

662.87
Т32

В.А. ТЕМКИН

НОВЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ
В
СОЖИГАНИИ
ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА



АКЦ. — «ПРОМИЗДАТ» — О-ВО

МОСКВА

1927

ЛЕНИНГРАД

662
Т 32

Инж. В. А. ТЕМКИН

662
Т 32

НОВЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В СЖИГАНИИ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА

М. 11026
БИБЛИОТЕКА

44394

==

№ 89,96,08

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

Дер.

АКЦИОНЕРНОЕ „ПРОМИЗДАТ“ ОБЩЕСТВО
МОСКВА — 1927 — ЛЕНИНГРАД

ВВЕДЕНИЕ.

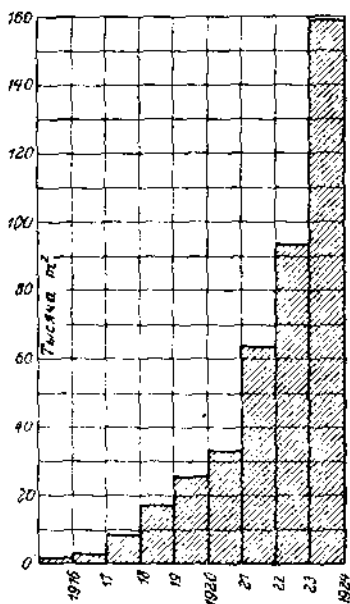
Закон диалектики находит свое блестящее | подтверждение в истории развития научно-технической мысли. Какую бы область в современной технике ни взять, везде находит себе подтверждение правило: в начале рождается новая идея, стремящаяся внести коренное изменение в рутину существующих технических методов и приемов. Ее первые шаги слабы, неуверенны, полны ошибок. Наступает период разочарований, старые методы и приемы побеждают. Идея как будто заглохла. Проходит длительный период. Казалось бы, всякие надежды погребены под толстым слоем скептицизма. Но процесс технического развития на известной стадии дает новый толчок зародившейся когда-то идее. Она возрождается, отбрасывает все те наслоения, которые мешали ей прежде претворить идею в дело. Она побеждает рутину. И то, что было погребено, что казалось давно забытым абсурдом, создает новую эпоху в области индустриального и научного творчества. Подтверждающих образцов и примеров нет надобности искать. Они на каждом шагу. Стоит хотя бы вспомнить идею алхимии. Еще очень недавно, каких-нибудь 25 — 30 лет тому назад, всякий уважающий себя химик считал вопрос превращения вещества погребенным безвозвратно. Пишущий эти строки помнит, как один из виднейших профессоров химии в России начинал свои лекции студентам 1-го курса поговоркой: «химия — дочь алхимии, дочь не виновата, что мать глуповата». Это отнюдь не только легкая острота, покушающая дешевые аплодисменты новичков студентов. Нет, это целое научное мирозерцание. Это отрицание «сказки» о превращаемости вещества. Это утверждение принципа незыблемости неизменных первичных элементов. Что оставила современная наука от этой твердыни непоколебимой веры в незыблемость элементов? Современная химия, химия радиоактивных веществ, химия ионов с усмешкой озирается на догмат незыблемости элементов.

Увы, химия не одинока в этом процессе. Каждая из современных дисциплин переживает аналогичное крушение старых твердынь под ударом безжалостной диалектики времени.

История развития сжигания твердого топлива в виде пыли повторяет тот же процесс. 104 года тому назад, в 1823 году 14 февраля, француз Дусон Колье получил патент на сжигание молотого угля в воздушной струе. Через 8 лет опыты Колье были повторены в Германии Генцелем. Никаких практических результатов эти первые опыты не дали. Новая попытка применения сжигания угля в виде пыли, сделанная американцами Сторером и Гуэльплеем в 1866 году,

также не дала осязательных результатов. Не имел успеха также и англичанин Крамптон, заявивший патент свой в 1869 году.

Через 30 лет вновь был поднят вопрос о сжигании угля в виде пыли. Каждый раз эти попытки к переходу от кускового угля к угольной пыли терпели крушение вследствие слабого развития техники размала. Теоретически вопрос о преимуществе сжигания измельченного топлива над сжиганием его в крупных кусках был уже полностью разрешен к моменту получения Крамптоном его патента. Но должно было пройти почти целое столетие, пока многократно побежденная угольная пыль заняла твердую позицию в области теплотехники и начала наносить удар за ударом кусковому углю. Два обстоятельства обусловили новую стадию вопроса о пылеугольном топливе: во-первых, мировая война, принесящая с собой оскудение топливных ресурсов и необходимость использования как более плохих сортов топлива, так и наиболее экономичных методов сжигания, и, во-вторых, сильное развитие техники перемалывания минеральных веществ, давшей пылесожигательному методу мощное оружие для завоевания подходящих



Фиг. 1. Диаграмма роста поверхности нагрева паровых котлов, отапливаемых пылеугольными топками в Америке.

позиций. Мечта французского изобретателя нашла твердую базу для своего развития почти через 100 лет.

Родиной пылесожигательного метода в XX столетии явились С.-А. Соединенные Штаты. Выше мы приводим диаграмму развития пылесожигания в котельном хозяйстве Северной Америки. Из этой диаграммы виден тот могучий, все ускоряющийся рост пылесожигательных устройств, который переживает американское тепловое

хозяйство за последние 9 лет. Если в 1916 г. (см. диагр.⁵¹) едва 1.000 кв. метр. поверхности нагрева котлов отапливалось пылеугольными топками, то в 1921 году количество новых установок по сжиганию угольной пыли под паровыми котлами охватывало уже шестьдесят пять тысяч квадратных метров, а в 1924 году пылесожигательные топки были установлены под паровыми котлами общей поверхностью в 160.000 квадр. метров.

В настоящий момент только две крупные американские фирмы «Fuller Leghi G^o» и «Combustion Engeneering G^o» имеют установленные пылеугольные топки на 340.000 кв. м. поверхности нагрева паровых котлов. Если эти цифры развития пылесожигаия в котельном хозяйстве могут сколько-нибудь быть убедительными, то нам кажется, что самые твердокаменные скептики и противники пылесожигаия должны поколебаться в своем упрямстве и должны вспомнить старую поговорку о том, что факты очень упрямая вещь. Факты одним голым скептицизмом опровергнуть невозможно.

В сентябре 1924 года на Съезде национальной ассоциации электротехников Сев. Америки в Нью-Йорке была дана следующая оценка пылесожигательного метода: «Тот исключительный рост применения пылесожигаия, который проявился за последний год, и те значительные успехи, которые достигнуты помощью пылесожигаия, подтверждают факт, что в настоящее время ни одно серьезное проектирование теплосиловой установки не возможно без подсчета в виде варианта пылесожигательного устройства. Решение вопроса о том, какую из топок нужно применить, пылесожигательную или механическую колосниковую, зависит, в каждом отдельном случае, от детального учета всех местных условий. Вопрос практического применения и целесообразности пылесожигаия можно считать в настоящее время решенным безусловно в положительном смысле».

Что вышеприведенные выводы всецело подтверждаются американской практикой, лучше всего доказывают следующие примеры относительно крупных установок, производимых и частично уже произведенных в С.-Ам. Штатах.

Компания Детройт Эдисон устанавливает шесть паротурбинных агрегатов, по 50.000 квт. каждый, при чем все котлы снабжены пылесожигательными топками. Первая такая установка была пущена в ход в 1924 году на станции Трентон Ченель.

Соединенная Компания Электрического Освещения и Энергии в С.-Луи на своей центральной станции в Кагокия устанавливает 4 паротурбинных агрегата, по 60.000 квт. каждый, с котлами исключительно на пылевидном топливе. Первая установка в работе с 1923 г., вторая—с 1924 и остальные две заканчиваются в настоящий момент.

Компания электрического освещения Дуквесен на своей станции Кольфакс устанавливает уже третье оборудование по 60.000 квт. с пылесожигательными топками.

Предприятие Лак Шор в Клевленде (штат Огио) с 1923 года работает на 4-х котлах, каждый по 2.845 кв. метров поверхности нагрева, на пылесожигательных топках.

Станция Лак-Сайде в Мильвоки, после длительных испытаний пылесожигательных топок, построила две последующие очереди,

работающие на пылесожигательных топках. Первая станция состоит из 8 котлов по 1.240 кв. метр. поверхности нагрева каждый, а вторая из 8 котлов по 1.700 кв. метр. каждый.

Из 70.000 кв. метров, для которых в 1923 году американская промышленность заказала пылесожигательные топки, около 35% составляли котлы значительно меньшей поверхности нагрева, чем те, которые мы указали выше.

Этот список американских установок можно было бы значительно удлинить, но мы считаем, что и сказанного достаточно, чтобы в кратких чертах обрисовать тот размах, который приобрело пылесожигание, как метод отопления в американском паросиловом хозяйстве. В дальнейшем изложении мы посвятим еще несколько времени более детальному освещению характера и результатов пылесожигания, достигнутых в американских установках. Здесь мы считаем необходимым еще только добавить, что в Америке пылесожигание, главным образом, получило распространение, именно, в паросиловом хозяйстве. В промышленных печах, как, например, металлургических, керамических и т. п., пылесожигание в Америке получило несколько меньшее применение. Объясняется этот факт тем, что Америка чрезвычайно богата нефтью. Но и в этой области Америка идет, вероятно, впереди всего остального мира. Так, например, в период войны, когда нефть потребовалась, главным образом, для транспорта, около 2.000 металлургических печей были переведены на пылесожигание. По сравнению с этим мощным расцветом пылесожигания в Америке, применение его в Европе много скромней. Не приходится, конечно, долго искать объяснения этому явлению. Обнищавшей после империалистической войны Европе, конечно, трудно произвести такую затрату капиталов на свое переоборудование, как это может позволить себе богатая Америка. Но если рассмотреть практику Европы, то и здесь мы видим чрезвычайно бурный процесс роста в области пылесожигания. Правда, здесь процесс протекает несколько в ином направлении и в ином масштабе. В противоположность грандиозным, центральным установкам Америки, мы видим довольно быстрый рост, напр., в Германии, мелких индивидуальных установок. В середине 1925 г. в Германии насчитывалось около 200 пылесожигательных установок, из которых около 50 приходилось на паросиловые оборудования и около 150 на промышленные печи и, главным образом, на металлургию. Объяснение этому факту также легко найти в экономике всей германской промышленности. Высококачественными углями, чрезвычайно важными в металлургии, Германия, после войны, стала бедна. Главные отопительные ее ресурсы — бурные низкосортные угли. Нефти у Германии тоже нет. Естественно поэтому, что металлургия должна в наибольшей степени реагировать на пылесожигательный метод. Для металлургических печей редко приходится ставить большие, центральные установки. Они прекрасно обходятся небольшими индивидуальными установками.

Кроме того, самый характер металлургической печи, а следовательно и условия горения в металлургической печи — другие, чем в котельной топке. Здесь имеют место гораздо большие пути для газов. Здесь лучше происходит сгорание более крупных зерен угля, и поэтому те дефекты помола, которые могут быть очень ощутительны для топки

парового котла, скрадываются в металлургической печи. В то же самое время индивидуальная пылесожигательная установка, часто состоящая из одной мельницы с вентилятором для транспортировки пыли к форсунке, требует несравненно меньшего вложения капитала, чем большая центральная углепомольная станция. Нужно иметь еще в виду, что в целом ряде металлургических печей экономический эффект, получаемый от пылесожигания, чрезвычайно велик. Так, напр., Гельбиг приводит в своей книге ¹⁾ ряд примеров—результатов пылесожигания в металлургических печах.

Мы позволим себе использовать только несколько таких примеров:

1. Производительность пудлинговой печи повысилась от применения пылесожигательной топки на 25%, при чем расход угля понизился по сравнению с колосниковой топкой на 40%.

2. В подогревательных печах одного металлургического завода переход от ручной колосниковой топки к пылесожигательной уменьшил обслуживающий персонал с 36 человек на 7, при чем количество топлива на тонну металла упало с 250 на 80 кг.

3. Пакетировочная печь при механической колосниковой топке потребляет 200 — 225 кг. угля на тонну металла; при ручной колосниковой топке — 225 — 300 кг. на тонну металла; при генеративной топке — 300 кг., а при пылесожигательной топке — 130 — 150 кг. угля на тонну металла.

Мы ограничимся этими несколькими примерами; они вполне отчетливо иллюстрируют то обстоятельство, почему в металлургических печах можно обращать гораздо меньше внимания, и сравнительно обращать меньше внимания на тонину помола, на метод подвода воздуха и т. п.

Мы считаем, что эти моменты оказали весьма серьезное влияние на направление конструкторской мысли в первый период развития пылесожигания в Германии.

Все-таки и здесь приходится констатировать, что кривая роста пылесожигания имеет весьма крутой подъем. Еще в 1920 году, Мюнцингер писал о том, что в Германии нет еще опыта в области пылесожигания и что приходится довольствоваться данными американских установок. В 1925 г. в Германии уже имелось около 200 пылесожигательных установок.

Если пожелать провести параллель между характером пылесожигания в Америке и Германии, то придется констатировать следующие основные различия этих двух типов.

1. В Америке преобладает центральная система мощных установок, снабженных всеми усовершенствованиями, в целях максимальной экономичности эксплуатации и автоматичности работы. В Германии преобладают дешевые индивидуальные мельницы, зачастую перемалывающие уголь без предварительной подсушки.

2. В Америке стремятся к возможно большему объему топочного пространства, в Германии имеется стремление к максимальной концентрации пламени.

3. В Америке преобладает вертикальное направление пламени, в Германии — горизонтальное.

¹⁾ Helbig, Brennstaub Aufbereitung und Verfeuerung, стр. 133 и след.

парового котла, скрадываются в металлургической печи. В то же самое время индивидуальная пылесожигательная установка, часто состоящая из одной мельницы с вентилятором для транспортировки пыли к форсунке, требует несравненно меньшего вложения капитала, чем большая центральная углепомольная станция. Нужно иметь еще в виду, что в целом ряде металлургических печей экономический эффект, получаемый от пылесожигания, чрезвычайно велик. Так, напр., Гельбиг приводит в своей книге ¹⁾ ряд примеров—результатов пылесожигания в металлургических печах.

Мы позволим себе использовать только несколько таких примеров:

1. Производительность пудлинговой печи повысилась от применения пылесожигательной топки на 25%, при чем расход угля понизился по сравнению с колосниковой топкой на 40%.

2. В подогревательных печах одного металлургического завода переход от ручной колосниковой топки к пылесожигательной уменьшил обслуживающий персонал с 36 человек на 7, при чем количество топлива на тонну металла упало с 250 на 80 кг.

3. Пакетировочная печь при механической колосниковой топке потребляет 200 — 225 кг. угля на тонну металла; при ручной колосниковой топке — 225 — 300 кг. на тонну металла; при генеративной топке — 300 кг., а при пылесожигательной топке — 130 — 150 кг. угля на тонну металла.

Мы ограничимся этими несколькими примерами; они вполне отчетливо иллюстрируют то обстоятельство, почему в металлургических печах можно обращать гораздо меньше внимания, и сравнительно обращают меньше внимания на тонину помола, на метод подвода воздуха и т. п.

Мы считаем, что эти моменты оказали весьма серьезное влияние на направление конструкторской мысли в первый период развития пылесожигания в Германии.

Все-таки и здесь приходится констатировать, что кривая роста пылесожигания имеет весьма крутой подъем. Еще в 1920 году, Мюнцингер писал о том, что в Германии нет еще опыта в области пылесожигания и что приходится довольствоваться данными американских установок. В 1925 г. в Германии уже имелось около 200 пылесожигательных установок.

Если пожелать провести параллель между характером пылесожигания в Америке и Германии, то придется констатировать следующие основные различия этих двух типов.

1. В Америке преобладает центральная система мощных установок, снабженных всеми усовершенствованиями, в целях максимальной экономичности эксплуатации и автоматичности работы. В Германии преобладают дешевые индивидуальные мельницы, зачастую перемалывающие уголь без предварительной подсушки.

2. В Америке стремятся к возможно большему объему топочного пространства, в Германии имеется стремление к максимальной концентрации пламени.

3. В Америке преобладает вертикальное направление пламени, в Германии — горизонтальное.

¹⁾ Helbig. Brennstaub Aufbereitung und Verfeuerung, стр. 133 и след.

4. В Америке работают по преимуществу с высоким давлением в форсунке — 200 — 250 м/м. водяного столба, в Германии, большей частью, с низким давлением — 5 — 20 м/м водяного столба.

5. В Америке предпочитают плоские форсунки, в Германии — круглые.

6. В Америке стремятся достичь грануляции шлаков и предохранения стенок пылесожигательной камеры путем опускания в топочное пространство части котла и пароперегревателя; в Германии — этих уже результатов стремятся добиться при помощи воздушного охлаждения пылесожигательной камеры и путем возможно более тщательного подвода вторичного воздуха.

Пути развития пылесожигания во Франции и Бельгии в значительной степени являются комбинированием американского и германского метода. Первоначально во Франции преобладал тип американский; так, напр., центральная станция в Витри построена по типу американской станции Ривер-Руж, Кагокия и т. п. За последние пару лет во Франции и, особенно, в Бельгии начали усиленно развиваться индивидуальные пылесожигательные установки по германскому образцу.

Конечно, противопоставлять американский национальный тип пылесожигания германскому национальному типу — не приходится. Да и в чистом виде специфических установок, как в Германии, так и в Америке — нет. И наука и техника в настоящее время интернациональны: американский опыт, конечно, учитывается в Германии, и Америка, в свою очередь, весьма зорко следит за германскими достижениями. Теоретическое суммирование всего этого опыта и практическое использование всех достигнутых результатов обоими типами конструкций есть та задача, которую должен поставить себе каждый теплотехник, идя по пути практического изучения пылесожигания. Задача настоящей работы понимается автором в том смысле, что она должна ознакомить нашу советскую технику с достижениями последних лет в области пылесожигания и показать те практические и теоретические элементы, которые выявились в пылесожигании за последние 3 - 4 года.

РАЗДЕЛ I.

ПОДГОТОВКА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ.

Глава I.

Разгрузка и хранение угля.

В отношении снабжения пылесожигательного оборудования сырьем, т.-е. каменным углем, приходится соблюдать те обычные формы, какие практикуются в отношении всякого фабричного сырья сыпучего типа. Поскольку пылесожигательное устройство есть устройство механизированное, постольку, естественно, и вспомогательные процессы, т.-е. процессы разгрузки угля на угольных складах и транспортировки угля со склада к месту размола, должны быть также в правильно построенном оборудовании, по возможности, механизированы.

Для того, чтобы уяснить себе, как следует организовать хранение и разгрузку угля, необходимо прежде всего уяснить себе самый процесс движения топлива в пылесожигательной установке. Соответственно этому процессу, конструкция всего оборудования должна быть такова, чтобы, с одной стороны, путь, проходимый топливом от начального пункта до места сжигания угольной пыли, был минимальным и все время происходил бы поступательно без излишних, обратных движений; с другой стороны, снабжение всего оборудования углем должно идти бесперебойно и задержек в производстве ни в коем случае не должно быть; наконец, с третьей стороны, вся эта вспомогательная операция должна быть возможно более дешевой.

Схемы I и II показывают, каков путь движения угля от исходной точки, т.-е. места подвозки его, до заключительного момента, когда он сжигается в виде пыли в топке. В первой схеме дано движение угля при центральной системе пылесожигания, а в схеме второй — при индивидуальной топке. В обеих системах, для подачи угля в подготовительное отделение, должны быть обязательно предусмотрены два момента: во-первых, подвозимый уголь может быть разгружаем непосредственно в угольный приемник подготовительного отделения из вагона, и, во-вторых, должен поблизости от этого приемника быть расположен угольный склад, куда поступает весь избыток подвозимого угля и откуда должно питаться оборудование углем в моменты перерывов в подвозке. Необходимость в такой конструкции, естественно, вытекает из вышесказанного. Конечно, самый дешевый способ подачи угля к подготовительному отделению — это непосредственная ссыпка из вагона в угольный приемник. Однако, как бы вместителен ни был

этот приемник, тепловую установку нельзя базировать только на этом резерве топлива. Поэтому, устройство буферного угольного склада, даже при самых благоприятных условиях снабжения и транспорта, является неизбежным. С другой стороны, пропускать весь поступающий на установку уголь через угольный склад нерационально, ибо при этом уголь испытывает двойную нагрузку и разгрузку.

Обычно практикующаяся в настоящее время система угольных складов представляет собою открытый двор, где уголь складывают

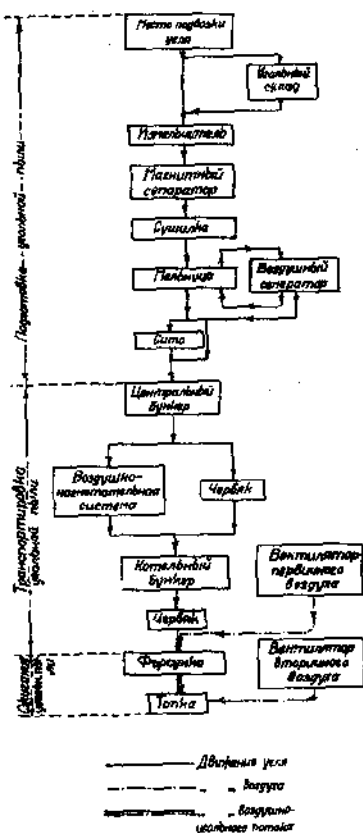


Схема 1.

