене-

раторный газ. Третью группу составляют генераторы, работающие с притоком смеси водяного пара и воздуха, дающие так называемый смешанный или Довсоновский газ.

Для нагревания кремационных печей применяется лишь воздушный генераторный газ, а потому будут рассмотрены только генераторы первой группы.

Схема действия генератора, при выработке воздушного генераторного газа, может быть представлена следующим образом (черт. 21).

Чертеж 21.



Топливо закладывается через наполнительную коробку *A* в шахтообразную печь *B*, снабженную поддувалом *C* и колосниковую решеткою *K* и газопроводною трубою *D*; на решетке *K* происходит горение топлива (зона 1) с притоком атмосферного воздуха, причем углерод (*C*) топлива переходит в угольную кислоту (CO_2), этот слой топлива представляет зону образования CO_2 .

Во второй зоне (черт. 21) углекислота, поднимающаяся в смеси с азотом и воздухом из первой зоны, проходя чрез слой раскаленного угля, подвергается восстановлению, образуя окись углерода (CO): $CO_2 + C = 2 CO$.

В третьей зоне горение топлива происходит при недостаточном притоке воздуха, а потому образуется непосредственно окись углерода (CO).

В четвертой зоне происходит сухая перегонка топлива без доступа воздуха, здесь выделяются смолы, метан (CH_4), этилен (C_2H_4).

В пятой зоне происходит лишь выделение из топлива водяных паров.

Получающаяся вышеописанным образом смесь газообразных веществ и представляет собою воздушный генераторный газ, который, двигаясь по газопроводу к месту сжигания, выделяет конденсацией смолы и часть водяных паров, а температура его понижается; эти обстоятельства указывают на желательность расположения генераторов возможно ближе к месту сжигания газа.

Химический состав воздушного генераторного газа и его теплопроизводительная способность изменяется соответственно составу топлива.

Блахер дает следующий средний состав воздушного генераторного газа в процентах.

Состав воздушного генераторного газа.

ТАБЛИЦА I-я.

Составные части:	Дерево.	Торф.	Бурый уголь.	Каменный уголь.	Кокс.	Древес. уголь.
Азота N_2	54	63	60	63	69	65
Окиси углерода CO . .	28	22	29	24	26	34
Углекислоты CO_2 . . .	17	14	5	5	4	1
Водорода H	1	1	7	7	1	—
Метана CH_4	—	—	3	1	—	—

Приводим состав в процентах генераторного газа для дров по опытным данным.

Состав воздушного генераторного газа из дровяного топлива.

ТАБЛИЦА II-я.

Источники.	CO_2	CO	CH_4	C_2H_4	H_2	N_2	O	
Фишер. . . по объему . . .	6,2	26,9	2,20	—	8,54	53,71	—	
Лангбейн . . . " . . .	5,6	30,4	4,5	0,8	7,0	51,70	—	
1) Соколов . . .	по объему . . .	6,8	28,0	2,4	0,8	10,5	51,00	0,5
	по весу . . .	11,46	30,04	1,46	0,85	0,79	54,80	0,60
2) Верх-Исетский завод . . .	по объему . . .	4,82	29,18	1,27	0,64	10,43	55,56	1,00
	по весу . . .	7,91	30,58	0,76	0,67	0,78	58,18	1,20

Так как состав воздушного генераторного газа является переменным для одного и того же генератора в зависимости от качества топлива и количества поступающего воздуха, то при расчете следует брать наиболее бедный по теплопроизводительной способности состав, а потому для дальнейших расчетов примем следующий состав генераторного газа из дров в процентах:

Углекислоты . . .	CO_2	по объему	5	по весу	8,19
Окиси углерода . . .	CO	" "	25	" "	25,90
Метана	CH_4	" "	2	" "	1,19
Этилена	C_2H_4	" "	0,5	" "	0,52
Водорода	H_2	" "	6	" "	0,45
Азота	N_2	" "	61,5	" "	63,75
			100%		100%

1) Горный журнал 1904 г.

2) В. Н. Липин.

В генераторном газе вышеуказанного состава будет заключаться:

ТАБЛИЦА III-я.

Составные части.	% содержания по весу.	Составные элементы.			
		C	O ₂	H ₂	N ₂
CO ₂	8,19	2,23	5,96	—	—
CO	25,90	11,10	14,80	—	—
CH ₄	1,19	0,89	—	0,30	—
C ₂ H ₄	0,52	0,45	—	0,07	—
H ₂	0,45	—	—	0,45	—
N ₂	63,75	—	—	—	63,75
Всего	100%	14,67	20,76	0,82	63,75

По этим данным определим выход воздушного генераторного газа из 100 килограммов дров, считая их влажность в 25% и потерю в виде смолы в 5,5%, а в виде древесного уксуса в 0,41% (по Окерману) от веса сухой массы дерева, принимая при этом:

Состав сухого дерева . . . C — 49,56%; H₂ — 6,11%;
 O₂ — 43,82%; N₂ — 0,10%.
 „ . . . золы — 0,42%.
 „ . . . смолы — C — 77,8%; H₂ — 7,4%;
 O₂ — 14,5%; N₂ 0,3%.
 „ . . . уксуса C — 40,00%; H₂ — 6,0%;
 O₂ — 54,0% (по Окерману).

Следовательно из 100 килогр. дров, вычитая влагу, получится:

$$C - 49,56 \times 0,75 = 33,17 \text{ кил.}; \quad H_2 - 6,11 \times 0,75 = 4,58 \text{ кил.};$$

$$O_2 - 43,82 \times 0,75 = 38,84 \text{ кил.}; \quad N_2 - 0,10 \times 0,75 = 0,08 \text{ кил.};$$

$$\text{золы } 0,42 \times 0,75 = 0,32 \text{ килогр.}$$

Из этого количества должно быть вычтено то, что выпадает в виде смолы, весовое содержание которой в 100 кил. дров будет равно $100 \times 0,80 \times 0,055 = 4,4$; и в виде уксуса в количестве равном $100 \times 0,80 \times 0,0041 = 0,33$ килограмма.