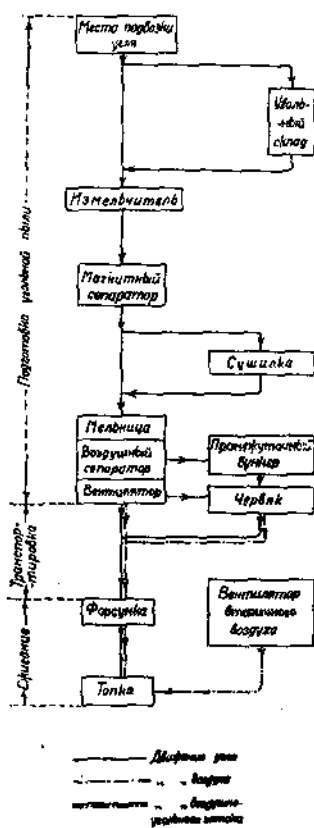
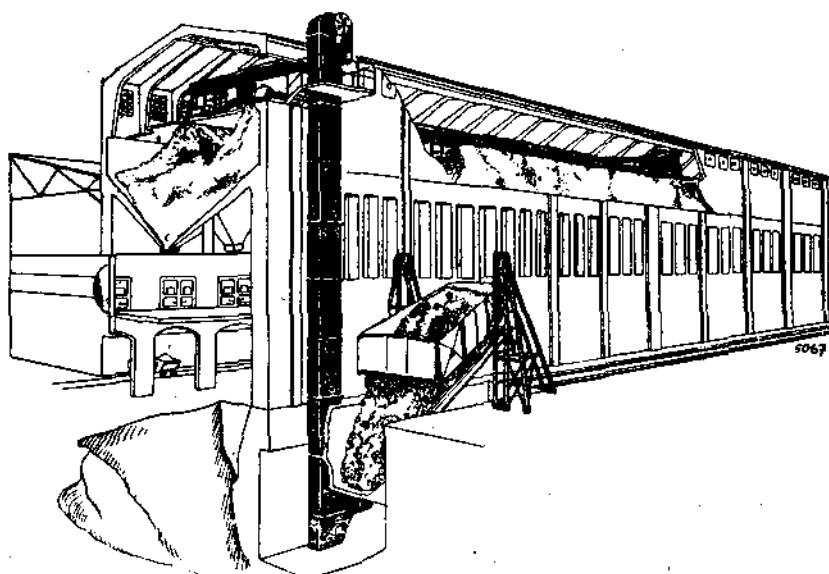


Схема 2.

в штабелях. Это, конечно, наиболее дешевый способ, требующий наименьших первоначальных затрат, но, в то же время, в эксплуатационном отношении он наименее рационален. Особенно он нерационален при методе пылесождения, ибо и перемалывание угля, как видно будет впоследствии, и сжигание его происходит тогда наиболее экономно, когда влаги в угле имеется наименьшее количество; поэтому хранить уголь на складе желательно в помещениях, более или менее защищенных от действия атмосферных осадков. К угольному складу в этом смысле должно быть предъявлено два требования: во-первых, уголь должен быть защищен от дождя и снега и, во-вторых, должен иметь наилучший доступ воздуха для возможно полного испарения

влаги во время его хранения. Склады, в которых должен храниться уголь, следует делать в виде легких построек, снабженных возможно большим количеством открывающихся ворот. Эти склады должны также удовлетворять еще двум обязательным требованиям: во-первых, вагоны с углем должны подходить или снаружи или внутри их так, чтобы разгрузка из вагонов производилась непосредственно к месту укладки угля, и, во-вторых, чтобы площадь, на которой лежит уголь, была достаточного размера для возможности перелопачивания угля и предохранения его от перегрева и самовоспламенения.

Расположение крытых складов должно быть, по возможности, таково, чтобы отделение для подготовки пыли находилось в центре между ними. При этом ленточные транспортеры должны проходить между угольными буртами, давая возможность наиболее легкой сыпки



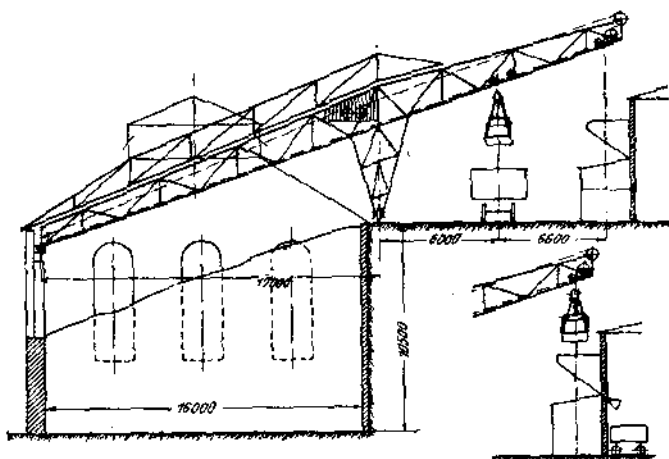
Фиг. 2. Механическая разгрузка вагона над угольной ямой.

угля на полотно транспортера. Однако, расположение как угольных складов, так и транспортеров не должно мешать непосредственной подаче вагонов к углемольному зданию, а направление угольных путей должно быть спроектировано так, чтобы вагоны подходили к угольному складу с одной стороны, и выходили с другой. В наилучше оборудованных устройствах Германии и Америки угольные вагоны, при подводе их к месту хранения угля, опорожняются механически путем подъема одного из торцевых концов и быстрого высыпания всего содержимого через другой торцевой конец.

На фиг. 2 показан один из способов такой разгрузки вагона.

За последнее время ленточные транспортеры устраиваются с полотном из стальной ленты, так как полотно из резины, хл.-бумажной ткани, ткани балата и т. п. слишком быстро снашиваются. Очень часто рельеф местности делает применение ленточных транспортеров

невозможным, ибо последние можно применять лишь на сравнительно ровном горизонтальном участке и, кроме того, применение их на слишком большом расстоянии представляет некоторые неудобства. В этих случаях рекомендуется применение либо передвижных кранов с грайферами и автоматическими вагонетками, или подвесных дорог с автоматически разгружающимися вагонетками. На фиг. 3 показан, в виде образца, способ транспортировки при помощи грайфера, применяемый на заводе точной механики в Тутлентене.



Фиг. 3. Разгрузка угля грайфером.

На фиг. 4 показана транспортировка при помощи передвижного крана на металлообрабатывающем заводе в Нью-Йорке — «КларкТред К^о» (Америка).

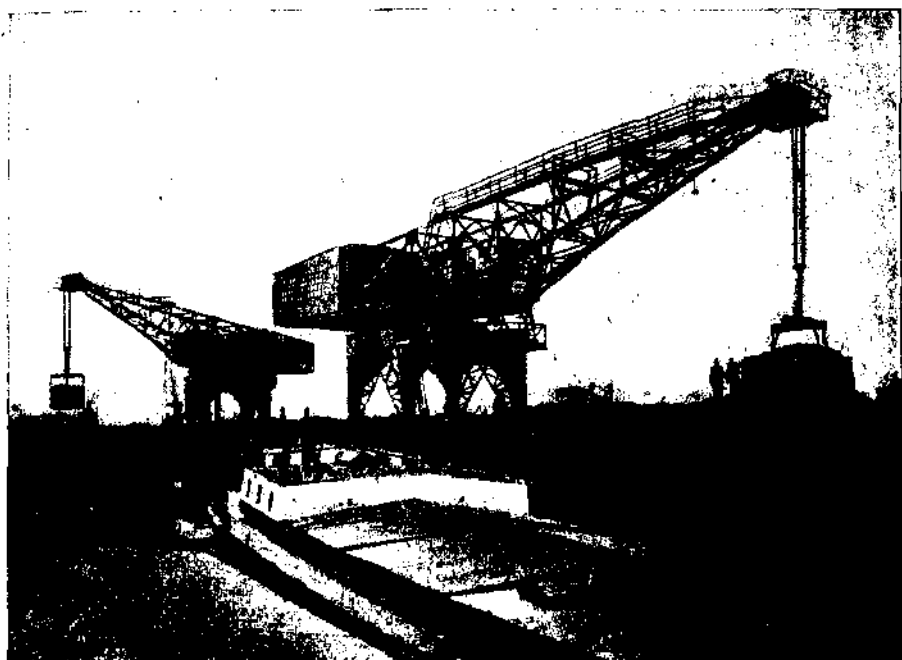


Фиг. 4. Транспортировка угля передвижным краном на заводе «Кларк-Тред К^о» в Нью-Йорке.

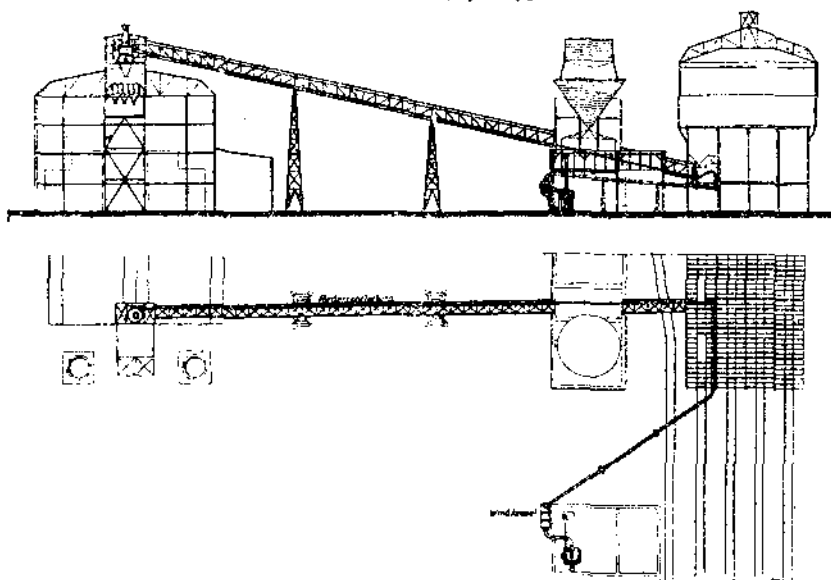
На фиг. 5 показано крановое разгрузочное устройство на машиностроительном заводе в Дуисбурге. Такое устройство при помощи громадных передвижных кранов может быть применено только в очень больших центральных установках.

Нужно вообще сказать, что крановое оборудование и подвесная дорога при больших расстояниях и изрезанном рельефе местности обходится много дешевле, как в смысле первоначальных затрат, так и в смысле эксплуатации, благодаря чему в большинстве случаев следует предпочесть этот способ транспортировки угля к углепормольному отделению.

В последнее время все большее распространение приобретает пневматический метод транспортировки угля. На фиг. 6 показана схема пневматической подачи угля в котельное помещение. Уголь



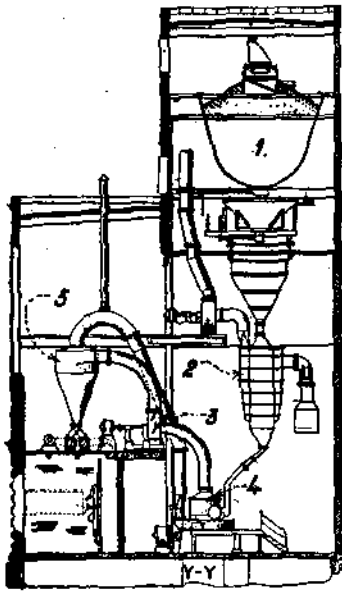
Фиг. 5. Разгрузка угля при помощи передвижных кранов на машиностроительном заводе в Дуйсбурге.



Фиг. 6. Пневматическая подача угля в котельную.

из питателя попадает в пневматическую линию, при чем для транспортировки 60 тонн орешка на расстоянии около 100 метр. расходуется около 80 лощ. сил. Это устройство тем удобно, что чрезвычайно мало снашивается, требует самого незначительного ухода за собой и в эксплуатации обходится дешевле других способов.

Как уже нами выше указывалось, уголь попадает в котельное помещение и со склада, и непосредственно из прибывающих железнодорожных вагонов. В этом последнем случае он разгружается в специальный угольный сборник или, вернее, угольную яму, расположенную возле углепомольного помещения у одной из его наружных стен. Отсюда ковшевым транспортером он подается на промежуточный бункер, находящийся в наиболее высокой точке углепомольного



1—бункер для угля; 2—сушилка; 3—экстаузер; 4—мельница; 5—циклон.

Фиг. 7. Поперечный разрез углепомольного устройства центральной станции Суксвегана, К^о Метрополитен.

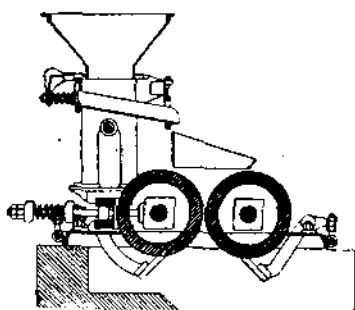
помещения. Этот промежуточный, резервный бункер для хранения угля выполняет обычно две задачи: во-первых, он служит небольшим резервом, из которого питается непрерывно пылесожигательная система, и, во-вторых, он служит для того, чтобы уголь двигался по углепомольному помещению в процессе обработки таким образом, чтобы на это движение приходилось затрачивать минимальное количество энергии. Эти два соображения определяют приблизительные размеры бункера и примерное его расположение. Обычно емкость такого бункера определяется условиями работы сушилки и мельницы и рассчитывается примерно на запас топлива от 6 до 12 часов. Так как наиболее дешевый способ движения угля в процессе работы есть движение самотеком, то выгоднее всего помещать такой бункер в самой верхней точке углепомольного помещения и на такую высоту, чтобы из него уголь самотеком мог двигаться в измельчитель, в сушилку и мельницу, без необходимости повторных подъемов. Рас-

положение бункера по этой системе показано на фиг. 7, изображающей разрез углепомольного устройства на центральной станции Суксвегана, Компании Метрополитен.

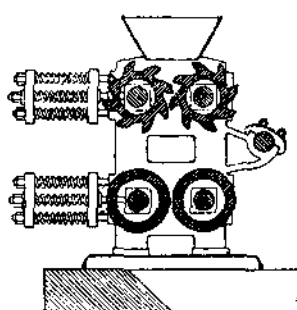
Предварительное измельчение, механизмы для удаления железа и промежуточные бункера.

Прежде чем уголь поступит в размол, он должен претерпеть 3 основных операции.

Во-первых, куски должны быть доведены до определенной величины, во-вторых, из него должны быть удалены те его примеси, которые могут разрушительно действовать на механизм мельницы, и, в-третьих,



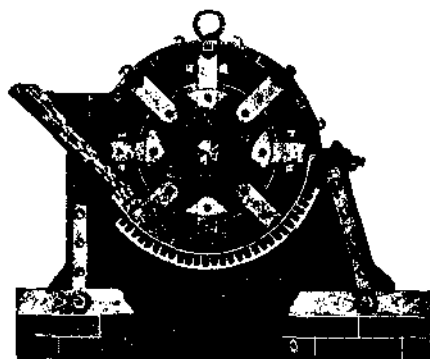
Фиг. 8. Одианный вальцевый измельчитель Ф. Крупп, Грузонверк в Магдебурге.



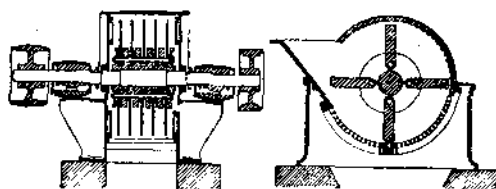
Фиг. 9. Сдвоенный измельчитель системы Ф. Крупп, Грузонверк, Магдебург.

влага должна быть из угля удалена настолько, чтобы в процессе размола и в дальнейшем, при сжигании угольной пыли, она не оказывала вредного действия в работе.

Для предварительного измельчения в настоящее время применяются две системы измельчителей. Одна система представляет собой вальцевые измельчители, а другая, так называемые, бильные мельницы. Конструкция первого типа показана на фиг. 8 и 9.



Фиг. 10. Бильный измельчитель фирмы Фельнер и Циглер, Франкфурт.



Фиг. 11. Бильный измельчитель Ф. Крупп, Грузонверк, Магдебург.

Конструкция второго типа изображена на фиг. 10 и 11.

Конструкция, показанная на фиг. 8, применяется в тех случаях, когда уголь, поступающий на установку, сортирован, и величина его кусков более или менее равномерная. Вальцы, к которым уголь поступает из загрузочного ковша через трясушку, сделаны из стали, имеют довольно спокойный ход и измельчают уголь до величины кусков

30 — 40 м/м. в поперечнике. Расход мощности на такой измельчитель составляет от половины до полутора квт. на часовую тонну. Машина делает около 100 оборотов в минуту и обладает производительностью от 8 до 25 тонн в час. В том случае, когда уголь, поступающий в обработку, сортирован плохо и куски угля могут иметь самую разнообразную величину, рекомендуется применять конструкцию измельчителя, изображенную на фиг. 9. Этот измельчитель имеет 2 пары валцов, при чем верхняя пара имеет зубчатую поверхность и служит для грубого измельчения, с таким расчетом, чтобы на вторую пару гладких валцов, помещающуюся под первой парой, куски угля попадали величиной не свыше определенных размеров. В этом случае нижняя пара валцов выполняет ту же самую роль, какую выполняют валцы и в предыдущей конструкции.

Бильные измельчители, как в смысле производительности, так и в смысле мощности, работают значительно лучше, чем валцевые. Конструкция такого измельчителя ясна на фиг. 10 и 11.

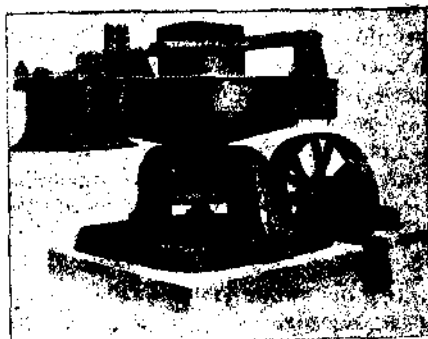
Билы в этих измельчителях прикреплены эластично к вращающемуся барабану, измельчение угля происходит благодаря удару этих бил по кускам угля, притекающим по наклонному лотку на ребристую стенку кожуха измельчителя. Чем меньшие просветы даются между ребрами кожуха, тем более мелкий уголь можно получить на таких измельчителях. При желании этот измельчитель может дать куски величиной в 2 м/м. Так как билы эластично прикреплены на оси, то попадание твердых кусков посторонних веществ, как, напр., железа, серного колчедана и т. п., вредного действия на машину не оказывает. Число оборотов таких измельчителей достигает 1400 в минуту. Коренные подшипники машины обычно делаются шариковыми. Благодаря этому холостой ход машины потребляет ничтожное количество энергии.

Иногда расположение аппаратуры в подготовительном отделении несколько видоизменяется: непосредственно вслед за угольной ямой, куда уголь сбрасывается из вагонов или подается со склада, он попадает на измельчитель и, пройдя его, дальше уже движется в том порядке, в каком было описано выше, т. е. с измельчителя в карманный элеватор, из последнего в промежуточный бункер и далее через сушилку к мельнице. В том случае, когда установка не центральная, а индивидуальная, обычно обходятся, ради дешевизны оборудования, без сушилки, а иногда и без промежуточного бункера. В этом случае уголь из измельчителя непосредственно поступает в мельницу, а оттуда по мере готовности помола подается вентилятором в пылесожигательную камеру. Вообще модификаций установок много, но, несомненно, что применение измельчителя, сушилки и промежуточного бункера является даже и при индивидуальной установке, в рационально сконструированной системе, необходимым. В том случае, когда мельница, даже в индивидуальной установке, работает не непосредственно на пылесожигательную камеру, а предварительно передает готовую пыль в котельный бункер, наличие промежуточного бункера для хранения некоторого запаса кускового угля — необходимо. В дальнейшем изложении, когда мы будем рассматривать условия работы мельниц, будет детально выяснено, что только полная нагрузка мельницы обеспечивает максимальную экономичность ее работы. Так как режим котла меняется, то, естественно, что при отсутствии промежуточных

бункеров, мельница должна была бы работать с максимальной своей производительностью только в отдельные моменты, а все остальное время работала бы с недогрузкой, что, естественно, значительно понижало бы коэффициент ее полезного действия и в свою очередь уменьшало бы экономичность работы пылесожигательного устройства.

Для подачи кускового угля как в измельчитель, так и в мельницу служат, так называемые, автоматические «питатели». Систем этих питателей очень много, но наиболее удобными оказались на практике, так называемые, тарельчатые питатели. Конструкция такого питателя видна на фиг. 12.

Преимущество этой конструкции питателя состоит в том, что правильность и производительность его работы не зависит от свойств угля. Этот питатель работает совершенно одинаково как при крупном угле, так и на мелочи, как при совершенно сухом материале, так и при очень влажном. Принцип его работы состоит в том, что коническая тарелка, составляющая основную часть прибора, приводится во вращательное движение при помощи шестеренной передачи и подводит сыпавшийся на нее из бункера уголь к неподвижному ножу, который заставляет этот уголь менять направление из кругового в поступательное. Вдоль этого ножа уголь продвигается к сыпной воронке, и дальше уже идет по назначению. Высота ножа и бортиков над конической тарелкой устанавливается в зависимости от количества пропускаемого угля.



Фиг. 12. Тарельчатый питатель завода Фельнер и Нигер во Франкфурте.

Глава III.

Сушилки.

Как в центральной системе, так и во многих наиболее рационально сконструированных индивидуальных системах уголь, перед поступлением в мельницы, проходит через сушилку.

Теоретически является совершенно безразличным, когда будет удалена влага из топлива. Количество тепла, затрачиваемое на испарение этой влаги, должно было бы быть совершенно одинаково, как в том случае, когда это испарение происходило бы в топочной камере, так и в том случае, если это испарение производилось бы в специальном приборе. Однако, практически выявляется, что выпаривание воды из топлива в отдельной сушилке требует меньшего расхода тепла и более поэтому экономично.

Гельбиг¹⁾ обосновывает это следующими соображениями:

¹⁾ Helbig. Brennstaub Aufbereitung und Verfeuerung, стр. 14.

1. При хорошей эксплуатации и правильной конструкции сушилки дымовые газы покидают сушилку при температуре 60 — 90° С, в то время как из парового котла и промышленной печи газы выходят при температуре более высокой. Таким образом потери в трубу в сушилке меньше, чем у котла и промышленной печи.

2. Водяные пары, выделяющиеся из влажной угольной пыли в топочной камере, под действием высокой температуры в известной части диссоциируют. Это разложение обуславливает определенную затрату тепла и понижает топочную температуру. Благодаря тому, что температура топочных газов претерпевает при этом двукратное понижение и от испарения влаги из топлива и от процесса диссоциации, — естественно, понижается и теплопередача от газов к поверхности нагрева. А это в свою очередь ухудшает коэффициент полезного действия топочного оборудования.

3. Так как водяные пары, содержащиеся в дымовых газах котла или промышленной печи, имеют очень высокую температуру, то объем их получается весьма значительным. Это обстоятельство также вредно сказывается на экономичности топки, ибо повышает трение в газоходах.

Этими тремя моментами Гельбиг объясняет, почему предварительная просушка угля в специальной сушилке оказывается на практике экономичнее, чем непосредственное сжигание сырого угля в топке.

Нужно, однако, сказать, что необходимость применения сушилок обуславливается не столько вышеприведенными соображениями, сколько гораздо более важными моментами, так сказать, производственного характера. Первым и важнейшим моментом является неблагоприятное действие влаги на работу мельницы. Действие это двоякого рода: во-первых, некоторые сорта угля при значительной влажности совершенно не дают необходимого качества помола, и, во-вторых, расход мощности на размол, по мере увеличения влажности угля, возрастает в геометрической прогрессии. Кроме того, производительность мельницы значительно понижается.

Вторым чрезвычайно отрицательным моментом, имеющим место при сыром угле, является, так называемое, слипание и слеживание угольной пыли в бункерах и в транспортирующей сети в виде комьев. Благодаря этим комьям заstopоривается правильность подачи угольной пыли к форсунке, а потери от механической неполноты сгорания в топочной камере сказываются в значительном содержании несоревшего угля в шлаках. При очень сильной влажности угольной пыли, явления слипания и слеживания могут получиться столь значительными, что вся система остановится. В бункере образуются целые пласты слежавшейся пыли, которые прекращают доступ топлива к питательному червяку. В таких случаях приходится сделать весьма тяжелую и утомительную работу по разбиванию таких слежавшихся пластов. При этом теряется очень значительное количество топлива.

Вопрос относительно степени просушивания угля разрешается различными авторитетами по-разному. Американцы высказываются за последнее время в том смысле, что слишком большая просушка угля излишня. На целом ряде американских установок — в Лак-Сайде, Бруно-Айсландии, Спрингдале и др. — влажность угля, пускаемого

на помол, колеблется от 1 до 8 %. Данные относительно испытаний пылесожигательного оборудования Лак-Сайд в Мильвоки, произведенные в 1923 г., показывают, что уголь, поступивший в помол, имел влажность от 4,41% до 11,7%.

Немецкая практика и немецкие авторитеты в лице проф. Мюнцингера, Бляйбтроя, Розина, Франке, Гельбига и др. стоят на точке зрения возможно большего высушивания угля перед поступлением его на мельницу.

В отношении каменного угля немецкая точка зрения устанавливает степень влажности угля, идущего на мельницу, в пределах от 0,5 до 1%%. Что касается битуминозных и, в особенности, бурых углей, то и германская практика остановилась на пределе высушивания около 15% влаги. Более сильное высушивание бурых углей, по мнению немецких специалистов, не только бесполезно, но и вредно. При слишком большом высушивании бурого угля он легко самовоспламеняется. Кроме того, благодаря большой гигроскопичности, бурый уголь, содержащий менее 15% влаги, присасывает влагу из окружающей среды.

Гельбиг¹⁾ дает следующую весьма интересную таблицу соотношений весов влажного и сухого угля при различных степенях начальной и конечной влажности:

Таблица № 1.

Просушка до 0% окончательной влажности.				Просушка до 15% окончательной влажности.			
На 100 кг. сырого угля.		На 100 кг. просушен. угля.		На 100 кг. сырого угля.		На 100 кг. просушен. угля.	
Влажность %.	Сухой уголь в кг.	Сырой уголь в кг.	Испарен. воды в кг.	Влажность %.	Сухой уголь в кг.	Сырой уголь в кг.	Испарен. воды в кг.
50	50	200	100	60	47	213	113
40	60	167	67	55	53	189	89
30	70	143	43	50	59	170	70
20	80	125	25	45	65	154	54
10	90	111	11	40	70	141	41
0	100	100	0	35	77	131	31
				30	82	123	23
				25	88	113	13
				20	95	106	6
				15	100	100	0

Затрата тепла на испарение 1 кг. воды из угля теоретически должна составлять 640 калорий. Однако, так как коэффициент полезного действия сушилки колеблется в пределах от 70 до 80%, то практическая затрата тепла на 1 кг. выпариваемой из угля воды составляет от 800 до 900 калорий. Исходя из этих данных, можно считать, что для современной, правильно сконструированной сушилки расход на сушку каменного угля, при конечной влажности его 0,5%, составит при

¹⁾ Helbig. Brennstaub Aufbereitung und Verfeuerung.

начальной влажности 20% — около 3% его тепловой энергии, при начальной влажности 15% — около 2% и при начальной влажности 10% — около 1,25%. Эти процентуальные величины являются выражением самозатраты тепла данного угля на его просушку, при условии, что просушка производится путем самостоятельного отопления сушилки. Если просушка производится путем использования тепла отходящих газов, то указанные тепловые затраты значительно снижаются.

Мы считаем необходимым еще раз подчеркнуть то обстоятельство, что вышеуказанный расход тепла на просушку угля не является расходом, связанным только с пылеобразным сжиганием. Уголь, сжигаемый в какой угодно системе топки, затрачивает тепло на испарение влаги из себя. Разница только в том, что в колосниковой топке, где испарение влаги происходит в самом топочном пространстве, этот расход тепловой энергии значительно выше и чрезвычайно неблагоприятно действует на теплоотдачу. Он понижает температуру топочных газов, которые в колосниковой топке, благодаря значительному избытку воздуха, и без того имеют слишком низкую величину. Таким образом, расход тепла на испарение влаги из угля является вообще *неизбежной потерей*. В пылесожигательном оборудовании этот процесс выпаривания рационализирован. Величина затраты тепла вместо скрытой приобретает совершенно явную форму и величина ее минимальна. Мы считаем необходимым остановиться на этом моменте потому, что многими практиками делается часто ошибка, когда они причисляют к величине самопотребления пылесожигательного устройства расход тепла на процесс сушки.

При сжигании угля с калорийностью в 7.000 с теоретическим количеством воздуха можно считать, что 1 кг. угля даст в среднем около 9 кв. метров газообразных продуктов сгорания. Эти продукты сгорания будут содержать следующие количества тепла при нижеследующих температурах дымовых газов:

при t° = 200	300	400	500	600	700° С содержится
в дымовых газах, полученных					
из 1 кг 7000-калор. угля . . .	560	854	1169	1470	1778 2100 калорий

Если считать, что газы уходят из сушилки при температуре в 100°, то в сушилке будет отдано на процесс испарения следующее количество тепла, при следующих начальных температурах газов, поступающих в сушилку:

при t° = 200	300	400	500	600	700° С отдано
в сушилке дымовыми газами,					
полученными из 1 кг. 7000-калор.					
угля	280	574	889	1190	1498 1820 калорий

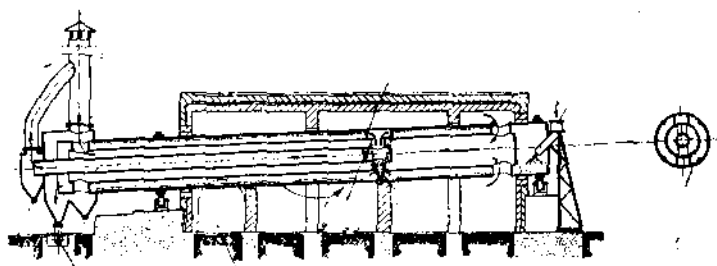
Полагая, как уже было выше упомянуто, что коэффициент полезного действия сушилки равен 80%, получим, что 1 кг. угля с полезной теплотворной способностью в 7000 калорий может выпарить в сушилке следующее количество воды при следующих начальных температурах дымовых газов, при поступлении их в сушилку:

при t° = 200	300	400	500	600	700° С
испарено в сушилке воды из угля					
при сжигании 1 кг. 7000-кало-					
рийного угля	0,35	0,70	1,12	1,47	2,03 2,24 кв.

Вышеприведенные данные дают возможность произвести подсчет эффекта существующей сушилки или подсчитать производительность и количество необходимых дымовых газов во вновь конструируемой сушилке.

Для просушки обыкновенного каменного угля с нормальным содержанием влаги, в пределах около 10%, вполне практически достаточна температура газов, при поступлении в сушилку, около 200°С. Иначе говоря, при этих условиях такие сушилки вполне могут работать на дымовых газах, отходящих из парового котла или какой-либо промышленной печи. При просушивании топлива с большим содержанием влаги, как это имеет место при бурых углях с влажностью до 60%, начальная температура отопительных газов должна быть не менее 600°. В таких случаях сушилку снабжают дополнительной отдельной топкой, в которой сжигают такое количество топлива, что температура смеси газов из котла и из этой топки находится в требуемых пределах.

Как выше говорилось, температура газов при выходе из сушилки колеблется в пределах 60—100°С. Должно быть обращено самое серьезное внимание на то, чтобы температура угля при выходе из

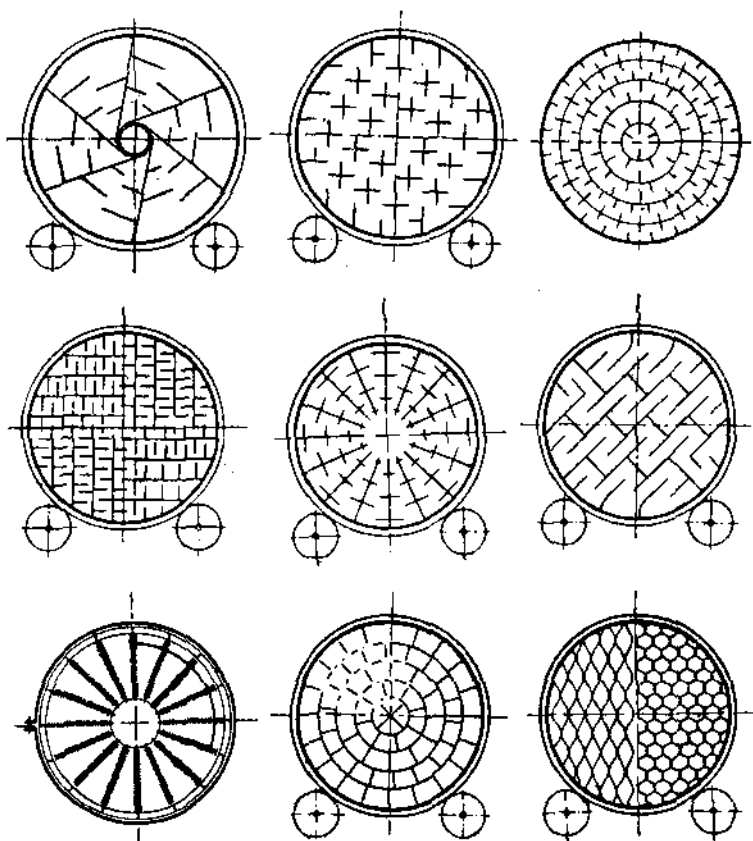


Фиг. 13. Барабанная сушилка завода Круппа, Грузонверк в Магдебурге.

сушилки не превышала 100°С. В противном случае может начаться возгонка угля и его самовоспламенение.

Для осуществления процесса сушки в настоящее время применяются две основные конструкции сушилок: одна — вращающаяся — барабанного типа, и другая — коробчатая с наклонными плитами, расположенными в виде жалюзи. Первый тип особенно широкое распространение получил в Германии, второй — преимущественно распространен в Америке. Первоначально барабанные сушилки устраивались таким образом, что уголь двигался внутри наклонного барабана, а газы омывали последний снаружи, делая несколько оборотов. Засыпка угля производилась с того конца барабана, который был несколько приподнят, выгрузка — из опущенного конца барабана. При вращении барабана уголь описывал в нем винтовую линию, сдвигаясь под действием силы тяжести к более низко опущенному устью. Так как этот простейший вид сушилок оказался чрезвычайно малопродуктивным, то было введено некоторое усовершенствование, при чем газы, обходя барабан снаружи, поступали во внутреннюю трубу, по которой уходили уже в дымоход. В этой конструкции уголь засыпался в кольцевое пространство между наружным барабаном и внутренней трубой, Схематический чертеж такой сушилки дан нами на фиг. 13.

Такая конструкция сушилок показала себя недостаточно практичной, так как слишком суженные газоходы затрудняли продвижение газов, а уголь в кольцевом пространстве давал часто заторы, благодаря чему сушилка работала с перебоями. За последнее время наибольшее распространение получили барабанные сушилки такой конструкции, где горячие газы непосредственно соприкасаются с высушиваемым углем. И уголь и дымовые газы поступают с одного и того же конца. Газы, соприкасаясь с углем, нагревают его, поглощают влагу и у устья барабана уходят в трубу., а просушенный уголь высыпается



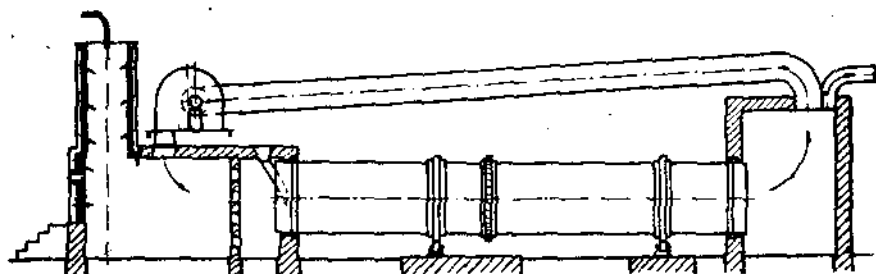
Фиг. 14. Поперечный разрез ячеистых барабанов.

в соответствующие приемники. Для лучшего использования теплоты газов сушильные барабаны устраиваются с продольными ячейками самых разнообразных профилей и видов. Преимущество ячеистых барабанов состоит в том, что как передвигающийся уголь, так и протекающие газы разбиваются на ряд параллельных тонких струй. Уголь и газы тесно друг с другом соприкасаются. Сушка идет очень интенсивно и барабан поэтому можно сделать значительно короче. Так как газы во всех точках равномерно соприкасаются с углем, то возможность местного перегрева или недостаточного просушивания угля в каком-

нибудь пункте сушилки устранены. Эти условия обеспечивают как максимальную производительность сушилки, так и высокий коэффициент полезного действия ее.

На фиг. 14 дан поперечный разрез целого ряда конструкций барабанов, показывающий формы и расположение ячеек.

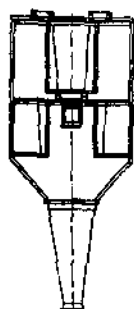
Иногда горячие газы для возможно полного использования их тепла заставляют циркулировать в барабанной сушилке. На фиг. 15 показана



Фиг. 15. Барабанная сушилка с циркуляцией горячих газов и добавочной топкой.

конструкция такой сушилки с циркуляцией. Газы, выходящие из сушилки при температуре около 100° , отсасываются эксгаустером к загрузочному концу барабана. Здесь они смешиваются с горячими свежими дымовыми газами и в такой смеси, с температурой $300 - 900^{\circ}$ С, в зависимости от качества просушиваемого угля, вновь поступают в барабан.

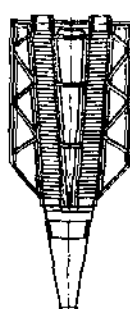
Коробчатые сушилки сконструированы таким образом, что уголь движется в них по наклонным плитам сверху вниз под действием силы тяжести. Горячие газы движутся под действием вентилятора в про-



Фиг. 16.

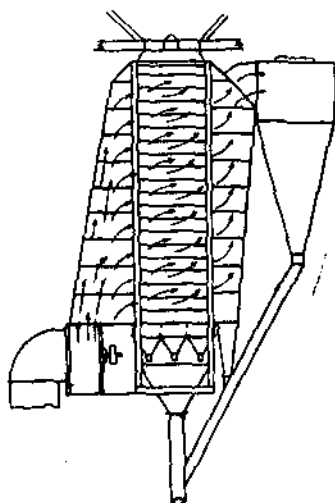


Фиг. 17.



Фиг. 18.

Наружный вид и продольный разрез коробчатой сушилки системы Лопульки.



Фиг. 19. Схематический эскиз коробчатой сушилки сист. Рандольфа изг. фирмы Фуллер.

тивоположном направлении. Общий вид и разрез таких сушилок можно усмотреть на фиг. 16 — 19. Фиг. 16, 17 и 18 показывают наружный вид и разрез коробчатой сушилки системы Лопульки. Фиг. 19 изображает такого же типа сушилку фирмы Фуллер. Эта фирма строит и коробчатые и барабанные сушилки. Основным преимуществом короб-

чатых сушилок перед барабанными является дешевизна их эксплуатации и удобство конструкции. Такая сушилка не требует затраты энергии для передвижения угля. Она занимает очень мало места и легко вмещается в вертикальную систему движения угля от промежуточного бункера к мельнице. Все крупнейшие американские установки последнего времени снабжены коробчатыми сушилками.

Расход мощности на приведение барабанной сушилки во вращательное движение определяется в среднем для каменного угля около 1,1 квт. на часовую тонну. Для бурых углей расход мощности больше и приблизительно колеблется от 2 до 2,5 квт. на часовую тонну просушиваемого угля.

В среднем можно считать, что на приведение в движение барабанной сушилки при переработке каменного угля среднего качества, расход мощности составляет около 0,2 — 0,3%. Для бурого угля эта величина приблизительно составляет около 0,5% до 0,9%.

Глава IV.

Мельницы для помола угля.

Вопрос относительно победы пылесожигательного метода в основе своей является вопросом о дешевизне подготовки молотого угля. В настоящее время уже не подлежит никакому оспариванию более высокая экономичность процесса горения угольной пыли по сравнению со всяким другим видом сжигания минерального топлива. Однако, так как расходы на эксплуатацию угленомольного устройства являются довольно значительной величиной, понижающей разность между коэффициентом полезного действия пылесожигательного устройства и колосниковой топки, то необходимо стремиться к максимальному снижению затраты энергии на размол угля. Таким образом, перед пылесожигательным методом стоит основная задача — рационализация и удешевление работы размолла.

Классификация мельниц.

До последнего времени мельничные конструкции классифицировались по признаку числа оборотов, при чем различались «тихоходы» и «быстроходы». Нужно, однако, сказать, что рост количества типов мельничных машин постепенно стирает границы между различными видами и в настоящее время между шаровой трубчатой мельницей, делающей 20 — 30 оборотов в минуту, и центробежной ударной мельницей, делающей до 2000 оборотов в минуту, имеется такое количество переходных ступеней с различными скоростями и числами оборотов, что технику чрезвычайно трудно решить зачастую вопрос, к какому типу нужно отнести данную мельницу — к «тихоходам» или «быстроходам». Что высказанное нами положение отнюдь не является метафорой, легко подтвердить следующими характерным примером: в целом ряде серьезнейших работ по пылесожиганию трехвальцовые мельницы с вращающейся обечайкой (кольцом) отнесены к разряду быстроходов, в то время как их число оборотов колеблется в пределах от 140 до 250. Таким образом, мельница типа Аэро или Кофино, делающие

до 2000 оборотов, попадает в один разряд с мельницами Кента или мельницами Вамиго с числом оборотов 140 — 250.