В сумме это составит:

$$C - 0,778 \times 4,40 + 0,40 \times 0,33 = 3,55 \text{ килограмм.}$$

$$H_2 - 0,074 \times 4,40 + 0,06 \times 0,33 = 0,35 \quad "$$

$$O_2 - 0,145 \times 4,00 + 0,054 \times 0,33 = 0,82 \quad "$$

$$N_2 - 0,003 \times 4,40 = 0,01 \text{ килограмм.}$$

Таким образом в генераторный газ из 100 килограмм. дров перейдет:

$$C - 33,17 - 3,55 = 29,62 \text{ килогр.}$$

$$H_2 - 4,58 - 0,35 = 4,23 \quad "$$

$$O_2 - 38,84 - 0,82 = 38,02 \quad "$$

$$N_2 - 0,08 - 0,01 = 0,07 \quad "$$

Так как по данным таблицы III в 100 килограммах генераторного принятого состава газа содержится 14,67 кил. C, то следовательно из 100 кил. дров с 25% влаги получится газа $\frac{29,62}{14,67} \times 100 = 202$ килогр.

Вес 1 куб. метра воздушного генераторного газа принятого состава будет равен (см. табл. III-ю):

$$100: \left\{ \frac{8,19}{1,977} + \frac{25,90}{1,250} + \frac{1,19}{0,717} + \frac{0,52}{1,250} + \frac{0,45}{0,0899} + \frac{63,75}{1,251} \right\} =$$

$$= \frac{4,14 + 20,72 + 1,66 + 0,42 + 5,00 + 50,96}{82,90} = 1,206 \text{ кил.}$$

Теплопроизводительная способность 1 килограмма этого газа будет равна (табл. III):

$$W_k = 0,2590 \times 2403 + 0,0119 \times 13063 + 0,0052 \times 11875:$$

$$+ 0,0045 \times 29000 = 622,377 + 158,450 + 61,750 + 130,500 =$$

$$= 973 \text{ калорий.}$$

Теплопроизводительная способность 1 м^3 того же газа будет:

$$W_m = 1,206 \times 973 = 1173 \text{ калорий.}$$

Количество атмосферного воздуха, которое необходимо ввести в генератор для газификации 100 килогр. дров, может быть вычислено следующим образом:

Из 100 килогр. дров получается 202 килогр. газа указанного в таблице III состава, весовое содержание азота (N_2), в котором $= 0,6375 \times 202 = 128,78$ кил.; принимая в составе воздуха по весу $O_2 = 23,1\%$ — и $N_2 = 76,9$, находим, что 128,78 кил. — соответствует количеству $O = \frac{128,78 \times 23,1}{76,9} = 37,4$ килогр.

Следовательно, искомое количество воздуха равно $= 128,78 + 37,4 = 166,18$ килогр. $= \frac{166,18}{1,29} = 128,8$ куб. метр.

Внутренние размеры генератора определяются площадью его колосниковой решетки и высотой; последняя для дров принимается от 2,5 до 5 метров.

Производительность колосниковой решетки в 1 час с 1 кв. метра ее площади брутто принимается:

Кокса сгорает	50 кил.
Каменного угля спекающегося	от 60 до 80 кил.
Сухого каменного угля	от 80 до 100 „
Бурого угля	от 100 до 150 „
Дров или торфа	от 160 до 200 „

Свободная площадь решетки, т. е. площадь ее прозоров зависит от рода топлива и размера его кусков, ширина прозоров колеблется от 20 до 3 мм., для дров принимают от 5 до 6 мм.; отношение n свободной площади решетки к общей ее площади (площади брутто) принимается (Hütte):

для каменного угля	$1/4$ до $1/2$
„ бурого угля	$1/5$ „ $1/3$
„ кокса	$1/3$ „ $1/2$
„ дров и торфа	$1/7$ „ $1/5$

Скорость протекания воздуха в прозорах решетки принимается в 0,75 до 1,6 метра.

На основании вышеизложенного общий ход определения размеров генератора состоит в следующем:

По заданному роду топлива, его химическому составу по данным таблицы I принимается состав генераторного газа и вычисляется его теплопроизводительная способность W_k и выход газа из 100 кил. топлива. Затем по количеству тепла (W калор.), которое должно быть выделено в 1 час в печи путем сжигания генераторного газа, определяют вес (P) необходимого для этого газа: $P = \frac{W}{W_k}$ и количество (Q кил.) топлива, которое необходимо газифицировать в 1 час для получения P кил. газа: $Q = 100 \times \frac{P}{p}$ килогр., где p кил.— есть выход газа из 100 килогр. топлива, определяемый по составу газа и топлива вышеуказанным способом.

По тем же данным определяется объем L воздуха, необходимого для газификации Q кил. топлива.

Площадь решетки брутто (f_b) будет равна $f_b = \frac{Q}{q}$ кв. м., где q кил.—вес топлива, сгорающего в 1 час на 1 m^2 площади решетки (брутто).

Свободная площадь f_n должна равняться $f_n = \frac{L}{v}$ кв. метров, где v —скорость движения воздуха в прозорах решетки (от 0,75 до 1,6 метра).

Кроме того $\frac{f_n}{f_b}$ должно равняться n .

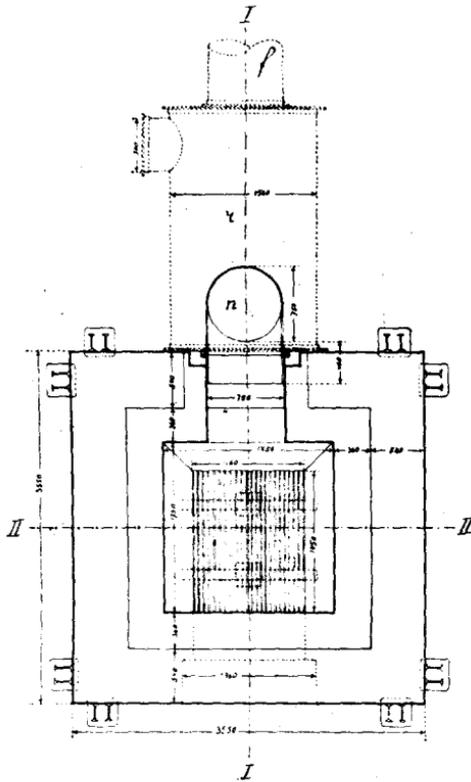
Полезное действие генератора $\varphi_1 = \frac{mq}{Q}$, где m —количество килограмм генераторного газа, полученного из топлива, q —теплопроизводительная способность килограмма этого газа, а Q —газифицированного топлива.

Каналы, подводящие газ из генератора к печи, рассчитываются по скорости от 1 до 2 метров в секунду.