Моментом, определяющим отнесение той или иной конструкции мельницы к определенному типу, должен быть выбран производственный признак. Иначе говоря, такой признак, который характеризовал бы метод работы данной мельницы. Таким производственным признаком является комбинация из следующих двух моментов:

- 1) способ, при помощи которого измельчаемый материал, раздавливается или смалывается и
- 2) способ продвижения измельчаемого материала в мельничной машине.

По первому признаку современные конструкции мельничных машин могут быть подразделены на 4 вида:

- 1) мельницы, раздавливающие материал путем удара матерпала о мелющую поверхность, под действием центробежной силы;
- 2) мельницы, раздавливающие измельчаемый материал мелющими телами, находящимися под действием центробежной силы;
- 3) мельницы, раздавливающие измельчаемый материал мелющими телами, действующими под влиянием силы тяжести; и, наконец,
- 4) мельницы, размалывающие материал телами, нагруженными силой пружин.

По второму признаку, т.-е. по признаку продвижения измельчаемого материала на мелющей поверхности, мельничные машины можно разбить на две категории:

А. Мельницы с неподвижной, мелющей поверхностью, вдоль которой перемалываемый уголь передвигается под действием движущегося мелющего тела. К этому типу мельниц относятся машины, помеченные нами выше под № 1 и 2, т.-е. размалывающие материал под действием центробежной силы. При чем в первом случае размол происходит под действием центробежной силы, ударяющей размалываемый предмет о мелющую поверхность, почему эти мельницы мы назовем «ударными», или бильными; во втором случае размол производится шарами или маятниками под действием центробежной силы, почему мы эти мельницы назовем «центробежными». Обе эти группы характеризуются сравнительно довольно значительной относительной скоростью движения, в пределах от 10 до 40 м. в секунду и приводятся обычно в действие путем непосредственного соединения на одном валу с электромотором.

Б. Мельницы с подвижной мелющей поверхностью, которая при своем движении заставляет передвигаться и перемалываемый материал. К этому типу мельниц относятся машины, помеченные нами выше под № 3 и 4. Первый тип представляет собой мельницы, в коих мелющие тела действуют под влиянием силы тяжести и при своем падении раздавливают измельчаемый материал; такие мельницы мы назовем — «тяжеломолами». Ко второму типу относятся мельницы с вращающейся обечайкой, в коих размалывание производится 3-мя вальцами, прижатыми к обечайке при помощи пружин. Эти мельницы мы назовем «вальцовыми». Оба эти типа машин характеризуются

малой относительной скоростью—1—5 метров в 1 секунду и получают движение от двигателя при помощи шестеренной или ременной передачи.

Таким образом, мы получаем следующие подразделения мельничных машин для размола угля:

Группа A_1 — «ударные», или бильные, мельницы; они охватывают следующие конструкции: мельница Беттингтона, мельница Аэро, мельница Фарнера, Атритор, Кофино и т. п.

Группа A_2 — «центробежные» мельницы. К ним относятся следующие конструкции: мельница Фуллера, Боно, Рулетные, Раймонд, Грифин и др.

Группа B_2 — «тяжеломолы». К ним относятся: трубчатые мельницы, сдвоенные мельницы, барабанные мельницы, шаровые и т. п.

Группа B_4 — «вальцовые мельницы». К ним относятся: мельница Кента, Вамиго, Вальтера, бр. Пафайфер, Максеон, Стуртевант и др.

Каждая из этих групп, характеризующаяся способом раздавливания и методом продвижения материала по мелющей поверхности, имеет единство характеристики, и в смысле коэффициента полезного действия, и в смысле занимаемого места, и в смысле способа передачи движения, а также в смысле степени износа и т. п.

Дальнейшее изложение имеет своей задачей аналитическое рассмотрение метода работы каждой группы и получение объективных признаков, дающих возможность сделать правильную оценку и выбор наиболее экономичной и наиболее производительной мельницы для каждой конкретной установки.

Анализ рабочих процессов.

Так как опыт аналитического рассмотрения углемольных мельниц является делом новым, то приходится в самом начале установить точную терминологию, ибо без нее, при рассмотрении работы мельниц, вносится целый ряд спутанных понятий, которые, затуманивая суть вопроса, затрудняют стоящую перед нами задачу. Поскольку нам известно во всех капитальных трудах, посвященных пылесожиганию, такого уточнения нет, почему нет и ясности в определении моментов, устанавливающих производительность и затрату мощности мельничных машин. Большинство исследователей, как Бляйбтрой, Мюнцингер, Гельбиг, Герингтон, Носке и др., исходят при рассмотрении работы мельничных машин исключительно из эмпирических моментов. По этому же пути идут и авторы, дающие описание различных установок Америки и Европы. В силу этого данные о производительности машин базируются либо на каталожных цифрах, либо на результатах испытаний отдельных установок. Работа дрезденского проф. Розина является первой, кладущей основание аналитическому исследованию основных конструкций угольных мельниц¹⁾.

В первую очередь необходимо разграничить 3 основных понятия: затрата мощности, производительность мельницы и рабочий эффект.

¹⁾ Archiv für Wärmewirtschaft, Heft 11, Seite 289.

Мощность затрачивается в мельнице на выполнение двух работ: во-первых, на преодоление внутренних сопротивлений всех частей машины, и, во-вторых, на преодоление силы сцепления между частицами измельчаемого угля. Первую затрату мощности мы впредь условимся называть «мощностью холостого хода» и будем эту затрату мощности обозначать M_x . Вторую затрату мощности мы назовем «рабочей мощностью» и будем обозначать ее M_p . Сумма затрат этих мощностей мы условимся называть «полной мощностью» и будем обозначать ее M_n .

Между этими тремя видами мощностей существует следующая математическая зависимость:

$$M_n = M_x + M_p, \text{ откуда } M_p = M_n - M_x$$

«Мощностью холостого хода», M_x , мы назвали затрату на преодоление внутренних сопротивлений машины. Таким образом, эта мощность представляет собою весь расход энергии, измеренной в киловаттах, для преодоления трения и других сопротивлений, имеющихся в мельничном агрегате для того, чтобы довести все его части до нормальной скорости, при которой он производит нормальный помол. Под мельничным агрегатом, в данном случае, понимается не только сам размалывающий механизм, но и все связанные непосредственно с ним части и приборы, а именно: питатель, подающий уголь непосредственно в самую мельницу, электро-магнитный аппарат, сепаратор, отделяющий тонкую пыль от неготового помола, эксгаустер при сепараторе и элеватор, подающий размол из мельницы в сепаратор; словом, под мельничным агрегатом мы понимаем комплекс всех тех элементов, в результате работы которых кусковой уголь, поступивший в мельницу, превращается во вполне готовую угольную пыль. При этом мы имеем в виду, что как сам мелющий аппарат, так и все его части находятся в практически идеальном рабочем состоянии. Это значит, что все части машины сделаны вполне правильно, припасовка и сборка всех частей также совершенно правильна, смазка вполне достаточна, сработанных частей нет, и, следовательно, энергия затрачивается лишь постольку на преодоление внутренних вредных сопротивлений машины, поскольку это действительно необходимо по условиям ее конструкции. При этих условиях затрата мощности на холостой ход или, как мы условились ее называть, «мощность холостого хода» является для каждого данного размера и конструкции машины величиной постоянной и раз на всегда данной. Иначе говоря, для каждого размера определенной конструкции мельницы $M_x = \text{Const.}$

«Рабочей мощностью», M_p , мы назвали ту часть энергии, которая затрачивается на преодоление полезных сопротивлений в работе размола, т.е. сопротивлений, вызываемых силой сцеплений между угольными частицами. Эта «рабочая мощность» также измеряется в киловаттах, и величина ее зависит как от тонины помола, так и от размолоспособности угля, так и, наконец, от системы мельничной машины.

«Полная мощность», M_n , мельницы, представляющая собой сумму предыдущих двух мощностей, измеряется также в киловаттах

и соответствует средней затрате энергии в час для выполнения мельницей предназначенной ей работы.

Под «производительностью» мельницы понимается то количество угольной пыли, выраженное в метрических тоннах, которое данная мельница дает в единицу времени — в 1 час. Нужно различать производительную способность мельницы и действительную производительность мельницы. Под производительной способностью мельницы, которую мы впредь условимся называть «нормальной производительностью», обозначая таковую через Π_n , понимается то количество помола, которое данная мельница может дать при заданном угле и тонине помола, затрачивая на тонну помола минимальное количество энергии. Нужно иметь в виду, что при данном сорте угля, при данной его влажности и для данной тонины помола каждая машина имеет определенные оптимальные условия работы. При этих условиях работы расход мощности на единицу помола есть величина минимальная. Производительность мельницы, которая отвечает этим условиям, мы называем «нормальной производительностью мельницы». Для этой «нормальной производительности» существует следующее правило: $\frac{M_p}{\Pi_n} = \text{минимум}$ для данного сорта угля и при данной тонине помола. Так как размолоспособность каждого вида угля различна, и так как тонина помола, как впоследствии будет видно, очень сильно влияет на производительность мельницы, то, когда мы говорим о «нормальной производительности» мельницы, это понятие нужно обязательно приурочивать к определенному сорту угля и к определенной тонине помола. При одинаковой размолоспособности и одинаковой тонине помола величина $\frac{M_p}{\Pi_n}$ тем меньше, чем лучше конструкция мельницы, а для одной и той же конструкции тем меньше, чем Π_n больше.

От производительной способности ее или от «нормальной производительности» мельницы нужно отличать временную нагрузку, или «действительную производительность». Само собой понятно, что у мельницы, имеющей определенную «нормальную производительность», имеется бесконечное количество «действительных производительностей». Каждую мельницу можно нагружать больше или меньше, от 0 до максимума. Под «действительной производительностью» мельницы мы впредь условимся принимать то количество угольной пыли, выраженное в тоннах в час, которое мельница в данный момент работы производит. Эта «действительная производительность» обозначается нами Π_d , отношение $\frac{\Pi_d}{\Pi_n}$ мы назовем «степенью нагрузки» мельницы и обозначим ее β .

Если мы основное уравнение мощностей $M_n = M_z + M_p$ разделим в правой и левой части на Π_n , т.е. на «нормальную производительность», то получим:

$$\frac{M_n}{\Pi_n} = \frac{M_x}{\Pi_n} + \frac{M_p}{\Pi_n}$$

Это равенство представляет собою «нормальную работу» на тонну помола, выраженную в киловатт-часах, при полной нагрузке мельницы. Для каждого сорта угля при определенной тонине помола величина этого равенства соответствует оптимальным условиям работы для данной мельницы.

Если вместо знаменателя Π_n подставить величину Π_d , то получим выражение:

$$\frac{M_n}{\Pi_d} = \frac{M_x}{\Pi_d} + \frac{M_p}{\Pi_d}$$

Это равенство представляет собою выражение «действительной работы». Если принять, что $\frac{M_n}{\Pi_d} = P_n$; $\frac{M_x}{\Pi_d} = P_x$

и $\frac{M_p}{\Pi_d} = P_p$ то мы получим, что $P_n = P_x + P_p$, или, иначе говоря, «полная работа» мельницы равняется «работе холостого хода» плюс «работа размол». Все это отнесено на 1 тонну помола фактически полученного с мельницы. Если мы вместо Π_d подставим адекватное ему выражение $\beta \cdot \Pi_n$ выведенное из понятия «нагрузки» $\frac{\Pi_d}{\Pi_n} = \beta$, то получим для зависимости между «нормальной работой» и «действительной работой» следующее выражение:

$$P_n = \frac{M_x + M_p}{\beta \cdot \Pi_n} \text{ киловатт-часов тонна.}$$

Таким образом, действительная «полная работа», произведенная мельницей в киловатт-часах на тонну помола, равняется сумме мощностей «рабочего» и «холостого хода», разделенной на нагрузку мельницы.

Выше мы нашли, что работа «холостого хода» $P_x = \frac{M_x}{\Pi_d}$, т.-е. отношению «мощности холостого хода» к «действительной производительности», но так как $\Pi_d = \beta \Pi_n$,

$$\text{то } P_x = \frac{M_x}{\beta \Pi_n} \text{ киловатт-часов тонна.}$$

Основное равенство рабочего процесса,

$$P_n = P_x + P_p$$

может быть преобразовано следующим способом:

$$P_n = P_x \left(1 + \frac{P_p}{P_x} \right)$$

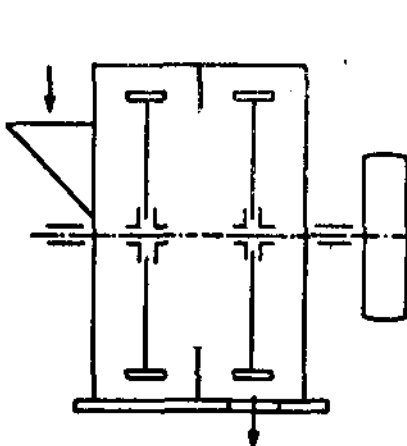
$$\text{Так как: } \frac{P_p}{P_x} = \frac{M_p}{\Pi_d} : \frac{M_x}{\Pi_d} = \frac{M_p}{M_x}.$$

то, сделав соответствующие подставки, мы получим что:

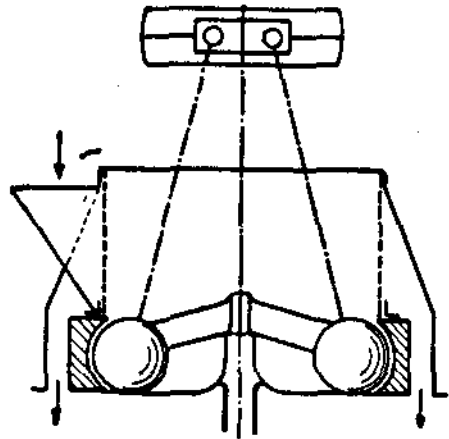
$$P_n = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{M_x}{\Pi_n} \cdot \left(1 + \frac{M_p}{M_x}\right) \text{ киловатт-часов тонна.}$$

Настоящее уравнение показывает, что действительная «полная работа» мельницы зависит от трех величин: 1) от нагрузки ее, 2) от нормальной «работы холостого хода» и 3) от отношения между «рабочей мощностью» и «мощностью холостого хода».

Установив номенклатуру основных понятий и математические зависимости между их значениями, мы перейдем к выяснению зависимости этих величин от конструкции машины.



Фиг. 20. Схема конструкции ударной мельницы.



Фиг. 21. Схема конструкции центробежной мельницы.

В первую очередь необходимо рассмотреть, как отражается конструкция машины на величине «работы холостого хода».

Выше мы уже установили, что «работа холостого хода», затрачиваемая исключительно на преодоление внутренних сопротивлений машины, является для каждой конструкции машины величиной постоянной. При рассмотрении поставленного вопроса мы будем следовать установленной нами выше классификации машин:

A_1 — ударные мельницы (фиг. 20).

«Работа холостого хода» этой конструкции складывается из следующих моментов: во-первых, необходимо привести во вращательное движение ротор вместе с билами; во-вторых, необходимо преодолеть сопротивление воздушной среды, вызываемой вентиляционным действием вращающихся бил, и, в-третьих, необходимо привести в действие эксгаустер, производящий сепарацию пыли от более крупного угля и подводящий воздушноугольную смесь к месту назначения.

Все эти три компонента получаются довольно большими. Особенно велика затрата силы на преодоление сопротивления воздуха частями

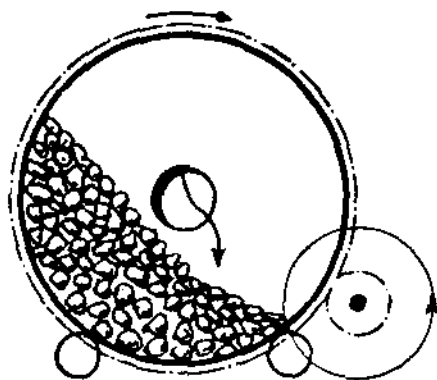
ротора при том числе оборотов, с которым работает эта конструкция мельницы. На воздушную сепарацию, т.е. на работу эксгаустера, также затрачивается значительное количество энергии.

A_2 — «Центробежные мельницы», фиг. 21.

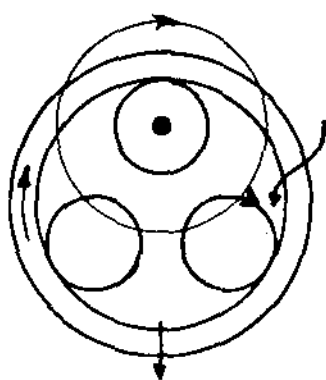
«Работа холостого хода» этой конструкции складывается из следующих трех величин:

- 1) Приведение во вращательное движение мелющих тел.
- 2) Приведение во вращательное движение вентилятора.
- 3) Сепарация готовой пыли от крупных частиц.

Так как вращательное движение мелющих тел сводится к тому, что шар или валик катится по гладкой мелющей поверхности, при чем вредное сопротивление этого движения чрезвычайно мало, то затрата работы ничтожна. Вращение вентилятора в этой конструкции, благодаря небольшому количеству воздуха, протекаемого через нее, требует очень мало энергии. Сепарация готовой пыли при методе отвейивания требует примерно той же затраты энергии, что и предыдущая система. При методе отсеивания затрата энергии получается ничтожной.



Фиг. 22. Схема конструкции тяжело-молов.



Фиг. 23. Схема конструкции вальцевой мельницы.

B_3 — «Тяжеломолы», фиг. 22.

«Работа холостого хода» этой конструкции складывается из следующих моментов: во-первых, из приведения во вращательное движение барабана мельницы; во-вторых, из под'ема на определенную высоту мелющих тел (шаров, мелющих цилиндров и т. п.), и, в-третьих, из затраты энергии на преодоление тормозящего действия удара падающих мелющих тел.

Вес этих мельниц очень велик. Поэтому преодоление инерции только одного барабана и трения в подшипниках требует значительной затраты энергии. Так как вес мелющих тел очень велик, то на развитие той центробежной силы, которая преодолевает их силу тяжести и заставит их подняться на требуемую высоту, расходуется также большое количество энергии. Преодоление третьего сопротивления вызывает расход энергии в зависимости от двух моментов: во-первых, от высоты под'ема мелющих тел, и, во-вторых, от того, на что расходуется реакция удара—на дальнейшее катящееся движение тела, или на образование слагающей обратной по направлению к вращению.

B_4 — «Вальцевые мельницы», фиг. 23.

«Работа холостого хода» этой конструкции складывается из двух моментов: во-первых, из приведения во вращательное движение трех валцов и обечайки, и, во-вторых, из сепарации готового угля. Так как число оборотов этой мельницы не велико, вес вращающихся частей незначителен, трение между обечайкой и валцами ничтожно, то расход энергии на приведение в действие мелющих элементов ничтожен. Затрата энергии на сепарацию примерно равна той же величине, какая получается для конструкции A_1 и A_2 при методе отвеивания. В общем дебете мощности этой конструкции работа сепаратора занимает наибольшее место.

Профессором Розиным было произведено параллельное испытание пяти конструкций машин для выяснения относительной затраты мощности на холостой ход машины. Машины были взяты одинаковой нормальной производительности — по $1\frac{1}{2}$ тонны в час каждая. Относительные результаты этих испытаний приведены в таблице № 2.

Таблица № 2.

Тип мельницы.	Мощность холостого хода.	Доля мощности холостого хода в полной мощности мельницы в %.
Центробежные мельницы с ситами	1	35
Трехвальцовая мельница	1,16	50
Центробежная мельница с воздушной сепарацией	1,5	55
Ударные мельницы	3,75	60
Тяжеломолы	5	98

Данные таблицы № 2 показывают, что если принять абсолютный расход мощности на холостой ход центробежной мельницы с сепарацией ситами за единицу, то все остальные виды конструкций расходуют мощность большую, при чем максимальный расход мощности на холостой ход имеет место у мельниц барабанного типа тяжеломолов. Он в 5 раз больше, чем в центробежной мельнице с сепарацией ситами. Хотя табл. № 2 дает соотношение мощностей холостого хода только для определенной производительности мельницы, и хотя эта таблица не является исчерпывающей, тем не менее она до известной степени показывает преимущества конструкции мельниц типа Фуллера, Раймонд, бр. Пфайфер, Кент и т. п. по сравнению с билльными мельницами и мельницами Круппа, Полизиуса и т. п. Как дальше будет видно, практика вполне подтверждает тот основной вывод, который напрашивается при взгляде на табл. № 2. Мощность холостого хода мельниц по нашей классификации типа A_2 и B_4 значительно меньше, чем типа A_1 и B_3 .

Выше нами было выведено следующее соотношение между величинами «работы холостого хода», «мощности холостого хода», «нормальной нагрузки» и «степенью загрузки» мельницы:

$$P_x = \frac{M_x}{\beta \cdot \Pi_n}$$

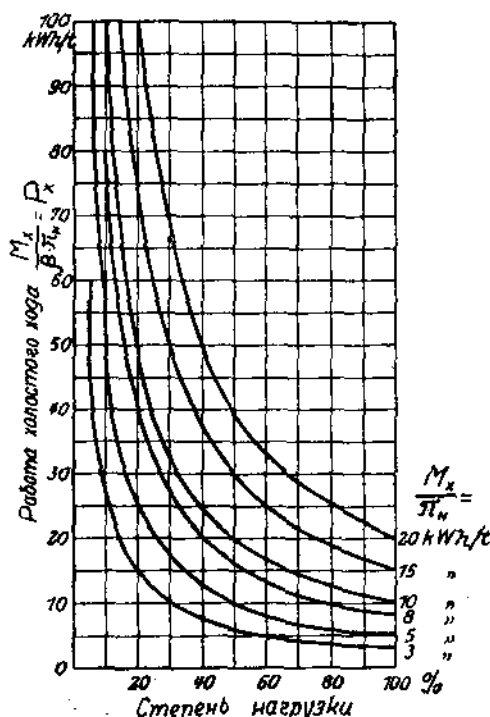
Эта формула показывает, что при данных условиях размолоспособности угля и данной тонине помола, работа холостого хода будет тем больше, чем больше «мощность холостого хода», чем меньше «нормальная производительность мельницы», и чем меньше нагружена данная мельница, т.е. чем хуже использована мельница.

Таким образом, если хотят при выборе мельницы добиться минимальной затраты силы, отнесенной к тонне помола, на холостой ход, то необходимо, выбрав наиболее подходящую конструкцию мельницы, величину ее взять таких размеров, чтобы она для данных условий работы была максимальной, при чем нагружать ее нужно всегда на полную производительность.

На фиг. 24 дана диаграмма изменения величины работы холостого хода в зависимости от степени нагрузки мельницы, построенная проф. Розиным на основе его опытов.

Из диаграммы видно, что кривые характеристик имеют вид гипербол, при чем кривые получаются тем круче, чем выше первоначальная «мощность холостого хода». Из этого мы можем сделать тот вывод, что при неполной нагрузке мельницы типа A_1 и B_3 окажутся в значительно худших условиях в смысле понижения экономичности их работы, чем мельницы типа A_2 и B_1 . Кроме того, можно сказать, что недогрузка мельницы большой производительности значительно невыгоднее, чем недогрузка мельницы малой производительности. Наконец, последний вывод, который приходится сделать, состоит в том, что во всякой установке нужно стремиться к максимальной нагрузке мельницы. Поэтому установка промежуточных бункеров, как для кускового угля, так и для угольной пыли, неизбежна, если хотят, чтобы мельница работала всегда в максимально благоприятных условиях.

Точно в том же порядке, в каком мы рассмотрели величину работы холостого хода, нам придется произвести анализ работы размола. При этом мы будем рассматривать изменение ее величины для каждого



Фиг. 24. Характеристика работы холостого хода мельницы в зависимости от степени ее нагрузки.

из 4-х установленных нами типов машин, в зависимости от основных факторов работы каждой конструкции.

A₁ — ударные мельницы. Какую добавочную или полезную работу приходится совершать этому типу мельниц, когда, вместо холостой работы, мельница выполняет свою рабочую задачу и измельчает уголь?

1. При этом ротор мельницы вращается не в воздушной среде, а в среде значительно большей плотности. Поэтому на этот вид движения приходится затрачивать большее количество энергии, чем при холостом ходе.

2. Точно в таком же смысле меняется затрата энергии и на эксгаустер. Как ротор мельницы, так и крылья вентилятора находятся при этом в условиях аналогичных вращающимся частям центробежного насоса, когда последнему приходится вместо воды перейти на перекачку жидкости с большей плотностью.

3. Благодаря действию силы тяжести угольные частицы естественно стремятся собраться в нижней части мельничного корпуса. Поэтому в нижней части била мельницы встречают наиболее густую угольную пыль и здесь сопротивление их движению значительно больше, чем в остальной части мельницы. Это тормозящее действие угольной пыли особенно сильно сказывается тогда, когда, не меняя величины подачи угля в мельницу, стремятся получить возможно более тонкий помол. Тогда отбор угольной пыли из сепаратора понижается. В нижней части мельницы собирается довольно значительное количество пыли, которое при известных условиях может даже остановить мельницу. Это явление автору пришлось лично наблюдать при испытании работы мельницы Кофино на таганрогском заводе ЮМТ'а

Резюмируя сказанное, можно констатировать, что работа размол в данном типе мельниц вообще увеличивает затрату мощности на единицу производительности, но в общем вряд ли превышает затрату мощности на холостой ход. Из опытов проф. Розина можно было видеть, что величина P_p составляет около $2/3$ от P_x .

A₂ — центробежные мельницы. При работе размол к затрате мощности на холостой ход в данной конструкции мельниц прибавляется дополнительный расход энергии на преодоление следующих сопротивлений:

1. Вращающиеся органы мельницы, подобно тому, как это имело место в предыдущей конструкции, встретят сопротивление более тяжелой и вязкой среды, чем при холостом ходе. Так как вентиляционная работа в этих мельницах играет вообще ничтожную роль, то некоторая прибавка в расходе энергии на эту работу в общем выразится в очень небольшой величине.

2. Мелющие тела при своем движении будут соприкасаться не с металлической поверхностью, как это имеет место при холостом ходе, а со слоем угля. Благодаря этому получится двойного рода увеличение расхода энергии — во-первых, увеличивается коэффициент трения, и, во-вторых, мелющие тела до некоторой степени меняют движение качания на скольжение. Эти оба момента значительно увеличивают затрату энергии.

3. Так как полной равномерности слоя угля по мелющей поверхности не бывает, то мелющие тела, встречая на своем пути неровности слоя испытывают толчки, благодаря этому получается тормозящее действие, повышающее расход энергии.

4. В некоторых типах этих машин, как, напр., в рулетных мельницах и особенно мельницах Раймонда, слой угля уменьшает тряску мелющих тел, благодаря чему повышается нормальное слагающее к поверхности, по которой движутся мелющие тела. Это также вызывает некоторое увеличение в расходе энергии. Вследствие этой причины добавочный расход энергии в указанных двух типах мельниц несколько больше, чем в мельницах типа Фуллера.

Таким образом, возрастание затраты энергии в мельницах этой конструкции получается большим, чем в мельницах группы А₁. Опыты проф. Розина, как показывает таблица № 2, дали возрастание расхода энергии от 82% до 186%, в зависимости от конструктивных деталей.

Б₃ — т я ж е л о м о л ы. Затрата энергии в этой конструкции от присутствия угля увеличивается по сравнению с холостым ходом незначительно. Она зависит, во-первых, от того, что увеличивается несколько вес вращающейся массы, во-вторых, от того, что в некоторых случаях высота под'ема мелющих тел возрастает, и, в-третьих, вследствие того, что сила удара, а следовательно и связанная с ней сила торможения, несколько повышается. Опыты проф. Розина показывают, что вообще это возрастание затраты энергии в общем выражается в незначительных величинах и колеблется в пределах 2 - 3%. Указанное обстоятельство с достаточной яркостью свидетельствует о том, что данная конструкция мельниц работает чрезвычайно неэкономно. Около 98% всей энергии, затрачиваемой при работе тяжеломолов, расходуется на работу холостого хода, и только 2 — 3% на полезную работу.

Б₄ — в а л ь ц о в ы е м е л ь н и ц ы. В данной конструкции мельниц увеличение затраты энергии, вызываемое загрузкой их углем, складывается из 3-х моментов:

1. Возрастает реакция давления между вальцами и обечайкой.
2. Трение мелющих тел увеличивается, и довольно значительно, ибо вальцы не катятся по гладкой поверхности обечайки, как при холостом ходе, а трутся о неровную поверхность угольного слоя.
3. Эксгаустер, а в некоторых типах и элеватор, значительно увеличивают затрату энергии. Первый вращается в среде более плотной, чем воздух, а второй производит работу под'ема не только своей массы, но и добавочной массы молотого угля.

Как видно из таблицы № 2, соотношение между работой размола и работой холостого хода составляет около единицы.

Рассмотрев те два момента, из которых складывается полная работа мельницы, мы можем перейти к заключительному анализу наивыгоднейших условий работы различных конструкций мельниц.

Ранее мы вывели уравнение «полной работы» мельницы:

$$P_n = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_x}{P_n} \left(1 + \frac{M_p}{M_x} \right) \text{ квт.-час./тонна.}$$

Так как β означает нагрузку мельницы, $\frac{M_x}{P_n}$ — величину «работы холостого хода», а $\frac{M_p}{M_x}$ — соотношение между затратой мощности на рабочий и холостой ход, то можно сказать, что P_n будет тем больше, т.-е. мельница будет тем менее выгодна:

- 1) чем меньше она нагружена,
- 2) » » нормальная ее производительность,
- 3) » больше энергии поглощает холостой ход ее, и
- 4) » » отношение между затратой мощности рабочего и холостого хода.

Профессором Розиным были получены при вышеупомянутых испытаниях следующие результаты, сведенные в табл. № 3:

Таблица № 3.

$\beta = 1, P_n = 1,5$ тонны; тонина помола = 20% (4.900).	$\frac{M_x}{P_n}$ квт. ч т.	$\frac{M_p}{M_x}$	P_n квт. ч т.
Ударные мельницы — А.1	15	0,9	28,5
Центробежные мельницы — А.2	4	1,9	11,6
Тяжеломолы — Б.3	20	0,15	23
Трехвальцовые » — Б.4	5	1	10

Так как нормальная производительность всех четырех испытанных мельниц одинакова (опыты производились на одном и том же угле и при одинаковой тонине помола), а нагрузка мельниц полная, то величина полной работы мельниц P_n , как и значения $\frac{M_x}{P_n}$ и $\frac{M_p}{M_x}$, зависят в данном случае только от конструктивных особенностей мельницы. Как видно из таблицы, тяжеломолы имеют наивыгоднейшее значение $\frac{M_p}{M_x}$, а центробежные мельницы — наименьшую затрату холостого хода, но наивыгоднейшая комбинация этих величин принадлежит трехвальцовой конструкции; поэтому наибольшую экономию в затрате энергии показал именно этот тип мельницы. Нужно, однако, иметь в виду, что на значения величин $\frac{M_x}{P_n}$ и $\frac{M_p}{M_x}$ влияет не только одна конструкция мельницы. Эти величины зависят также и от физических свойств угля и от тонины вырабатываемого помола.

Чем тоньше помол, тем меньше производительность мельницы и тем, следовательно, больше величина $\frac{M_x}{P_n}$ и зависящая от нее величина P_n . Гельбиг дает в своей книге ¹⁾ чрезвычайно интересную таблицу относительных изменений P_n в зависимости от тонины помола для различных мельниц:

¹⁾ Helbig. Brennstaub Aufbereitung und Verfeuerung.

Таблица № 4.

Данные производительности мельницы в %%, если при 10% считать производительность за 100%.

Тонина помола по сити в 4.900 петель.	5%.	8%.	10%.	12%.	15%.
Полизиус (Дессау)	—	85	100	115	—
Амме, Гизеке и Копеин	65	—	100	—	130
Ленеру (Бромберг)	60	—	100	—	125
Фельнер и Циглер	60	—	100	—	135
Опыты Гельбига	60	—	100	—	140

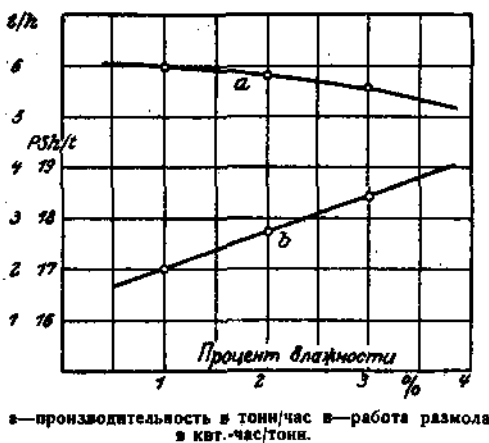
Из приведенной таблицы видно, что если принять нормальную производительность мельницы при каком-либо сорте угля, при тонине помола, соответствующей 10% остатка на сите с 4 900 петлями за 100, то при увеличении тонины помола до 5% остатка на том же сите производительность мельницы уменьшится на 35 — 40%. Наоборот, если помол пустить более грубый так, чтобы вместо 10% остатка получилось 15%, то производительность мельницы возрастет на 25 — 30%. Исследования инж. Шульца, произведенные над мельницей сист. Раймонда, дали следующие результаты: при тонине помола соответствующей 35% остатка на сите с 6 200 петлями и 5% на сите с 1 500 петлями производительность мельницы равнялась 4,6 тонны угольной пыли в 1 час; при тонине помола в 5% остатка на сите с 6 200 петель и 1,5% на сите с 1 500 петлями производительность той же мельницы понизилась до 2,5 тонн угольной пыли в 1 час.

Профессором Розиным выведена следующая закономерность в отношении изменения нормальной производительности мельницы в зависимости от изменения тонины помола: он считает, что в пределах 30—25% остатка на сите с 4 900 петель каждому проценту уменьшения остатка соответствует падение производительности в 1,5%, в пределах от 25 до 20% остатка падение производительности на каждый % тонины = 2%; в пределах от 20 до 15% эта величина повышается до 2,5%; в пределах от 15 до 10% она равна 3% и между 10 и 5% остатка она составляет 4%. Мы полагаем, что данные профессора Розина могут быть отнесены, вероятно, только к тем сортам углей, которые были испытаны им. Всеобщего применения эти цифры иметь не могут.

Перед исследователем стоит еще большая работа, которую нужно проделать в отношении каждого сорта угля, применяемого в пылесожигании, дабы установить цифровую закономерность между тониной помола и величиной P_n , а следовательно, и величиной $\frac{M_k}{P_n}$. Нужно только всегда иметь в виду, что когда производится подбор мельницы для данной установки, то необходимо при выборе производительности мельницы задаться той величиной тонины помола, при которой мельнице придется работать.

Физические свойства угля в отношении размолоспособности сводятся к следующим моментам: к твердости, хрупкости, структуре частиц и влажности. В распоряжении техники размол угля еще нет достаточных данных, которые могли бы дать численное соотношение

между вышеупомянутыми свойствами угля, с одной стороны, и производительностью мельницы, а также затратой мощности на размол — с другой. Здесь еще большое поле работы для исследователя. Тот скудный, эмпирический материал, которым мы в настоящий момент располагаем, дает возможность сделать только следующие выводы: чем старше порода и чем сложнее, следовательно, угольная частица, тем меньше P_n и тем больше $\frac{M_p}{M_k}$. Поэтому на антраците мельница дает меньшую производительность и большую относительно затрату энергии на работу размола, чем на длинопламенном угле, и, в особенности, на буром. Полукокс, получаемый в результате дистилляции бурых углей при низких температурах, дает максимальную производительность мельницы и минимальную затрату энергии на работу размола.



Фиг. 25. Влияние влажности угля на производительность и величину работы размола.

сти антрацита с 1% до 15% производительность мельницы понизилась на 50%, а затрата энергии на работу размола повысилась на 100%.

Влажность оказывает чрезвычайно большое влияние и на величину P_n , и на величину P_p . Опыты инж. Шульца в отношении мельницы Раймонд показали, что возрастание влажности угля на 1% повышало величину затраты энергии на 4,2% и понижало производительность мельницы на 3,3%. На фиг. 25 даны кривые падения производительности и роста величины работы размола при возрастании влажности в пределах от 0,5% до 3,8%.

Из опубликованных данных фирмы Фуллер, известно что, при возрастании влажности

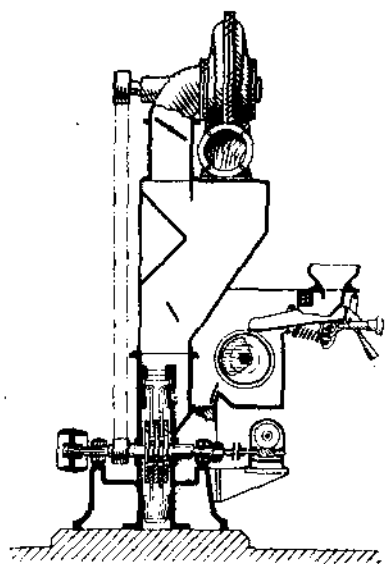
Конструкция мельниц.

Рассмотрев те основные факторы, которые определяют величину полной работы мельницы, обратимся теперь к конструктивным особенностям каждой из вышеперечисленных групп мельниц и к выяснению как достоинств, так и недостатков тех типов машин, которые в настоящее время имеют наибольшее распространение в пылесожигательных установках.

Группа А₁.

Одна из наиболее старых конструкций этого типа в Германии, получившая довольно широкое распространение в период пробных установок, — это мельница Кофино завода Круппа в Магдебурге,

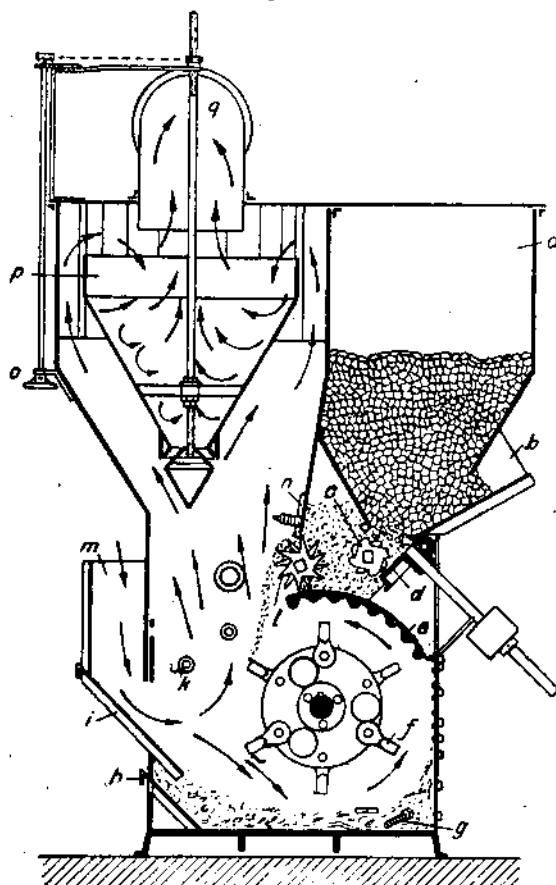
Как видно из фиг. 26, конструкция этой мельницы довольно компактна и сводится в основном к размольному аппарату с билами, жестко закрепленными на вращающемся валу и с мелющей поверхностью, в виде циклической решетки. Поступающий из питателя, представляющего собой трясучку, уголь кусками величиною 20—30 м/м., измельчается благодаря удару бил и противостоящей им решетки до требуемой тонины. Число оборотов вала достигает тысячу восьмисот в 1 минуту. Вентилятор, помещенный наверху сепаратора, создает в последнем необходимое разрежение. Струя воздуха, захватываемая вентилятором, увлекает более тонкие частицы угольной пыли и транспортирует их в виде воздушноугольной смеси по соединительной трубе к форсунке топки. Более крупные частицы, благодаря своей тяжести, сыпаются обратно в мелющий аппарат и здесь вновь поступают в работу. Куски угля перед поступлением с питателя в мелющий аппарат проходят электромагнитный отделитель, который задерживает попавшие в уголь куски железа и выбрасывает их через боковое отверстие. Регулировка тонины помола происходит при помощи двух поворотных заслонок, находящихся в угольном сепараторе и соединительной трубе между ним и вентилятором. Передача движения осуществляется ременным приводом со шкива двигателя на шкив мельницы. Все остальные движущиеся части мельницы приводятся в движение от коренного вала машины, или при помощи ременной передачи (к вентилятору), или шестеренной (к питателю и к магнитному железоудалителю). Производительность мельницы на каменном угле, при тонине помола 10%, остатка на сите с 4 900 петель и при влажности угля от 0,5% до 1% $P_n = 0,4 - 0,5$ тонн в 1 час. Полная работа мельницы $P_n = 36 - 40$ квт.-час на 1 тонну.



Фиг. 26. Мельница Кофино завода Круппа в Магдебурге.

Основным преимуществом этой конструкции является ее компактность, незначительная площадь, занимаемая машиной, сравнительная простота устройства и легкое манипулирование даже для мало технически обученного персонала. К недостаткам машины нужно отнести: 1) быструю изнашиваемость бил и мелющих решеток, обусловленную жестким закреплением бил на валу; 2) слабую приспособляемость мельницы к разнородным углям, в особенности твердых пород; 3) трудность получения тонкого помола; 4) сравнительно малую устойчивость машины, благодаря нахождению вентилятора на большой высоте, при чем конструкция самой машины довольно жидка; 5) значительный расход энергии, превышающий почти все другие типы мельниц, и, наконец; 6) недостаточную надеж-

ность мельницы в работе. Последнее обстоятельство приходится особо отметить, ибо оно в значительной степени обесценивает применение машины. Автору пришлось дважды участвовать в испытаниях описываемой мельницы. Один раз — на самом заводе Круппа и второй раз на таганрогском инструментальном заводе ЮМТ'а. В первом случае, когда испытание носило характер парадной



а — дополнительная воронка; б — смотровое окно; в — измельчитель; д — щека измельчителя; е — замедлительный прибор; ф — ротор с биллами; г — днище мельницы, где отлагаются неизмельчаемые тела; и — чистильная дверца и заслонка для регулирования давления в мельнице; к — распределительные валики; л — очистительный аппарат; м — выпуск воздуха; н — регулятор тонины помола; р — сепаратор пыли; q — соединение с вентилятором.