Устройство генераторов зависит главным образом от рода топлива, которое подлежит газификации; на чертежах (7. 8,

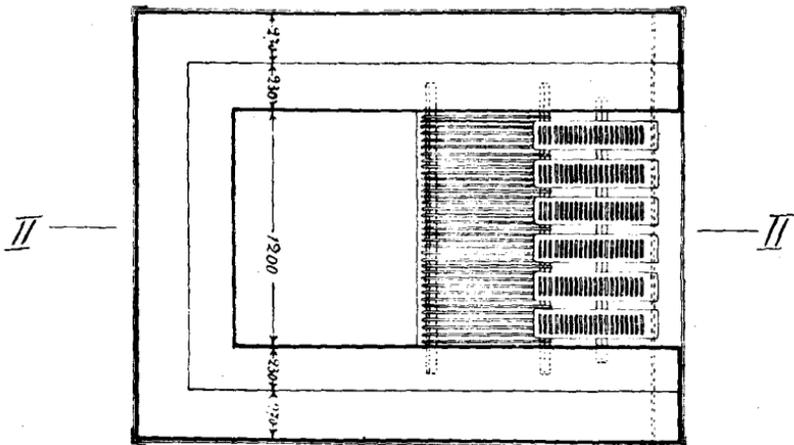
Чертеж 23.

План III—III.



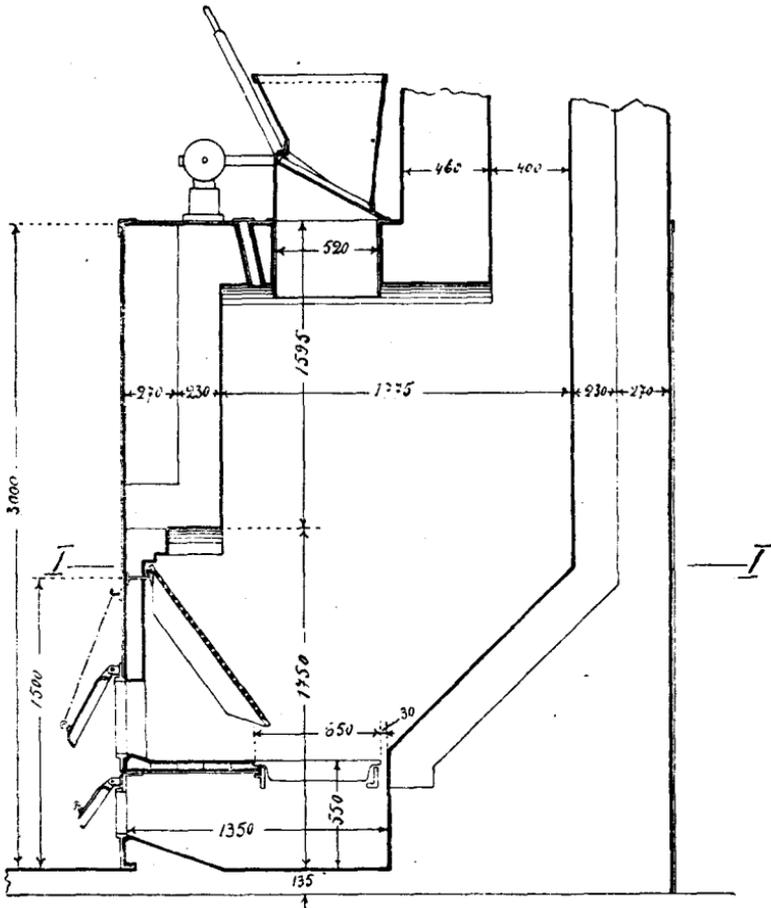
Чертеж 24.

План I—I.



Чертеж 25.

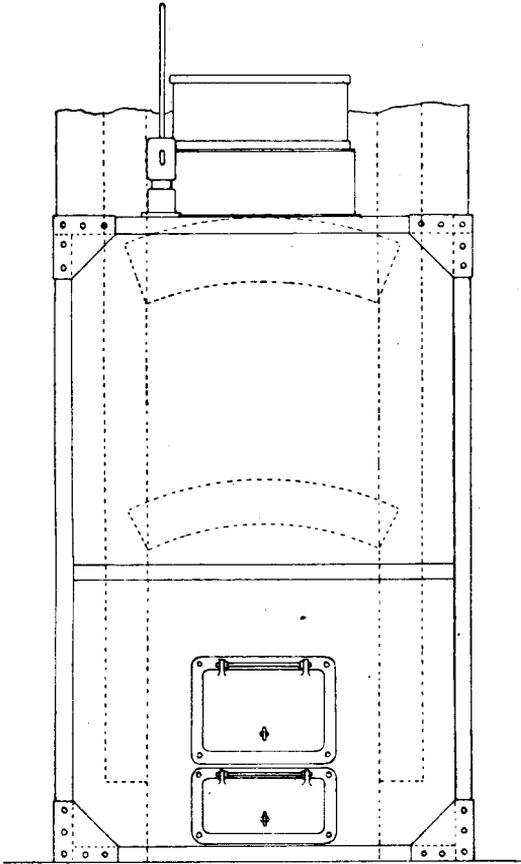
Разрез II—II.



На черт. 24, 25 и 26 показан генератор для коротких дров, длиною от $\frac{1}{2}$ до 1 аршина, конструкция его вполне выяснена чертежами.

На чертежах 27, 28, 29 и 30 показан генератор для сухого длиннопламенного каменного угля, он представляет собою шахтную печь цилиндрической формы; вместо решетки над подом устроены две пересекающиеся кирпичные арочки, упирающиеся в стенки генератора. Воздух вгоняется

Чертеж 26.

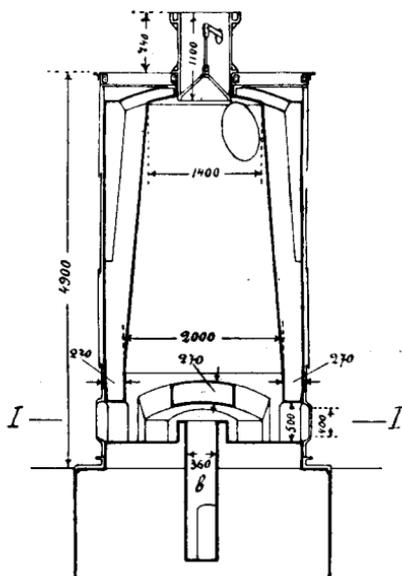


вентилятором по трубе *a* и каналу *b*; производительность этого генератора составляет от 150 до 240 килограмм. угля в 1 час на 1 кв. метр действующей поверхности, т. е. площади четырех просветов между арочками и стенками генератора.

Генератор складывается в футляре из листового железа, толщиной около 10 мм., причем между футляром и кладкою оставляется промежуток от 50 до 100 мм., заполняемый битым кирпичем и золою для уменьшения потери тепла чрез на-

Чертеж 30.

План I—I.



ружные стенки, а равно для предоставления стенкам возможности свободно расширяться при нагревании.

Работа генераторов может быть контролируема посредством анализа газов и главным образом характеризуется содержанием углекислоты и окиси углерода; практически хороший генераторный газ узнается по пламени, которое он дает при выходе из пробной трубки.

Чем суше топливо, тем лучше и выше по своей теплопроизводительной способности получается генераторный газ.

V. Расчет кремационных печей.

Расчет кремационной печи складывается из расчета генератора и расчета рекуператора или регенератора; для определения размеров генератора необходимо знать его производительность, выраженную в килограммах воздушного генераторного газа, который необходим для действия кремационной печи, способ же расчета выяснен в главе IV.

Для определения размеров рекуператора или регенератора необходимо знать количество нагретого воздуха, подаваемого в кремационную печь во время сжигания трупа.

Определение указанных данных, а равно выяснение способа расчета рекуператоров и регенераторов и составит предмет настоящей главы, причем будет дано решение вопроса для двух случаев, а именно: при сжигании одного трупа и при сжигании трупа с гробом.

Принимаем максимальный вес трупа равным 82 килогр. около 5 пуд.), около 59% которого составляет вода, т. е. 48,38 килограмма, заключающая в себе:

$$\text{Кислорода } O_2 - \frac{48,38 \times 8}{9} = 43,00 \text{ килограмма.}$$

$$\text{Водорода } H_2 - \frac{48,38}{9} = 5,38 \text{ килогр.}$$

Элементарный состав остальной части трупа может быть принят следующим:

Кислорода O_2	—	60%	—	43,00	=	49,20	—	43,0	=	6,20	килогр.
Водорода H_2	—	8,33%	—	5,38	=	6,83	—	5,38	=	1,45	"
Углерода C	—	21,67%	=							17,77	"
Серы S	—	3,00%	=							2,46	"
Азота N_2	—	2,42%	=							1,98	"
Золы	—	4,58%	=							3,76	"

При полном сгорании трупа углерод C должен превратиться в углекислоту CO_2 , водород H_2 в водяные пары и сера S в сернистый газ SO_2 , для чего потребуется кислорода:

$$\text{для перехода } C \text{ в } CO_2 - \frac{17,77 \times 32}{12} = 47,39 \text{ килогр.}$$

$$\text{„ „ } H_2 \text{ в } HO - \frac{1,45 \times 8}{1} = 11,60 \text{ „}$$

$$\text{„ „ } S \text{ в } SO_2 - \frac{2,46 \times 32}{32} = 2,46 \text{ „}$$

Всего 61,45 килогр.

В трупе содержится 6,20 „

должно быть доставлено 55,25 килогр.

Принимая весовой состав воздуха в 76,9—азота N_2 и 23,1 кислорода O_2 , находим, что для ввода указанного количества придется ввести азота

$$N_2 = \frac{55,25 \times 76,9}{23,1} = 183,98 \text{ килограмма.}$$

Таким образом количество воздуха, теоретически необходимого для полного сжигания трупа, будет равно $183,98 + 55,25 = 239,23$ килограм. или

$$\frac{239,23}{1,293} = 185 \text{ куб. метр. при } 0^\circ \text{ и } 760 \text{ мм. давления.}$$

Достигнуть полного сжигания, вводя в кремационную печь лишь теоретически необходимый об'ем воздуха, как показала практика, не представляется возможным, а потому приходится вводить некоторый его излишек, который для кремационных печей должен быть принят равным теоретически необходимому об'ему или принять коэффициент избытка равным 2 и следовательно об'ем воздуха, который необходимо доставить в печь за время сжигания одного трупа в 82 килограмма весом будет равен $2 \times 185 = 370$ куб. метр. или $2 \times 239,23 = 478,46 \approx 480$ килограммов.

Продолжительность сжигания одного трупа на основании соображений, высказанных в главе II, должна быть при-

нята теоретически не менее $1\frac{1}{2}$ час., а потому об'ем подаваемого воздуха в 1 час будет равен $\frac{370}{1,5} = 246,66 \sim 247$ куб. метр. или $\frac{480}{1,5} = 320$ килограмм.

Тепловой баланс кремационной печи, отнесенный к 1 часу, может быть представлен в следующем виде:

Расход тепла:

- 1) На подогревание воздуха до температуры, при которой происходит сжигание трупа.
- 2) На испарение воды в трупе содержащейся.
- 3) На покрытие потери тепла чрез наружные стенки печи.
- 4) Теплота, уносимая продуктами горения в дымовую трубу.

Приход тепла:

- 5) Тепло, развиваемое при сгорании составных элементов трупа.
- 6) Тепло, получаемое от сжигания генераторного газа, вводимого в рекуператор или в регенератор.

Суммируя расходы тепла и вычитая из этой суммы приход тепла от сжигания трупа, получим количество тепла, которое должно быть доставлено сжиганием генераторного газа, имея же его теплопроизводительную способность, найдем его количество P килограммов, по которому должен быть произведен расчет генератора.

Во всех подсчетах теплоемкость газов будет приниматься на основании данных профессора М. Павлова (журнал Р. Металлургического Общества 1912 года), выдержки из которых приведены ниже в таблице IV.

Температуру воздуха вводимого для сжигания принимаем на основании соображений, высказанных в главе II равную 900° С, температуру продуктов горения при выходе их в дымовую трубу примем в 400° ; при этих данных находим:

1) Расход тепла в 1 час на подогревание от 0° до 900° воздуха вводимого для горения составит при теплоемкости воздуха при 900° на 1 килогр. = 0,260.

$$320 \times 0,260 \times 900 = 74880 \text{ калорий/kg;}$$

2) На испарение воды в 1 час потребуется

$$\frac{46,38 \times 606,5}{1,5} = \approx 20000 \text{ калорий/kg.}$$

3) Потеря тепла чрез наружные поверхности печи не может быть определена точно; она пропорциональна величине этой поверхности и зависит от ее температуры. Для приближенного определения этой потери примем наружные поверхности печи = 75 кв. метрам, а потерю в среднем с 1 кв. метра в 500 калорий в 1 час, что дает общую потерю = 37500 калор.

4) Для определения потери тепла, уносимого продуктами горения в дымовую трубу при температуре 400° , необходимо иметь в виду, что таковые состоят из продуктов горения трупа при двойном против теоретического притоке воздуха и из продуктов горения генераторного газа, вводимого в рекуператор или регенератор в количестве P килограмм. в 1 час; это количество нам пока неизвестно и будет определено из уравнения теплового баланса кремационной печи, причем полагаем, что для горения генераторного газа достаточно будет того излишка воздуха, который вводится для горения трупа. Потерию тепла с золою по ее незначительности пренебрегаем.