Фиг. 27. Разрез мельницы «Унипульва».

применять эту конструкцию, конечно, нерационально. Она дорога в эксплуатации, требует частого ремонта и недостаточно надежна в работе.

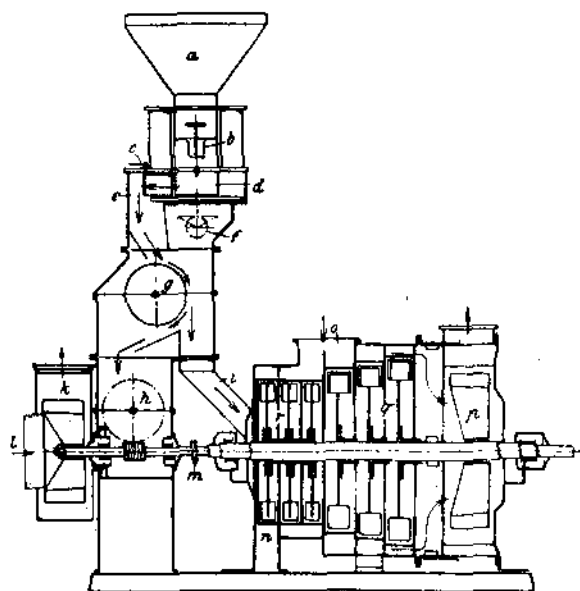
Значительное улучшение того же типа конструкции представляет собою мельница американской К^о Стронг-Скотт под названием «Уни-

пробы и сорт угля, а также и тонина помола были подобраны техническим персоналом завода, затруднений в работе мельницы не встретилось. Однако, когда пришлось испытывать мельницу на донецких углях и особенно на антрацитовом штыбе, то оказалось, что при увеличении тонины помола (путем соответствующей перестановки регулирующих заслонок), мелющий аппарат, примерно, каждые полчаса, а иногда и чаще, начинал садиться и нередко совсем останавливался, благодаря тому, что в нижней части скоплялось значительное количество измельченного угля, тормозившего вращение бил. Во всяком случае можно считать, что в качестве пробной мельницы эта конструкция может применяться на наших заводах. Ее можно также применять для небольших промышленных печей, где тонина помола не играет существенной роли. Для серьезных стационарных установок

пульва». Из фиг. 27 достаточно ясно видна конструкция этой мельницы. Измельчение производится 6-ю билами, эластично закрепленными на роторе. Расстояние между билами и задней стенкой мельницы 10—13 см. и между билами и верхней стенкой—7,5 см. Между билами и дном корпуса имеется зазор в 15 — 20 сантиметров, дающий возможность неразмалываемым частицам, в виде кусков железа, породы и т. п., отлагаться в мертвом пространстве. Из бункера уголь попадает в измельчитель, состоящий из зубчатки *с* и противостоящей ей щеки *д*. Когда в измельчитель попадает твердое тело — железо, камень и т. п., то щека, регулируемая контргрузом, отходит и пропускает это тело не измельчая в мертвое пространство мельницы. Таким образом устраняется необходимость в магнитном железоудалителе; куски породы также не попадают в мелющий аппарат. За измельчителем помещается питатель, состоящий из зубчатки и противостоящей пластинки. Максимальная величина кусков, попадающих в размол, устанавливается при помощи передвижения пластинки *ж*. Обе зубчатки, как измельчителя, так и питателя, приводятся в движение от коренного вала машины при помощи фрикционов. Куски угля попадают из питателя на лопатообразные била ротора и бросаются ими о мелющую решетку. Ротор выполняет одновременно роль мелющего тела и вентилятора, засасывающего воздух, струя которого увлекает мелкие частицы угля в угольный сепаратор. Разрежение в сепараторе создается отдельным вентилятором. Регулировка тонины помола осуществляется при помощи конуса в устье сепаратора, устанавливаемого посредством винта *о*. Количество воздуха, подаваемого в мельницу, регулируется клапаном *и*. Крупные и неразмолотые куски могут быть удаляемы во время работы мельницы без ее остановки, при помощи выдвижной заслонки *к*. К сожалению, эксплуатационных данных, относительно этой мельницы, не обнаружено. Конструктивно «Унипульва» несомненно выше мельницы Кофино. К ее преимуществам по сравнению с Кофино нужно отнести: во-первых — наличие измельчителя в самой мельнице, что в сильной степени увеличивает ее универсальность; во-вторых — чрезвычайно остроумный способ отделения твердых частей, не подлежащих размолу, от кусков угля; в-третьих — эластичное закрепление бил на роторе, в-четвертых — устройство мертвого пространства возле дна корпуса, благодаря чему устраняется торможение ротора при повышении тонины помола; в-пятых — возможность прочистки мельницы на ходу и в-шестых — большее совершенство конструкции угольного сепаратора. Благодаря всем этим качествам, мельница «Унипульва» несомненно обладает большей надежностью, чем мельница Кофино, но в смысле расхода энергии и в смысле достижения высокой тонины помола, она вряд ли превосходит мельницу Круппа.

Одна из наиболее совершенных машин типа A_1 — это мельница завода Бабкок и Вилькоккс в Обергаузене (Германия). На фиг. 28 дан наружный вид и продольный разрез этой мельницы. Мелющий аппарат ее состоит из двух горизонтальных концентрических камер, из которых меньшая *г* производит предварительный грубый помол, а большая *д* доканчивает размол, выпуская пыль требуемой тонины. Била сидят на общем валу, на котором в конце, с правой стороны,

насажен отсасывающий вентилятор *p*. Уголь движется по мельничной машине следующим способом: из воронки *a* он поступает при помощи тарельчатого питателя *d* на магнитный железоудалитель *g*, откуда по соединительному патрубку *i* ссыпается в мельничную камеру. Характерной особенностью мельницы Бабкока является устройство бил. Первые три била, помещающиеся в камере *r*, имеют одинаковый радиус. Следующие три била расположены ступенчатообразно, при чем самый больший радиус имеют била, находящиеся ближе к отсасывающему вентилятору. Уголь продвигается вдоль оси вала под действием струи воздуха, просасываемого через мельницу вентилятором *p*. Воздух частично присасывается вместе с поступающим углем по патрубку *i*, а частично через патрубок *o*. Этот воздух омывает снаружи мелющую поверхность. Он берется из воздушных прослоек между огнеупорной футеровкой и наружной обмуровкой топочной камеры, почему он имеет высокую температуру. Таким образом, уголь, продвигаясь вдоль мелющих поверхностей, подогревается и одновременно подсушивается. Это имеет в том смысле преимущество еще, что воспламенение воздушноугольной смеси в топочной камере



a—угольная воронка; *b*—передвижной наполнитель; *c*—регулятор подачи; *d*—тарельчатый питатель; *e*—смотровое окно; *f*—привод питателя; *g*—магнитный аппарат; *h*—шестеренная передача; *i*—патрубок для подачи угля в корпус мельницы; *k*—вентилятор для добавочного воздуха; *l*—присос воздуха к вентилятору; *m*—соединительная муфта; *n*—спуск для неразмалываемых частиц; *o*—шуттер для присоса горячего воздуха; *p*—вентилятор; *q*—камера тонкого размола; *r*—камера грубого размола; *s*—соединительная муфта к мотору; *t*—присос холодного воздуха.

Фиг. 28. Продольный разрез мельницы завода Бабкок и Вилькоккс в Обергаузене.

значительно улучшается. Добавочный воздух подается в камеру сжигания вентилятором *k*, сидящим на валу, соединенном с валом мельницы муфтой *m*. Этот добавочный воздух присасывается через отверстие *l*, соединенное патрубком с воздушными каналами, окружающими футеровку топочной камеры. Таким образом, добавочный воздух подается в топочную камеру также в нагретом состоянии. Ступенчатообразная конструкция мельницы способствует понижению расхода энергии в мельнице. Мельница строится трех величин: первая модель производительностью 0,250 — 0,5 тонны/час, вторая — 0,8 — 1,2

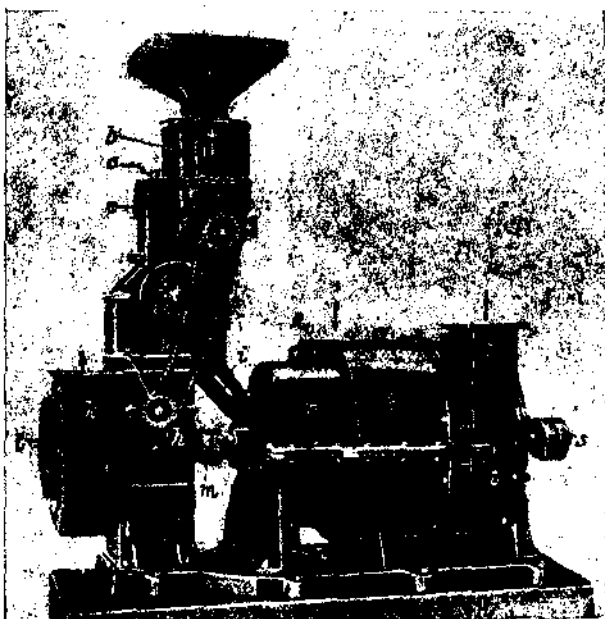
тонны/час и третья — 1,6 — 2,5 тонны/час. Число оборотов ротора — 1 500 в минуту. В среднем величина R_p для этого типа мельниц, при влажности пламенного угля до 5% и при тонине помола, соответствующей 15% остатка на сите с 4 900 петель, колеблется в пределах 22 — 25 квт.час/тонна. В настоящее время фирма приступила к изготовлению мельниц с производительностью $P_n = 5$ тонн/час. Мельница типа Бабкок и Вилькокс выделяется среди ударных мельниц целым рядом преимуществ: во-первых, она экономичнее других таких же мельниц в смысле затраты энергии; во-вторых, благодаря многоступенчатой конструкции она дает лучшую тонину помола и меньшую изнашиваемость частей; в третьих, присасывая горячий воздух, она, до известной степени, подсушивает измельчаемый уголь и улучшает условия горения угольной пыли в топке. Так как центр тяжести у этой мельницы расположен низко, то она довольно устойчива. Тем не менее эта мельница обладает теми же дефектами, какие вообще свойственны этому типу конструкции: она дорога в эксплуатации, она не может дать очень тонкого помола и изнашиваемость ее частей очень высока.

К вышеописанной группе мельниц принадлежит целый ряд аналогичных конструкций — мельница Бетингтона, Фарнера, Атритор и т. п.

Мы не будем останавливаться на описании этих мельниц, ибо конструктивно они уступают мельнице Бабкока, а эксплуатационно еще менее выгодны.

Группа А₂. — Центробежные мельницы.

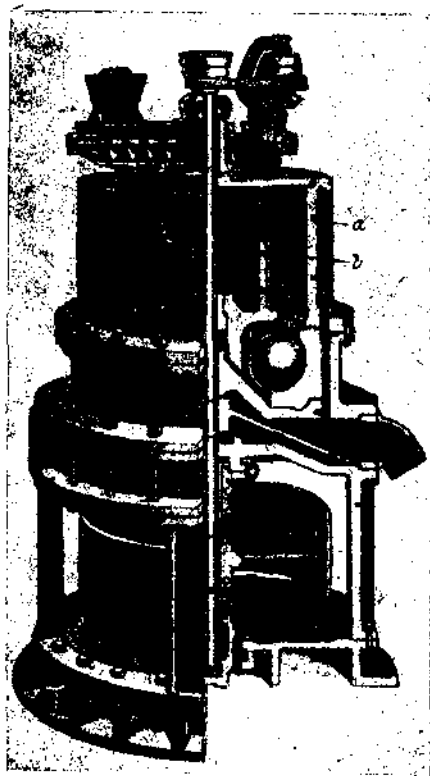
Наибольшую популярность среди мельниц этого типа приобрела в настоящее время мельница Фуллера. Она имеет чрезвычайно широкое распространение в американских пылесожигательных установках. Около 150 тысяч кв. метров поверхности нагрева американских паровых котлов обслуживается этой мельницей. В Америке ее изготовляет



Фиг. 28. Наружный вид мельницы завода Бабкок и Вилькокс в Обергаузене.

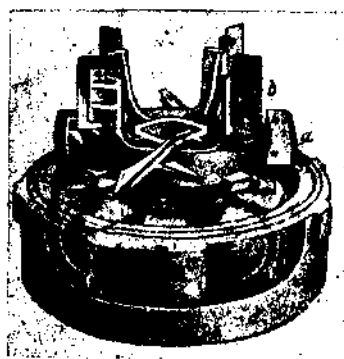
фирма Fuller Leghi, в Германии завод Бамаг (в Дессау), а в Англии завод Бабкок и Вилькоккс. Конструкция этой мельницы видна на фиг. 29, 30 и 31.

Кусковой уголь, при максимальных размерах кусков до 30 мм., подается в мельницу при помощи червячного питателя. Катящиеся по мелющей поверхности *q* (ф. 30) шары *с*, приводимые в движение крестовиной *е*, измельчают уголь до состояния пыли. Вентилятор *а* и *б* (фиг. 30) увлекает угольную пыль всасываемой струей воздуха кверху и бросает ее на сито *б* (фиг. 29). Пройдя грубое сито угольные частицы попадают на тонкое сито *а* (фиг. 29), при чем более мелкие пылинки выходят по выводным каналам наружу, а крупные частицы задерживаются и ссыпаются вновь на мелющую поверхность. Фуллеровская мельница изготавливается для производительности от 0,5 до 15 тонн/час. Число оборотов колеблется в пределах от



а—тонкое сито; *б*—грубое сито.

Фиг. 29. Мельница Фуллера с сепарацией пыли помощью сит.



а и *б*—крылья вентилятора; *с*—мелющие шары; *д*—мелющая поверхность; *е*—крестовина для поверхности.

Фиг. 30. Мелющее устройство мельницы Фуллера.

130 до 210 в минуту. Полная работа мельницы P_n колеблется в пределах 14—18 квт.-час./тонна в зависимости от сорта угля, степени его влажности и тонины помола. Инженер Шульц указывает $P_n = 13$ квт.-час./тонна, на германском каменном угле, влажности 1—2% и тонине помола соответствующей 10—12% остатка на сите с 4 900 петель. Эта величина P_n нам кажется несколько преуменьшенной. Данные американских установок дают минимальную величину $P_n = 15$ квт.-час./тонну. Мельницы Фуллера изготавливаются не только с сепарацией при помощи сит, но также и с воздушной сепарацией. Конструкция такой мельницы изображена на фиг. 31. Она отличается

только тем, что верхняя часть корпуса мельницы устроена герметичной и соединена со вторым отсасывающим вентилятором. В этом случае верхняя часть корпуса мельницы является воздушным сепаратором. Тонкая пыль увлекается воздушной струей ко второму вентилятору, а более грубые частицы падают обратно на мелющую поверхность. Рулетная мельница, изготавливаемая Брауншвейгской фирмой Амме, Гизеке и Конегенпо конструкции, чрезвычайно близка к мельнице Фуллера, но обладает несколько худшими эксплуатационными свойствами, благодаря чему расход энергии в ней выше, чем в мельнице Фуллера; кроме того, она требует большей сухости угля для хорошей работы. Изготавливается эта мельница в 3-х размерах с $P_n = 2, 2,5$ и 5 тонн в час. Число оборотов 180 в минуту. $P_n = 20$ квт. час/тону.

Третий тип машины — мельница Раймонда, являющийся представителем той же группы, в значительной степени отличается по конструкции от 2-х предыдущих. Мелющими телами служат не шары, а валики, насаженные на стержень маятников. Таких маятниковых стержней имеется обычно, в зависимости от производительности мельницы, от 3-х до 6-ти. На фиг. 32 дан разрез такой мельницы и изображение отдельных ее деталей. Мельница Раймонда работает следующим образом: уголь, поступающий в мелющую камеру, благодаря центробежной силе, вызываемой вентилятором *a* и вращающимися маятниками *b*, распределяется по мелющей поверхности, расположенной вертикально. От действия центробежной силы, маятники *b* стремятся отойти возможно дальше от оси вращения. Благодаря этому, сидящие на них ролики прижимаются к мелющей поверхности и, катясь по последней, размалывают уголь. Тонкая пыль, образующаяся при этом размоле, отсасывается вентилятором, при чем более грубые частицы падают обратно на мелющую поверхность, а тонкая пыль уходит в циклон, служащий для отделения воздуха от пыли. Воздух из циклона, по соединительным трубам возвращается к мельничным окнам *e*, и все время циркулирует в системе. Мельница Раймонда изготавливается фирмой того же имени, широкое распространение на американских установках она получила благодаря применению ее второй, крупнейшей по пылесожиганию американской фирмой «Combustian Engineering Co».



Фиг. 31. Мельница Фуллера с воздушной сепарацией угольной пыли.

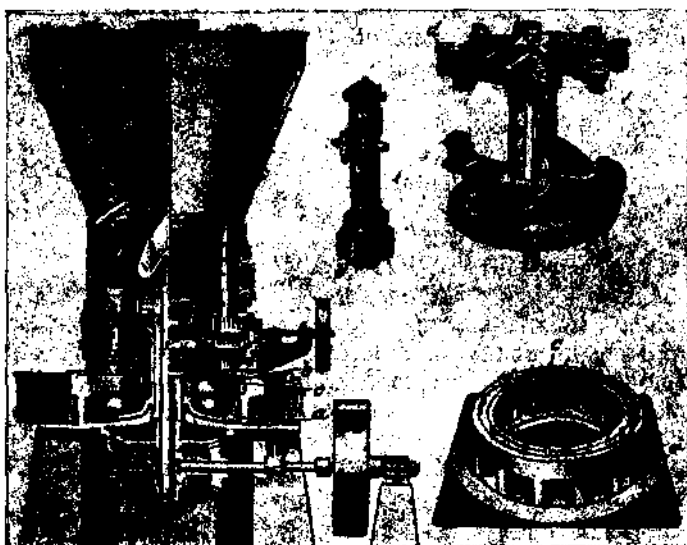
Мельница Раймонда изготавливается 3-х размеров:

для производительности $P_n = 3,63$ тонн/1 час.

$P_n = 4,53$ » »

$P_n = 5,45$ » »

число оборотов мельницы = 120 в 1 мин. Вышеупомянутые величины P_n соответствуют пламенному каменному углю с влажностью в 3%, при тонине помола, отвечающей 35% остатка на сите с 6 200 петель и 5% остатка, при 1 550 петлях. Величина P_n колеблется в пределах 14 — 15 квт.-час./тонн. Как в эксплуатационном, так и в конструктивном отношении, мельница Раймонда очень мало уступает мельнице Фуллера. Некоторым преимуществом последней является применение в качестве мелющих тел — шаров. Валики мельницы Раймонда соприкасаются с мелющей поверхностью большим количеством точек, чем шары у Фуллера, и поэтому снашиваются быстрее. Кроме того валики могут иногда заедать и при этом движение катания переходит в скольжение. Это также способствует более быстрому изнашиванию валиков и ухудшению размола. Все эти дефекты, однако, столь незначительны на практике, что мельница Раймонда вполне успешно конкурирует в Америке с мельницей Фуллера. Такие крупные установки, как станция Лак-Шор, принадлежащая Клевелендскому Об-ву электр. освещ., оборудованы мельницами Раймонда. Около 180 000 кв. метров поверхности нагрева паровых котлов оборудовано этими мельницами.



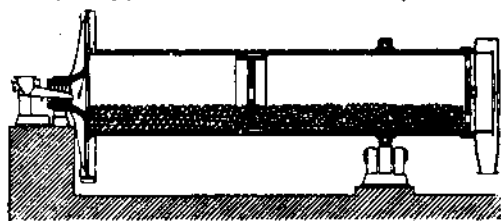
а—вентилятор; в—мелющий валик, укрепленный на стержне маятника;
с—мелющая поверхность; д—ось, вокруг которой вращается маятник;
е—отверстия для выпуска воздуха.

Фиг. 32. Мельница Раймонда.

Из обзора группы мельниц A_2 видно, что эксплуатационно и конструктивно эти мельницы являются, как доказала уже и практика, значительно лучшими, чем мельницы группы A_1 . Они меньше изнашиваются, дают более тонкий помол и расходуют значительно меньше энергии.

Группа Бз. — «Тяжеломолы».

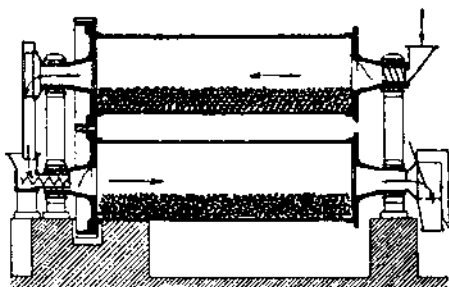
Характерным представителем этой группы угольных мельниц является мельница Круппа,¹ изготовляемая Магдебургским заводом Грузонверк. Как видно из фиг. 33, она представляет собою барабан, наполненный шаровыми мелющими телами, разделенные по длине перегородкой особой конструкции. В левой камере, образуемой этой перегородкой, происходит грубый размол, а тонкая пыль получается в правой камере. Перегородка служит целям разделения этих двух камер, при чем, по мере измельчения угля до определенной величины, она пропускает мелкий помол в камеру тонкого измельчения, откуда тончайшая угольная пыль выходит наружу, просеиваясь через соответствующие сита. Уголь поступает внутрь мелющего барабана при помощи питателя - трясучки. Крупном изготавливается также и сдвоенная трубчатая мельница (фиг. 34). Конструкция этой мельницы совершенно ясна из рисунка. Более сложную конструкцию представляет собою, так наз., соло-мельница завода Полизиус; отличительной чертой этой мельницы является конструкция камеры грубого помола, в которой более тонкие частицы проходят через перегородку (фиг. 35), а более грубые частицы вновь возвращаются при помощи специальных наружных шнеков в камеру грубого размола.



Фиг. 33. Комбинированная трубчатая мельница фирмы Крупп, Грузонверк в Магдебурге.

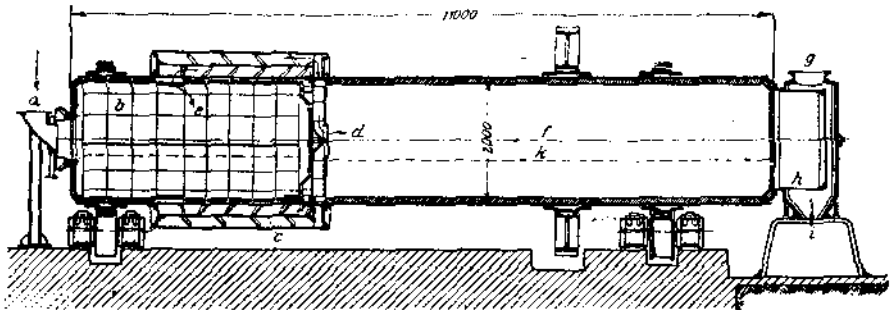
Чрезвычайно оригинальную разновидность подобной конструкции мельницы дала американская фирма Гардинг, которая изображена у нас на фиг. 36. Отличительная черта этой комбинированной трубчатой мельницы состоит в том, что вместо промежуточной стенки мельницы Круппа, разделение корпуса этой мельницы на две камеры осуществляется благодаря специальной форме ее кожуха.

Тяжеломолы являются типом мельниц, доставшихся пылесожиганию из совершенно другой области измельчения минеральных веществ. Они несомненно обладают некоторыми положительными качествами. Число оборотов в них очень мало и колеблется в пределах от 19 до 30 в минуту; изнашиваются эти мельницы чрезвычайно медленно; ухода требуют очень мало и дают весьма тонкий и ровный помол. Всем этим положительным свойствам противостоят, однако, два основных дефекта, которые фактически делают эти мельницы мало пригодными для пылесожигательных установок. Во-первых — стоимость мельницы и занимаемая ими площадь, следовательно, и стоимость здания для них невероятно велика. Кроме того, затрата энергии в этих



Фиг. 34. Сдвоенная трубчатая мельница завода Крупп, Грузонверк в Магдебурге.

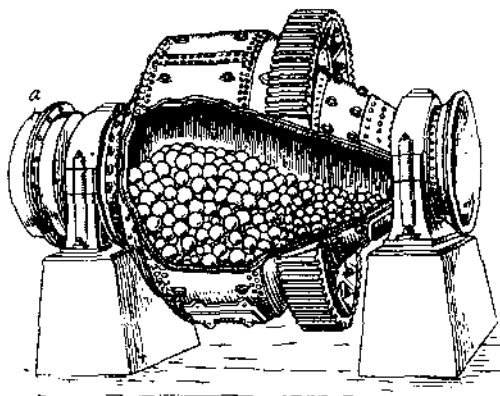
мельницах чрезвычайно высока. Р_н для этих мельниц колеблется в пределах 30—42 квт.-час/тонну. Благодаря этим двум основным обстоятельствам, стоимость эксплуатации такой мельницы так высока, что она, в большинстве случаев, делает всю установку нерентабельной и пылесожигательное устройство менее выгодным, чем любая механическая топка. Для характеристики того, насколько много места тре-



а—выпуск угля; в—камера грубого помола; с—сито для крупного помола; d—проход для тонкого помола; e—возврат грубых частиц; f—камера тонкого помола; g—отсасывание пыли; h—тонкое сито; i—выход готовой пыли; k—степень наполнения мельницы.

Фиг. 35. Соло-мельница завода Г. Полизиус в Дессау.

бует мельница вышеописанного типа, достаточно указать, что площадь, занимаемая такой мельницей, приблизительно равна 99 м². (комбинированная мельница Круппа). В то время как мельница Раймонда потребует площадь, при равной мощности, в 8 м², а 3-вальцовая мельница 5—8,5 м². Я лично считаю, что применение [этой] мельницы в области пылесожигания явилось следствием недостаточной приспособленности германской техники к задачам измельчения угля на первых порах при конструировании пылесожигательных установок. Тяжеломолы являются в области пылесожигательной техники чужеродным механизмом, и, по мере развития пылесожигания в Германии, они



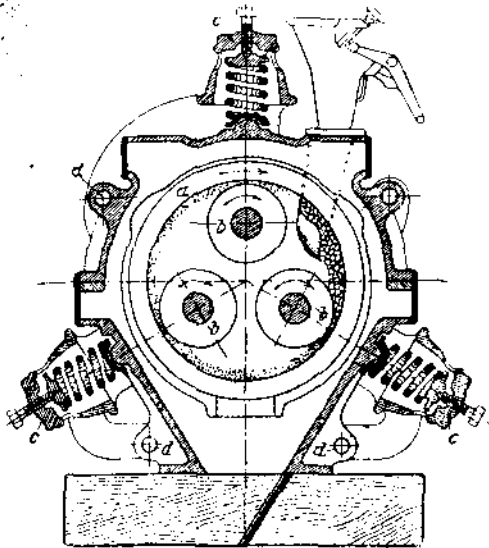
Фиг. 36. Трубчатая мельница Гардинга.

несомненно должны будут уступить свое место более приспособленным конструкциям. Америка, где пылесожигание приобрело полное право гражданства и где центральные установки обслуживают силовые станции с 20 000—30 000 кв. м. поверхности нагрева, тяжеломолы не применяют. Учитывая те моменты, которые мы выше указали, мы считаем, что это явление не случайное, а совершенно закономерное.

Группа Б₄. — Трехвальцовые мельницы.

Прототипом мельниц этой конструкции является мельница Кента (фиг. 37). Основной принцип работы мельниц этой конструкции состоит

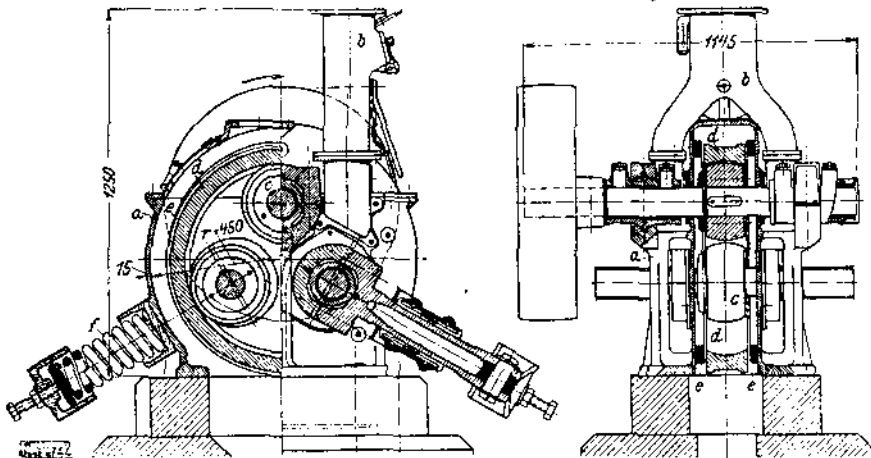
в том, что кольцо (обечайка) вращается в одном направлении, а 3 валика, прижимаемые при помощи пружин к внутренней поверхности кольца, вращаются в противоположном направлении. Уголь, попадая



а — кольцо, служащее мелющей поверхностью. б — мелющие валики. с — опоры для подшипников. д — скрепляющие болты.

Фиг. 37. 3-хвальный мельница сист. Кента.

в мелющее пространство, раздавливается между валиками и внутренней поверхностью кольца. Другая разновидность этой конструкции



а — корпус б — у-образный наполнитель. с — мелющие валики. д — кольцо е — кулисы. ф — пружины, прижимающие валики к кольцу.

Фиг. 39. 3-хвальный мельница с P_n равное 2 тон./1 час

показана на фиг. 38, изображающей мельницу Максекон, завода Грюбера в Берлине.

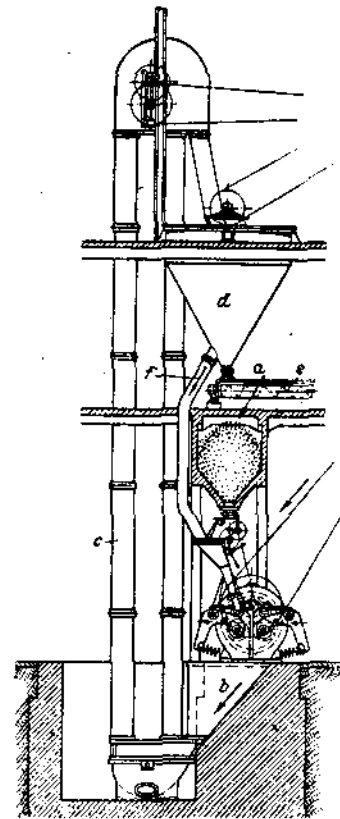


Фиг. 38. 3-хвальный мельница Максекон, зав. Грюбер, Берлин.

В отличие от мельницы Кента, прижатие валцов к обечайке в мельнице Максекон достигается не при помощи пружин, а посредством передвижных изогнутых рычагов, служащих опорами для подшипников валцов. Подшипники в этой конструкции изготавливаются роликового типа, благодаря чему расход энергии значительно уменьшается. Готовая угольная пыль, получаемая в вышеописанных двух

мельницах, проходит через воздушный сепаратор, откуда тонкая пыль поступает в топку, а грубые частицы возвращаются в мельницу. Фирмы Вальтер, Пфайфер и др. изготавливают 3-х-валцовые мельницы по типу фиг. 39. В отличие от мельницы Кента и Максекона фирма Вальтер делает вращающимися только два нижних валца. Верхний остается неподвижным. В качестве образцовой схемы, изображающей установку 3-х-валцовой мельницы, нами приведена такая установка на фиг. 40.

Несколько особняком от вышеописанных типов, но принадлежащая к той же конструкции, стоит мельница Вамиго, изготавливаемая Рейнским машиностроительным заводом в Нойсе (Германия). Отличительной чертой этой мельницы является то, что она работает с вакуумом в 100 — 400 м/м. водяного столба. Мелющая камера непосредственно соединена с воздушным сепаратором, помещенным несколько выше ее, откуда готовая угольная пыль вместе с воздухом прогоняется вентилятором по трубопроводу непосредственно к топочной форсунке. Как видно из фиг. 41, питатель, в отличие от других систем, находится не вверху, а внизу мельницы, имея форму конусной тарелки. Подача кускового угля из тарелки питателя производится при помощи червяка, из которого угольные куски величиною в 20 — 25 м/м. попадают в соединительную трубку. Здесь их подхватывает струя воздуха



а—бункер для угля. б—ссыпка готовой пыли. с—элеватор. д—воздушный сепаратор. е—шнековый транспортер. ф—патрубок, по которому крупные частицы угля возвращаются из сепаратора в мельницу.

Фиг. 40. Образец установки 3-х-валцовой мельницы.

и уносит в мельничную камеру. Отличительной чертой мельницы Вамиго является помимо того, что она работает под таким высоким вакуумом, еще конструкция ее мелющих органов. Последние устроены так, что целиком могут быть вынуты и заменены новым комплектом, в случае необходимости чистки или ремонта.

Относительно расхода энергии в мельницах группы Б₄ имеются следующие данные: фирма Грюбер на своей мельнице Максекон

гарантирует величину $P_n = 13,7$ квт.-час/тон. Согласно данным инженера Шульца величина P_n для мельниц Максеком колеблется в пределах 10 — 15 квт.-час/тонн; для 3-хвальцовых мельниц фирмы Вальтер тот же автор дает величину $P_n = 9,7—12,5$ квт.-час/тонн. Наконец, для мельниц Вамиго, по данным инженера Шульца, величина P_n колеблется в пределах 7,7—9,7 квт.-час/тонн. Все эти данные о расходе энергии приурочиваются к размолу германских каменных углей с влажностью 1 — 2% и для тонины помола 8 — 15% остатка на сите с 4900 петлями. Гельбиг из своих личных опытов дает следующие величины P_n для 3-хвальцовых мельниц: на Рурском каменном угле, при 14% остатка на сите с 4900 петлями, P_n получилось 12,8 квт.-час/тонн; в другом случае на Саарском угле при тонине помола 11% на сите с 4900 петель 3-хвальцовая мельница производительностью 1650 кг. в 1 час дала величину $P_n = 10,7$ квт.-час/тонн.

Приведенный выше ряд цифр, взятых из проверенных опытов, свидетельствует о том, что «полная работа» для 3-хвальцовых мельниц, по сравнению с остальными системами, является наименьшей. К этому же выводу пришел, как нами указывалось раньше, при параллельных испытаниях различных систем мельниц дрезденский профессор Розин. Число оборотов 3-хвальцовых мельниц невелико. В редких случаях оно достигает 260 в минуту, но, обычно, колеблется в пределах от 180 до 220. Опыты профессоров Борхарца и Розина доказали, что самый тонкий помол, при прочих равных условиях, получается на 3-хвальцовых мельницах. Как показывает опыт ряда установок, снашиваемость рабочих частей сравнительно не очень высока. Нужно при этом иметь в виду, что смена валиков или мелющего кольца вообще чрезвычайно проста и требует минимальной затраты времени.



Фиг. 41. 3-хвальцовая мельница Вамиго.

Как мы уже указывали, конструкция мельницы Вамиго такова, что, в случае надобности какого-либо ремонта, мелющий агрегат целиком вынимается из кожуха и заменяется резервным. Благодаря этим обстоятельствам можно считать, что в конструктивном отношении мельницы 3-хвальцовые представляют собою один из наиболее надежных и совершенных типов машин. В том случае, если в мельницу попадает твердое, постороннее тело (кусок железа или твердой породы), то опасности для мельницы это не представляет, так как соответствующий валик нажмет на пружину и пропустит это тело. Благодаря сравнительно небольшому числу оборотов и ничтожному весу вращающихся частей ход у мельницы получается ровный, не вызывающий сотрясения в окружающих предметах. Эта особенность также представляет значительные удобства и устраняет необходимость массивных, больших фундаментов.

Производительность 3-хвальных мельниц колеблется в пределах от 200 кг. до 10000 кг. в 1 час. Фирма Грюбер изготавливает мельницы Максекон для следующих производительностей:

0,9—1 тонны в 1 час.
1,8—2 тонн в 1 час.
3,6—4 тонн в 1 час.

Место, занимаемое этими мельницами, выражается в следующих величинах: для первой — потребная площадь пола — 1,3 м², для второго размера эта площадь составляет 4 м². и для третьего размера — 5 м². Высота всех мельниц приблизительно равна 2 метрам. Место, занимаемое мельницами Вамиго, составляет для производительности 10 тонн/час 11 м², для производительности около 6 тонн — 8,5 м². и для меньших производительностей около 4 м². В высоту эти мельницы занимают около 3 метров. Рейнский металлический завод может изготавливать свои мельницы 9-ти размеров от 0,2 тонны в 1 час. до 20 тонн в час. Нужно, однако, отметить, что практически выполнены заводов мельницы производительностью до 10 тонн в 1 час. Для большей производительности в настоящее время имеется проект и изготавливаются модели.

К дефектам этой конструкции нужно отнести сравнительно высокий износ валиков при твердых сортах топлива. Однако, легкость смены валиков вполне обеспечивает надежность работы мельницы. Нужно еще иметь в виду, что эта конструкция машин является в деле пылесождения самой молодой и дает полную возможность дальнейшего развития ее деталей. Следует ожидать, что при накоплении достаточного опыта, машины этого типа дадут дальнейшее уменьшение расхода энергии и понижение износа отдельных частей. Мы, напр., считаем, что правильным подбором металла для кольца и валиков можно будет вполне добиться того, чтобы износ этих частей не превышал износа шаров в мельницах Фуллера. Так как эти мельницы могут быть изготавливаемы как для самых малых производительностей, так и для производительностей очень крупных, то, по нашему мнению, будущность этой конструкции и в индивидуальных, и в центральных установках весьма велика.

Резюмируя обзор мельничных конструкций, нашедших себе применение в области пылесождения, мы считаем необходимым дать сравнительную характеристику всех 4-х групп машин, согласно намеченной выше классификации.

Группа А₁. « Ударные » мельницы.

Эта конструкция является одной из наиболее дешевых, требует очень мало места для установки, число оборотов в ней очень велико, холостой ход машины требует большой затраты энергии, расход энергии на часовую тонну помола велик, износ частей чрезвычайно большой, тонина помола — невысокая, помол неровный, в эксплуатации эта машина не всегда бывает надежна. Применение эти машины могут иметь, главным образом, при пробных, временных установках в котельном хозяйстве, а также для промышленных печей, где тонина и ровность помола не играют большой роли.

Группа А₂. « Центробежные » мельницы.

Эти мельницы требуют, сравнительно, небольшой площади для установки, они значительно дороже мельниц группы А₁ и Б₄, но много дешевле мельниц группы Б₃. Расход энергии на холостой ход у них наименьший, по сравнению со всеми остальными типами машин. Величина P_n у них значительно меньше, чем у мельниц группы А₁ и Б₃, но больше, чем у машин группы Б₄. Степень снашивания у этой группы мельниц меньше, чем у машин Б₄, а в особенности, чем у машин А₁, но больше, чем у мельниц группы Б₃. Ремонт этих машин довольно сложен и дорог. Благодаря характеру работы этих машин, они делают много шума, что представляет для обслуживающего персонала значительные неудобства. Тонина помола у них хорошая и пыль получается совершенно ровная.

Группа Б₃. « Тяжеломолы ».

Стоимость этих мельниц чрезвычайно высокая. Эти мельницы требуют для своей установки как большой площади пола, так и очень большой кубатуры помещения. Затрата энергии на холостой ход у этих машин чрезвычайно велика. По сравнению со всеми остальными конструкциями машин величина P_n у них самая большая. Благодаря способу работы, они создают большой шум, представляющий неудобства для обслуживающего персонала. Они потребляют большое количество смазывающего материала. В работе эти машины очень надежны, дают чрезвычайно тонкий и ровный помол, снашиваемость их ничтожна.

Группа Б₄. « Трехвальцовые » мельницы.

Мельницы этой группы значительно дешевле мельниц А₂ и Б₃ они приблизительно стоят столько же, сколько и мельницы группы А₁. Место, занимаемое этими мельницами, не велико, но несколько больше, чем у группы А₁. Расход энергии на холостой ход — не велик и приблизительно такой же, как у группы А₂. Величина P_n у этих мельниц самая меньшая по сравнению со всеми другими конструкциями; на тонну помола в 1 час они затрачивают от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ мощности потребляемой мельницами группы Б₃, около $\frac{1}{2}$ мощности потребляемой мельницами группы А₁, и на 15 — 25% меньше, чем мельницы группы А₂. Они имеют ровный, спокойный ход и по тонине и ровности помола превосходят все остальные мельницы. Снашивание мелющих частей у них несколько выше, чем у мельниц группы А₂, но ремонт их очень дешев и прост.

Тонина помола и метод ее установления.

Вопрос относительно того, до какой тонины необходимо размалывать уголь еще не получил универсального разрешения. Рабочая практика и специальные исследования дают весьма разноречивые цифры. Германские авторитеты склоняются по преимуществу к тонине помола, отвечающей 10 — 15% остатка на сите с 4900 петель, т.-е.

85 — 90% крупинок с диаметром до 85 μ ¹⁾. Американская практика применяет более грубый помол, в котором 60 — 65% крупинок менее 74 μ , что соответствует 35 — 40% остатка на сите с 6400 петель. Опыты, поставленные О-вом Надзора за паровыми котлами в Дортмунде, показали, что при изменении тонины помола с 14% остатка на 21% остатка на сите с 4900 петель для рурских углей с теплотворной способностью около 7500 калорий, при содержании летучих около 21%, коэффициент полезного действия пылесожигательной установки не дал существенных изменений. Опыты, произведенные на станции «Oneida Street» в Мильвоки, по данным Мюнцингера, показали, что при изменении тонины помола с 29,9% остатка на сите с 6200 петель до 36% коэффициент полезного действия не изменился.