На основании данных, приведенных выше (гл. IV и V), состав продуктов горения, выходящих из кремационной печи в дымовую трубу, может быть определен следующим образом:

А. Из P килограммов генераторного газа образуется:

$$CO_2 = 0,0819 P \text{ килогр.}$$

$$CO = 0,2590 P \text{ килограммов, сгорая даст } 0,2590 \frac{(12 + 2 \times 16)}{(12 + 16)} = 0,2590 P \times 1,57 = CO_2 \text{ или } 0,407 P \text{ килогр. } CO_2, \text{ причем}$$

потребуется $O_2 - 0,2590 P \times \frac{16}{(12 + 16)} = 0,2590 \times 0,57 P =$
 $= 0,148 P$ килограмм.

$CH_4 - 0,0119 P$ кил. —, сгорая даст $CO_2 -$

$0,0119 P \frac{12}{(12 + 4)} \left(1 + \frac{2 \times 16}{12} \right) = 0,019 P \times 2,75 =$
 $= 0,033 P$ кил., и $H_2O - 0,0119 P \frac{4}{(12 + 4)} (1 + 8) = 0,0119 P \times$
 $\times 2,25 = 0,027 P$ кил.; кислорода (O_2) потребуется

$$0,0119 P \left(\frac{2 \times 16}{12} \times \frac{12}{12 + 4} + 8 \times \frac{4}{12 + 4} \right) = 0,048 P \text{ кил.}$$

$C_2 H_4 - 0,0052 P$ кил., сгорая даст

$CO_2 - 0,0052 P \frac{2 \times 12}{(2 \times 12 + 4)} \left[1 + \frac{2 \times 16}{12} \right] = 0,0052 P \times 3,14 =$
 $= 0,016 P$; и

$H_2O - 0,0052 P \frac{4}{(2 \times 12 + 4)} [1 + 8] = 0,0052 P \times 1,29 = 0,007 P.$

Кислорода потребуется

$0,0052 P \left[\frac{2 \times 12}{2 \times 12 + 4} \times \frac{2 \times 16}{12} + \frac{4}{2 \times 12 + 4} \times 8 \right] = 0,018 P$ килогр.

$H_2 - 0,0045 P$ — даст $H_2O - 0,0045 (1 + 8) = 0,041 P$ килогр.,
 причем потребуется $O_2 - 0,0045 P \times \frac{8}{9} = 0,004 P$ килогр.

$N_2 -$ остается $0,6375 P$ кил.

Таким образом при сжигании из P кил. генераторного
 газа получится

$CO_2 - P \times (0,0819 + 0,407 + 0,033 + 0,016) = 0,5379 P$ килогр.

$H_2O - P \times (0,027 + 0,007 + 0,041) = 0,075 P$ килогр.

$N_2 - 0,6375 P$ килогр.,

В. Из составных частей трупa при сгорании с притоком двойного объема воздуха образуется в 1 час:

$$CO_2 - \frac{17,77}{1,5} \times \left[\frac{12 + 2 \times 16}{12} \right] = 43,50 \text{ кил.}$$

$$H_2O - \frac{48,38}{1,5} + \frac{1,45}{1,5} \left(\frac{1 + 8}{1} \right) = \frac{48,38}{1,5} + \frac{13,05}{1,5} = 40,95 \text{ кил.}$$

$$SO_2 - \frac{2,46}{1,5} \cdot \left(\frac{32 + 2 \times 16}{3,2} \right) = 3,28 \text{ килогр.}$$

$$N_2 - \frac{1,98 + 2 \times 183,98}{1,5} = 246,63 \text{ килогр.}$$

$$O_2 - \frac{6,20 + 2 \times 55,25 - 61,45}{1,5} = 0,148 P - 0,048 P - 0,018 P = \\ = 36,83 - 0,214 P \text{ килогр.}$$

Суммарно состав и вес продуктов горения будет следующий:

$$CO_2 - 43,50 + 0,5379 P \text{ килогр.}$$

$$H_2O - 40,95 + 0,075 P \text{ килогр.}$$

$$SO_2 - 3,28 \text{ килогр.}$$

$$N_2 - 246,63 + 0,6375 P \text{ килогр.}$$

$$O_2 - 36,83 - 0,214 P \text{ килогр.}$$

По данным таблиц проф. М. Павлова находим теплоемкости при температуре 400° на 1 килогр.

$$CO_2 - 0,252.$$

$$H_2O - 0,472.$$

$$SO_2 - 0,173.$$

$$N_2 - 0,250.$$

$$O_2 - 0,226.$$

Следовательно, с продуктами горения будет вынесено в дымовую трубу при температуре их в 400°

$$[(43,50 + 0,5379 P) \times 0,252 + (40,95 + 0,075 P) \times 0,472 + \\ + 3,28 \times 0,173 + (246,63 + 0,6375 P) \times 0,250 + (36,83 - 0,214 P) \\ 0,226] \times 400 =$$

$$= 4384,8 + 54,2 P + 7731,4 + 14,2 P + 227,0 + 24663,0 + \\ + 63,8 P + 3329,4 - 19,3 P = 40335,6 + 112,9 P \text{ кал.}$$

Приход тепла исчисляется следующим образом:

от сгорания составных частей трупа получим:

17,77 кил. <i>C</i>	дадут	$17,77 \times 8080 =$	143582 калор.
1,45 „ <i>H</i>	„	$1,45 \times 29000 =$	42050 „
2,46 „ <i>S</i>	„	$2,46 \times \frac{71000}{32} =$	5458 „

Всего . 191090 калор.,

так как продолжительность сгорания принята = $1\frac{1}{2}$ час., то в 1 час получится тепла 127393 к.

От сгорания *P* килограммов генераторного газа получится (гл. IV) 973 *P* калорий.

На основании полученных данных составляем уравнение баланса тепла в кремационной печи:

$$74880 + 20000 + 37500 + 40335,6 + 112,9 P = 127393 + 973 P;$$

$$\text{откуда } P = \frac{74880 + 20000 + 37500 + 40335,6 - 127393}{973 - 112,9} =$$

$$= 52,7 \text{ килограмма генераторного газа.}$$

Практически расход газа в 1 час должен быть увеличен не менее, как на 50%, т. е. принят в круглых цифрах в 80 килограммов в 1 час или 120 килограммов на сожигание одного трупа без гроба.

Для определения температуры, при которой будет происходить сожигание трупа, воспользуемся условием $W_s = P_s c_s T$, где W_s — представляет суммарное количество тепла поступающее в камеру сожигания, P_s вес газов составляющих продукты горения c_s — их теплоемкость и T температура продуктов горения.

Общее количество W_s тепла, поступающего в камеру сожигания, складывается из тепла доставляемого нагретым воздухом, вводимым, как предположено, при температуре 900° и в количестве 480 килгр. в $1\frac{1}{2}$ ч. или в 1 час 320 килгр. (гл. V) равного 74880 кал. и тепла развиваемого при горении составных частей трупа = 127393 кал. в 1 час, за вычетом тепла расходуемого на испарение воды и половины потери

тепла чрез наружные стенки печи, а всего $W_s = 74880 + 127393 - 20000 - 18750 = 163523$ калорий.

Величину $P_s c_s$ вычислим, как сумму произведений теплоемкостей отдельных составных частей на их вес, причем необходимо иметь в виду, что при сжигании трупя генераторный газ не вводится в камеру сожигания.

Вес P отдельных составных частей продуктов горения трупя был определен выше, теплоемкости же c берем из таблиц проф. М. Павлова для T — в 1100° , тогда получим:

$$163523 = T [43,50 \times 0,299 + 40,95 \times 0,568 + 3,28 \times 0,206 + 246,63 \times 0,273 + 36,83 \times 0,246] = T [13,01 + 23,26 + 0,68 + 67,33 + 9,06] \text{ откуда } T = \frac{163523}{113,34} \approx 1442^\circ.$$

Вычисленная температура значительно разнится от принятой (1100°) для определения теплоемкости продуктов горения, а потому произведем новый подсчет, принимая теплоемкость при температуре 1500° ; в этом случае получим:

$$163523 = T \times [43,50 \times 0,310 + 40,95 \times 0,681 + 3,28 \times 0,213 + 246,63 \times 0,286 + 36,83 \times 0,257] = T [13,49 + 27,89 + 0,70 + 70,54 + 9,47]; \text{ откуда } T = \frac{163523}{122,09} \approx 1340^\circ.$$

В действительности температура будет ниже вследствие засасывания холодного воздуха чрез неплотности дверец и кладки, а равно вследствие диссоциации угольной кислоты, а потому при расчете рекуператора температуру отходящих из камеры сожигания газов примем в 1100° .

При сожигании трупя в гробу, максимальный вес которого принимаем в 65 килгр. (4 пуда), а элементарный состав нижеследующим:

Воды	20 процентов	13 килгр.
C —	40	26 "
H ₂ —	4,8	3,12 "
O ₂ —	34,5	22,43 "
N ₂ —	0,2	0,13 "
Золы —	0,5	0,32 "
100%		65 килгр.

к весу составных частей трупы следует прибавить вес таковых гроба, тогда получим:

$$\begin{aligned}
 \text{Воды} & - 48,38 + 13,0 = 61,38 \text{ клгр.} \\
 C & - 17,77 + 26 = 43,77 \text{ " } \\
 H_2 & - 1,45 + 3,12 = 4,57 \text{ " } \\
 O_2 & - 6,20 + 22,43 = 28,63 \text{ " } \\
 N_2 & - 1,98 + 0,13 = 2,11 \text{ " } \\
 S & - 2,46 + 0 = 2,46 \text{ " } \\
 \text{Золы} & - 3,76 + 0,32 = 4,08 \text{ " }
 \end{aligned}$$

Поступая так же, как при сжигании трупы без гроба, находим:

Количество кислорода теоретически необходимого для полного сгорания будет равно:

$$\begin{aligned}
 \text{для перехода } C \text{ в } CO_2 & \frac{43,77 \times 32}{12} = 116,72 \text{ кил.} \\
 \text{" " } H \text{ в } H_2O & \frac{4,57 \times 8}{1} = 36,56 \text{ " } \\
 \text{" " } S \text{ в } SO_2 & \frac{2,46 \times 32}{32} = 2,46 \text{ " }
 \end{aligned}$$

в трупы и гробе содержится . . . 28,63 кил.

Должно быть доставлено . . . 127,11 кил.

Вводя воздух нормального состава вместе с 127,11 клгр. O_2 , введем N_2 — $\frac{127,11 \times 76,9}{23,1} = 423,15$ клгр., следовательно количество теоретически необходимого воздуха для сжигания трупы с гробом равно $423,15 + 127,11 = 550,26$ килогр. = $\frac{550,26}{1,293} \approx 420$ куб. метров при 0° и 760 мм. давления.

Практически количество вводимого воздуха за время сжигания трупы с гробом принимаем в $2 \times 550,26 = 1100,52$ клгр. или 840 м^3 , а в 1 час $\frac{1100,52}{1,5} = 734$ клгр. или 560 м^3 .

Расход тепла в 1 час в кремационной печи в этом случае составит:

1) На подогревание воздуха до температуры 900°
 $734 \times 0,260 \times 900 = 171756$ калории.

2) На испарение воды $\frac{61,38 \times 606,5}{1,5} = 24806$ калорий.

3) Потерю тепла чрез наружные поверхности печи принимаем равную 37500 калорий.

4) Количество тепла уносимого с продуктами горения в дымовую трубу при температуре 400° определится следующим образом:

Количество продуктов горения от сжигания в 1 час P килограммов генераторного газа, как было выше исчислено, составит:

$$CO_2 - 0,5379 P \text{ килогр.}$$

$$H_2O - 0,075 P \quad "$$

$$N_2 - 0,6375 P \quad "$$

Количество продуктов горения от сжигания трупа с гробом при притоке двойного количества воздуха составит:

$$CO_2 - \frac{43,77}{1,5} \times \frac{12 + 2 \times 16}{12} = 105,05 \text{ килгр.}$$

$$H_2O - \frac{61,38}{1,5} + \frac{4,57}{1,5} \times 9 = \dots 68,32 \text{ килгр.}$$

$$SO_2 - \frac{2,46}{1,5} \times \frac{32 \times 2 \times 16}{32} = 3,28 \text{ килгр.}$$

$$N_2 - \frac{2,11 + 2 \times 423,15}{1,3} = 565,60 \text{ килгр.}$$

$$O_2 - \frac{28,63 + 2 \times 127,11 - 155,74}{1,5} - 0,214 P = 84,7 - 0,214 P.$$

Суммарно состав и вес продуктов горения будет следующий:

$$CO_2 - 105,05 + 0,5379 \text{ кил.}$$

$$H_2O - 68,32 + 0,075 \quad "$$

$$SO_2 - 3,28 + 0 \quad "$$

$$N_2 - 565,60 + 0,6375 \quad "$$

$$O_2 - 84,7 + 0,214 P \quad "$$

Следовательно, искомое количество тепла, заключающееся в этих продуктах при 400°, будет равно:

$$[(105 + 0,5379 P) \times 0,252 + (68,32 + 0,075 P) \times 0,472 + 3,28 \times 0,173 + (565,60 + 0,6375 P) \times 0,250 + (84,7 - 0,214 P) \times 0,226] \times 400 = 10,584,0 + 54,2 P + 12898,8 \times 14,2 P + 227,0 + 56560 + 63,8 P + 7656,9 - 19,3 P = 87699,7 + 112,9 P \text{ калорий.}$$

Приход тепла составит:

от сгорания	43,77 килгр.	C	— 43,77 × 8080 = . . .	353661 к.
"	4,57 "	H	— 4,57 × 29000 = . . .	132530 "
"	2,46 "	S ₂	— 2,46 × $\frac{71000}{32}$ = . . .	5458 "
Всего				491649 к.

а в 1 час — $\frac{491649}{1,5} = 327766$ калорий.

От сгорания P килгр. генераторного газа получится 973 I калорий.

Из полученных данных находим

$$P = \frac{171756 + 24806 + 37500 + 87699,7 - 491649}{973 - 112,9} = \frac{-169887,3}{860,1} = -P = -198 \text{ килгр.}$$

Значение P получилось отрицательным, это значит, что при сжигании трупа вместе с гробом весом 62 килгр. развивается такое количество тепла, которое сполна покрывает весь расход тепла и остается еще излишек в 169887,3 калорий, и следовательно во время процесса трупосожигания нет нужды добавлять тепло путем сожигания генераторного газа, такое потребуется лишь для предварительного нагревания кремационной печи.

Температуру процесса горения трупа находим из уравнения:

$$171756 + 491649 - 24806 - 18750 = 619849 = T [105,05 \times 0,310 + 68,32 \times 0,681 + 3,28 \times 0,213 + 565,6 \times 0,286 + 84,7 \times 0,257] = T [32,57 + 46,53 + 0,70 + 161,76 + 21,77]$$

откуда

$$T = \frac{619849}{263,33} = 2354^\circ.$$

Так как теплоемкости составных частей продуктов горения взяты при температуре 1500°, то в виду большой разности произведем пересчет, принимая теплоемкость газов при температуре 2000°, причем получим:

$$619849 = T [105,05 \times 0,313 + 68,32 \times 0,914 + 3,28 \times 0,215 + 565,6 \times 0,302 + 84,7 \times 0,271 =$$

$$= T = \frac{619849}{32,88 + 62,64 + 0,71 + 170,81 + 22,95} = \frac{619849}{289,99} =$$

$$= \approx 2137^\circ.$$

Действительная температура в камере сжигания по указанным выше причинам будет ниже исчисленной и при расчете рекуператора или регенератора будем принимать ее равной 1500°.

ТАБЛИЦА IV.

Теплоемкость газов при различных температурах на 1 кггр.

Займствовано из таблиц профессора М. Павлова. Ж. Р. М. О. 1912 г.

Темпер.	H	O ₂	N ₂	Воздух.	CO	CO ₂	SO ₂	H ₂ O	C ₂ H ₄	CH ₄
200	3,433	0,221	0,244	0,239	0,245	0,229	0,157	0,459	0,501	0,761
300	3,478	224	247	242	248	241	165	465	584	836
400	3,523	226	250	245	252	252	173	472	666	911
500	3,568	229	254	248	255	262	180	481	749	986
600	3,613	232	257	251	258	271	186	490	831	1,061
700	3,658	235	260	254	261	278	191	501	914	136
800	3,703	238	263	257	265	285	196	514	969	211
900	3,748	240	266	260	268	291	200	530	1,079	286
1000	3,793	243	270	263	271	295	203	547	161	361
1100	3,838	246	273	266	274	299	206	568	244	436
1200	3,883	249	276	270	277	302	208	591	—	—
1300	3,928	252	279	273	281	305	210	617	—	—
1400	3,973	255	282	276	284	308	212	647	—	—
1500	4,018	257	286	279	287	310	213	681	—	—
1600	4,063	260	289	282	290	311	214	718	—	—

Из сравнения тепловых балансов кремационной печи для случая сжигания трупа без гроба и случая сжигания с гробом явствует, что последнее в тепловом отношении

является более выгодным, так как для полного сжигания не требует добавления тепла посредством сжигания генераторного газа.

Расчет рекуператоров заключается в определении той поверхности, которая требуется для передачи необходимого для нагрева воздуха, поступающего в кремационную печь, до принятой температуры, тепла. Эту поверхность обычно составляют из металлических труб или из огнеупорных плиток, причем последние имеют меньший коэффициент теплопроводности и в то же время по механическим свойствам материала требуют большей толщины стенок, что в значительной степени понижает возможность нагревания воздуха до требуемой температуры (900°), а потому в новейших кремационных печах применены трубчатые рекуператоры из металлических труб.

Что касается металла, из которого могут быть изготовлены трубы для рекуператора, то таковым может быть чугун или железо. Последнее имеет более высокую температуру плавления, чем чугун. Железные трубы могут быть сделаны с меньшей толщиной стенок, но с другой стороны долговечность железных труб по теоретическим соображениям будет меньше, нежели чугунных; практических данных в этом отношении нет.

Определение поверхности рекуператора представляет задачу, в которой дается: количество тепла W_0 необходимое для нагревания воздуха от температуры t_1 до температуры t_2 и температура T_2 продуктов горения при входе в рекуператор и температура T_1 при выходе из него в дымовую трубу.

Для решения этой задачи, при условии противоположного направления движения продуктов горения и воздуха, техническая физика дает следующую формулу:

$$W_0 = F\lambda \frac{(T_2 - t_2) - (T_1 - t_1)}{\lg \frac{T_2 - t_2}{T_1 - t_1}} \quad (1), \text{ где } F \text{ искомая поверх-}$$

ность рекуператора, а λ коэффициент теплопередачи, для определения которого при значительной разности температур не имеется точных данных, в таблице же V даны вели-

чины этого коэффициента по Redtenbacher'у, отнесенные к 1 кв. метру, при разности температур в 1° и толщине стенки в 0,01 метра.

ТАБЛИЦА V.

Наименование материала стенки.	Среда, отдающая тепло.	Среда, воспринимающая тепло.	λ в килограмм-калориях с $1m^2$.
1. Глиняная	Продукты горения или воздух	воздух.	5
2. Чугунная	тоже.	"	10 — 15
3. Железная	"	вода.	13 — 20
4. Железная	пар.	воздух.	11 — 80
5. Железная	"	вода.	800 — 1000

Если в приведенную выше формулу (1) вставить цифровые значения температур, принятые при составлении теплового баланса кремационной печи, то получим

$$W_o = F\lambda \frac{(1100 - 900) - (400 - 0)}{\frac{1100 - 900}{400 - 0}} = F\lambda \frac{-200}{\lg n \frac{200}{400}} = F\lambda \frac{200}{0,693} =$$

$$= 288,6 F\lambda \quad (2) \text{ откуда } F = \frac{W_o}{288,6\lambda} = 0,0035 \frac{W_o}{\lambda} \quad (3) \text{ квадратных метров.}$$

Если нагревающие поверхности рекуператора будут составлены из трубчатых элементов внутренним диаметром r_1 , наружным r_2 и длиной L , то количество передаваемого тепла каждым элементом будет равно:

$$W = 2 \pi L\lambda (T - t) \quad (4) \text{ для стационарного процесса, а в случае изменяющихся } T \text{ и } t$$

$$W = 2 \pi L\lambda \frac{(T_2 - t_2) - (T_1 - t_1)}{\lg n \frac{T_2 - t_2}{T_1 - t_1}} \text{ калорий } (5).$$

Коэффициент λ в обоих случаях будет равен $\lambda = \frac{1}{\frac{1}{a_1 r_1} + \frac{1}{k} \lg n \frac{r_1}{r_2} + \frac{1}{a_2 r_2}}$ (6), где k — коэффициент тепло-

проводности материала стенок трубчатых элементов, a_1 и a_2 коэффициенты теплоотдачи, которые при условиях устройства и работы рекуператоров в кремационных печах могут быть приняты равным, причем

$$a_1 = a_2 = l + s + (0,0075 t + 0,0058S) \times (T_1 - t_1),$$

где l теплоотдача путем соприкосновения газов или воздуха с поверхностью рекуператора, принимаемая при движущемся газе равною 6 (по Валериусу и Грасгофу), S — представляет отдачу тепла путем лучеиспускания, который для железной поверхности может быть принят = 2,77.

Предполагая, что рекуператор составлен из n железных труб наружным диаметром 100 мм., внутренним 92 мм. и длиною 3 метра, общею наружною поверхностью $F = n \times \pi \times 0,100 \times 3,00 = 0,942 n$ квадр. метров, принимая для железа $k = 60$ и $T_1 - t_1 = 60^\circ$ находим:

$$a_1 = a_2 = 6 + 2,77 + (0,0075 \times 6 + 0,0056 \times 2,77) \times 60 = 12,37$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{1}{\frac{1}{12,37 \times 0,046} + \frac{1}{60} \lg n \frac{0,046}{0,050} + \frac{1}{12,37 \times 0,050}} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0,57} + \frac{0,083}{60} + \frac{1}{0,62}} = \frac{1}{1,76 - 0,001 + 1,61} = 0,31. \end{aligned}$$

Принимая в формуле (4) $T = \frac{1100 + 400}{2} = 750^\circ$,

$t = \frac{900 + 0}{2} = 450^\circ$, $L = 3 \text{ mt}$ и число трубок = n , получаем:

$W_0 = n \times 2 \times 3,14 \times 3,00 \times 0,31 (750 - 450) = n \times 1752$ калорий в 1 час (7).

По формуле же (5), принимая ранее указанные величины температур, находим:

$$W_0 = n \times 2 \times 3,14 \times 3,00 \times 0,31 \frac{(1100 - 900) - (400 - 0)}{\lg n \frac{1100 - 900}{400 - 0}} = n \times$$

$$\times 5,84 \frac{200}{0,693} = n \times 5,84 \times 288,6 = n \times 1685 \text{ калорий (8).}$$

Если же найденные значения $a_1 = a_2$ и λ вставить в формулу (1), дающую количество тепла, передаваемого плоской поверхностью P , равновеликою поверхности n трубок принятого диаметра, то получим: $W_0 = F \times 1645 = n \times 0,942 \times \times 1645 = n \times 1450 \text{ к. (9).}$

Таким образом при определении поверхности нагрева F рекуператора применение формулы (7) для стационарного процесса дает меньшее значение, нежели формула (8) для переменных температур и противоположных течений продуктов горения и воздуха.

Применение формулы (9) для плоских поверхностей для расчета трубчатых рекуператоров дает преувеличенную поверхность в 1,17 раза. Если же сравнить полученные результаты с опытными данными Redtenbacher'a, то окажется, что эти последние дают поверхность в 2 — 3 раза меньшую, что объясняется слабою разработкою вопроса о теплоотдаче.

При нагревании воздуха, подаваемого в кремационную печь, в регенераторах расчет последних заключается в определении емкости насадки регенератора по количеству W_0 тепла, которое она должна выделить при нагревании воздуха.

Если принять время действия каждого регенератора в $1/2$ часа и предельное понижение температуры насадки за это время равным 100° , то получим следующую зависимость между весом P насадки и $W_0 \times 0,5 = m \times P \times c \times 100$, где c теплоемкость кирпича, из которого сложена насадка, а m коэффициент полезного действия регенератора, принимаемый равным 0,6. Теплоемкость c шамотового кирпича в пределах температур от 0° до 1100° равна 0,26.

Вставляя, находим:

$$0,5 \times W_0 = 0,6 \times P \times 0,26 \times 100 \text{ откуда}$$

$$P = \frac{0,5 W_0}{0,6 \times 0,26 \times 100} = 0,03 W_0 \text{ килограммов.}$$

При весе 1 куб. метра шамотного кирпича = 1800 килограмм и объеме пустот между кирпичами, равном объему самой закладки, находим внутренний объем V_0 регенератора

$$V_0 = \frac{0,03 W_0}{0,5 \times 1800} = 0,000033 W_0 \text{ куб. метров (10), где } W_0 \text{ — выражено в килограмм-калориях.}$$

На основании изложенных в этой главе соображений и формул производится определение основных данных, необходимых для проектирования кремационных печей, а также рекуператоров и регенераторов их обслуживающих.

Определение размеров каналов и окон для прохода продуктов горения и воздуха производится по скоростям, принимаемым в пределах:

для каналов	от 0,5	до 3	метров	в секунду,
„ окон	„ 2	„ 5	„	„
„ камер	„ 0,10	„ 0,5	„	„

Расчет потребной тяги производится общеизвестным способом по сопротивлениям, развивающимся при движении газов по каналам.