При выборе тонины помола приходится учитывать следующие моменты: чем тоньше помол, тем лучше происходит сгорание пыли и тем меньшие размеры должна иметь топочная камера. Однако, более тонкий помол требует большей затраты энергии. Таким образом, необходимо найти то наивыгоднейшее соотношение между увеличением затраты на помол и уменьшением потерь на излишний расход топлива, которое для данных условий работы явилось бы оптимальным. Ясно, что такого всеобщего решения быть не может. Величина излишней стоимости работы помола зависит, как мы видели выше, и от конструкции мельницы, и от размоловоспособности угля, и от влажности его и, наконец, от стоимости энергии. Экономия, получаемая от уменьшения размеров топочной камеры, зависит от стоимости строительных и огнеупорных материалов, стоимости рабочих рук и т. п. Наконец, экономия, получаемая от улучшения коэффициента полезного действия при более тонком помоле, зависит от стоимости угля. В каждом частном случае, в зависимости от ряда факторов при решении вопроса о выборе тонины помола, необходимо конкретное, опытное изучение, которое только одно и может дать вполне правильный ответ. Нужно всегда руководствоваться только одним положением — те добавочные расходы, которые необходимо понести для получения более тонкого помола, должны быть меньше, чем та экономия, которая, благодаря более тонкому помолу, получится. Только путем накопления большого опыта в каждой конкретной рабочей обстановке удастся разрешить вопрос о степени размолла, которая является наивыгоднейшей. При этом нужно иметь в виду, что это решение получится для Донбасса — одно, для Урала — другое, для Московского района — третье и т. п.

Что должно служить мерилем тонины помола? В этом отношении техника пылесожигания еще не дала всеобщего и твердо установленного решения. Первой попыткой для установления таких международных норм является предложение германского Топливного Угольного Совета от 1 июля 1925 г.

Для определения тонины помола предложены следующие правила и нормы²⁾.

1. Нормальная форма испытательного сита: сито должно быть круглое, диаметром 200 м/м.; плетение

¹⁾ $\mu = \frac{1}{1000}$ м. м.

²⁾ Archiv für Waermewirtschaft, 1925 г. Heft 5, Seite 216, «Siebnormung».

ита по краю должно быть запаяно. Обечайка сита должна иметь в высоту 50 м/м. Обечайка к краю, выступающему по другую сторону сита, сводится на конус, дабы одно сито можно было вставлять в другое.

2. Нормальная ткань сита:

Количество петель.	Толщина проволоки.	Размер петель в свет.
900	0,13 м/м	0,20 м/м
2.500	0,080 »	0,120 »
4.900	0,055 »	0,086 »
6.400	0,050 »	0,075 »

3. Допустимые отклонения:

	Среднее отклонение.	Максимальное отклонение.	Макс. допуст. колич. отклон.
В толщине проволоки	5%	10%	10%
В размерах петель	5%	30%	10%

4. Нормальный метод просеивания.

При испытании пробы угольной пыли берется не менее 25 грамм. ее и просеивается через самое тонкое сито. Просеивание должно продолжаться не менее 10 минут, при чем в 1 минуту необходимо делать не менее 125 ударов рукой по обечайке сита. После каждых 25 ударов сито поворачивается на 90° и по раме его делается рукой 3 удара. После 3-х минут, 5-ти минут и 8-ми минут просеивания нижняя поверхность сита очищается мягкой щеточкой. По окончании просеивания остаток пыли, находящийся на сите, тщательно собирается и сыпается в фарфоровую чашечку для отвешивания. После этого этот остаток пропускают через следующее сито (с 4900 петлями на 1 кв. сант.). На этом сите производят точно такую же манипуляцию, как и на предыдущем. Точно таким же образом поступают с остатком, взвесив его, перенеся на сито с 2500 петлями и далее на сито с 900 петлями. На последнем сите просеивание производят только в течение 5 минут.

Германский Угольный Совет в лице своего отдела по угольной пыли, согласовав вышеуказанные нормы определения тонины помола с заинтересованными учреждениями и с представителями промышленности, представил их на утверждение высших государственных органов. Со стороны американского Бюро Стандартизации, установившего в Америке нормы испытания, поступило сообщение германскому Угольному Совету, что оно выражает согласие, в случае утверждения вышеописанных норм, принять таковые для Америки и объявить их международными нормами испытания угольной пыли.

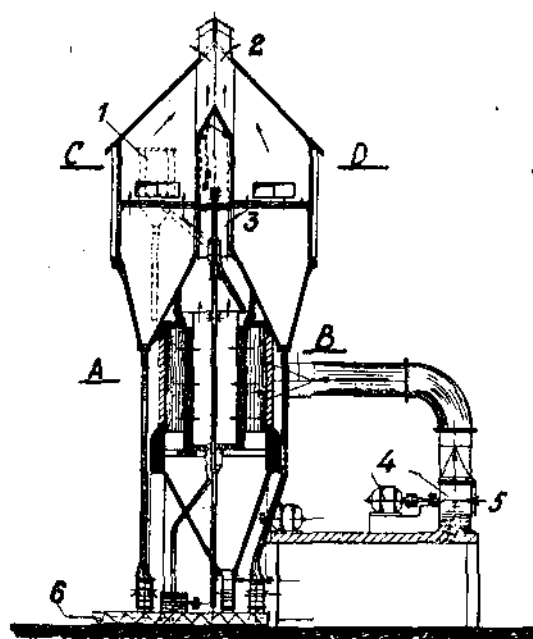
Мы считали бы вполне возможным и желательным принятие этих норм и для СССР. Согласование и окончательное проведение этих норм в Союзе в качестве обязательных следовало бы провести организуемому управлению энергетики ВСНХ СССР.

Глава V.

Вспомогательные оборудования при подготовке пыли.

Обеспыливание воздуха.

Как при работе сушилок, так и при работе мельниц чрезвычайно важным моментом является обеспыливание воздуха. Воздух, как мы



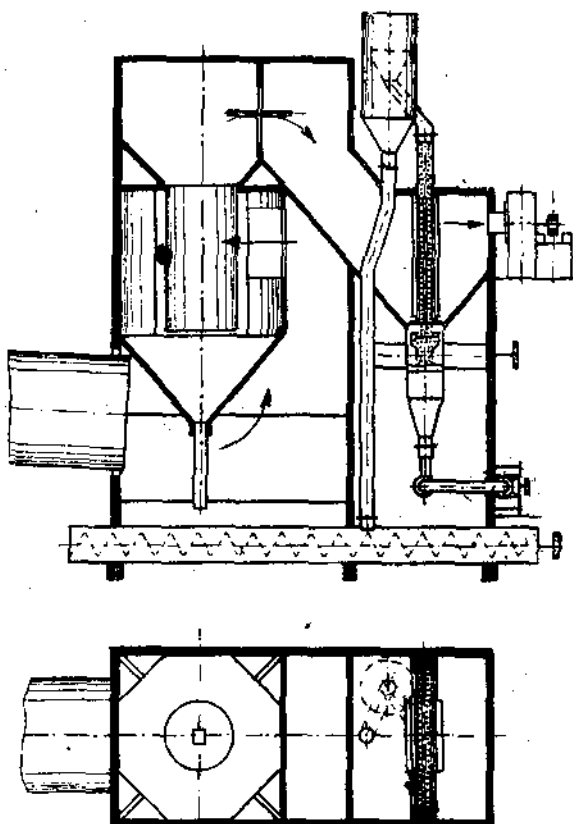
Фиг. 42. Обеспыливатель сист. Дельбага с подвижным фильтрующим слоем цилиндрич. формы.

имели возможность видеть выше, для повышения экономии в работе циркулирует в сушилке, и в иных случаях, и в мельнице. Этот циркулирующий воздух, при отсутствии хорошего обеспыливания, увлекает угольную пыль и этим значительно ухудшает условия работы. Кроме того, если даже воздух не пускается в циркуляцию, а отводится наружу, то и тогда обеспыливание его необходимо. В противном случае потери угольной пыли будут очень значительны и этот воздух создаст для окружающей местности антигигиенические условия. Опыт американцев в этом отношении чрезвычайно поучителен. Как указывает Гельбиг, сушилка Фуллера имеет производительность в 3-4 раза превышающую производительность сушилок Полизууса. Конструкция этих сушилок и устройство газоходов в обеих системах очень сходны и разница в производительности обуславливается исключительно тем, что американцы умеют гораздо лучше производить обеспыливание воздуха. Обычно применяемый аппарат для этой цели это — циклон. Воздух, двигаясь в нем концентрически и встречая на своем пути ряд

отражательных поверхностей, постепенно освобождается от взвешенной в нем пыли. Циклоны, однако, не дают достаточного обеспылива-

ния и поэтому в иных случаях на ряду с циклонами, в комбинации с ними, применяют отстойные камеры, в которых осаждение пыли происходит благодаря значительному уменьшению скорости движущегося воздуха. В некоторых случаях применяют также промывку воздуха, при чем влажная угольная пыль осаждается довольно интенсивно. Однако, применение мокрого способа осаждения пыли, разрешая более или менее вопрос с точки зрения гигиенической, потерь угольной пыли не уменьшает. Смоченная пыль для производства почти потеряна. Фирмой Дельбаг предложен прибор, изображенный на фиг. 42, способ действия которого сводится в общих чертах к следующему.

Существенной частью фильтра фирмы Дельбаг является устройство фильтрующего слоя. Последний состоит из ряда колец, положенных одно на другое, при чем зазоры между кольцами затягиваются пылью. После обработки свежего фильтра в течение некоторого времени пыльным воздухом между кольцами образуются как бы прокладки из пыли. Они то и являются фильтрующим воздухом слоем. Как показал опыт, фильтрующая способность таких аппаратов очень высока. Они задерживают до 90% пыли, находящейся в воздухе. Такой фильтрующий цилиндр помещен, как видно из чертежа,



Фиг. 43. Фильтр фирмы Дельбаг с плоской фильтрующей стенкой.

в камеру, имеющую в плане форму квадрата. Воздух, поступаая предварительно в эту камеру, теряет в ней наиболее грубую и тяжелую пыль. Потом он просасывается через вышеописанный фильтрующий слой и из середины фильтрующего цилиндра прогоняется через добавочный фильтр, откуда поступает либо наружу, либо в циркуляционный поток. В иных случаях стенку, перегородивающую камеру фильтра, делают не цилиндрической, а плоской. Образец этой конструкции показан на фиг. 43. Очень хорошие результаты по обеспыливанию воздуха получены за последнее время фирмой Сименс и Шуккерт на ее электрофильтрах.

Бункера и затворы.

Следующим весьма существенным приспособлением в деле подготовки угольной пыли является аппаратура по хранению пыли и по выпуску пыли в пылевоздушный трубопровод. Промежуточный бункер для хранения угольной пыли является желательной и даже необходимой частью всякой более или менее серьезной пылесожигающей установки. Не только в центральной системе он является необходимым, но устройство его следовало бы рекомендовать и в индивидуальной установке. Такой промежуточный бункер для пыли, с одной стороны, обеспечивает непрерывность работы самой топki, а с другой — создает возможность наиболее экономной работы для угольной мельницы. В первом случае роль бункера сводится к буферу, предохраняющему работу топki от случайных, кратковременных остановок в размол и подаче пыли; во-втором — он дает возможность нагружать мельницу на полную производительность, хотя бы и на более короткий срок, чем работает топка. Мы уже видели выше, как сильно зависит экономичность работы мельницы от степени ее загрузки.

Такой промежуточный бункер для хранения угольной пыли следует обязательно делать круглым, а не квадратным; днище его долж-



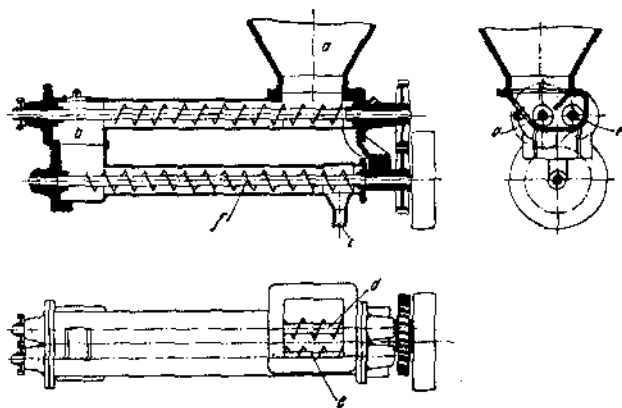
Фиг. 44. Питатель Фуллера.

но иметь возможно больший угол наклона, дабы не происходило прилипание угольной пыли к стенкам. Опыты показали, что несоблюдение этого правила часто влечет за собой ряд неприятных последствий. Слежавшийся слой угольной пыли налипает в углах прямоугольного бункера и образует иногда нечто в роде сводика, под которым находится пустое пространство. С течением времени этот сводик обламывается и вся масса пыли, находящаяся над ним, падает на дно к устью бункера. Если пыль достаточно тонкая (около 10% остатка на сите с 4.900 петель), то она имеет свойства аналогичные свойствам жидкости. Попав к выводящему аппарату, такая пыль, если конструкция последнего не предусматривает соответственных защитных мер, может вытечь целиком из бункера подобно воде. Цилиндрическая конструкция бункера и правильно выбранный угол наклона днища предохраняет от вышеописанных явлений, обеспечивая равномерное ссыпание пыли к выводящему отверстию.

Прибор, служащий для отвода пыли из бункера в проводящие каналы, обычно изготавливается в виде шнека (червяка). Образцом такого прибора служит питатель Фуллера. Конструкция его видна из фиг. 44.

Этот прибор прост и удобен в работе. Его основным недостатком является то, что при вышеупомянутом текучем состоянии пыли он не может ее задерживать. Кроме того, производительность его в значительной мере зависит от степени наполнения бункера. Для устранения обоих дефектов предложена конструкция питательного прибора, изображенная на фиг. 45.

Червяк *d* может подавать пыль к камере *b* с любой производительностью. Червяк *f* подает пыль из камеры *b* к выводному отверстию с производительностью, на которую он установлен, при чем эта производительность, при данной установке числа оборотов, постоянна. Избыток пыли, остающийся в камере *b*, получающийся от разной производительности червяков *d* и *f*, отводится обратно к воронке *a* червяком *e*. Этот прибор отличается, по отзыву Гельбига и Мюнцингера,



a—спускная воронка бункера. *b*—промежуточный корпус. *c*—соедин. с отводящим каналом. *d*—червяк с переменной подачей. *e*—обратный червяк. *f*—червяк с постоянной подачей.

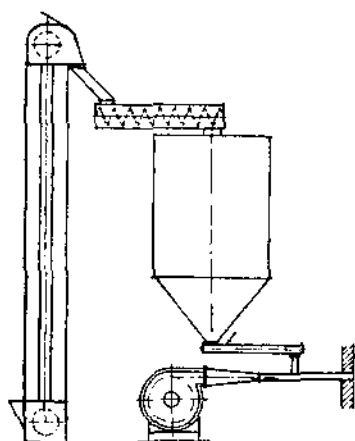
Фиг. 45. Питатель с подачей независимой от степени наполнения бункера.

чрезвычайной надежностью и равномерностью работы и предохраняет установку от возможности сквозного пролета пыли, если она пришла в так. наз. текучее состояние. Приборов, аналогичных изображенным на фиг. 44 и 45, имеется целый ряд, но перечислять их нет надобности, ибо в существенном они похожи на выше описанные. Прибор Квингли, регулирующий подачу не путем регулировки числа оборотов шнека, а при помощи раскрытия створок или щек, благодаря своей относительной сложности, за последнее время находит все меньше применения.

Приспособления для транспортирования пыли.

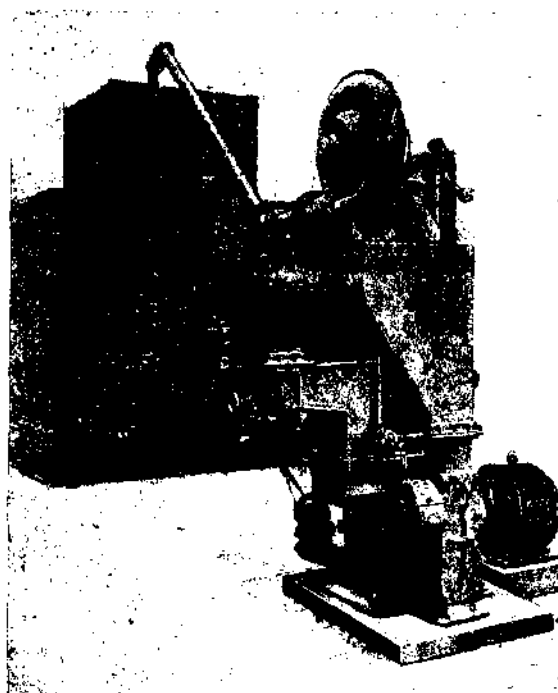
К вспомогательным оборудованьям нужно также отнести устройства для транспортировки пыли. Транспортирующих приспособлений, принципиально отличающихся по основам своих конструкций, имеется четыре.

Первая, и простейшая система, это—червячная подача; на расстояния не превышающие пяти метров и при транспортировке пыли в одной и той же горизонтальной плоскости червячная подача является и достаточно надежной и вполне экономной. Поэтому в пылесожа-тельных установках небольшого масштаба эта система приобрела право гражданства. В некоторых случаях, когда пыль транспортируется не на большие расстояния, но подачу приходится осуще-



Фиг. 46. Комбинированная механическая транспортировка угольной пыли.

ной. Воздушно-угольная смесь, двигаясь по трубам значительной длины с большим числом поворотов, меняет свой состав благодаря



Фиг. 47. Транспортировка угольной пыли при индивидуальной установке.

свлять в нескольких горизонтальных плоскостях на разных уровнях, применяют комбинацию из шнеков и карманных элеваторов. Схема такой установки изображена на фиг. 46.

Вторая конструкция, применяемая большей частью при индивидуальных установках, представляет собою подачу пыли в взвешенном состоянии при помощи струи воздуха. Вентилятор присасывает через сепаратор воздух, последний увлекает угольные пылинки и в взвешенном состоянии гонит их по трубам к месту потребления (к форсунке), или к промежуточному бункеру. Попытка применения этого метода для центральной системы, в виде конструкции Гольбека, является недостаточно удач-

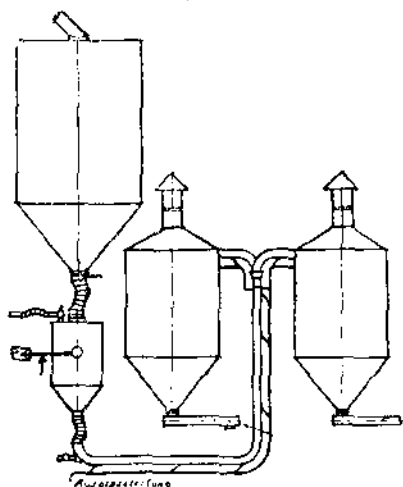
выпадению пыли и не дает возможности получить равномерное распределение угольной пыли между местами потребления. Кроме того, благодаря большому содержанию воздуха в смеси и значительной длине трубопроводов, эта система представляет известную опасность в отношении взрывов. В силу этого система транспортировки в взвешенном состоянии, вполне применимая при индивидуальных пылесосительных установках, для центральных установок рекомендована быть не может. Изображение установки с транспортировкой для индивидуальной точки дано на фиг. 47.

Довольно широкое распространение получила стационарно-нагнет-

тательная система транспортировки пыли. В основном эта конструкция сводится к цилиндрическому приемнику, который периодически наполняется угольной пылью, притекающей самотеком к нему из бункера, и, по наполнении, опорожняется давлением воздуха. Воздух поступает сверху в приемник по трубке, соединяющей его с колоколом сжатого воздуха. Давление в воздушном колоколе обычно держат около 3-х атмосфер. Во время транспортировки оно падает до 0,5 — 2-х атм. Расход воздуха на тонну пыли составляет около 4—5 куб. метров (при атмосферном давлении). Расход энергии на 1 тонну пыли составляет 2,9 лощ. сил. Пыль вытекает из приемника по трубам с диаметром 75 — 100 м/м. Во избежание образования пробок из пыли в коммуникации, проводят параллельно главной трубе добавочную линию диам. $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ дюйма, в которой находится воздух под давлением около 1,5 атм. Эта трубка имеет целый ряд соединений с угольной магистралью, снабженных краниками. В случае образования угольной пробки в магистрали, ее продувают в соответствующем месте путем открытия краника. При помощи такого оборудования подача пыли уже осуществлена на расстояние до 800 мтр. На фигурах 48 и 49 даны два типа такой конструкции. Фигура 48 изображает схему немецкого прибора, а 49 американского «квингли».

На таблице № 5, взятой нами из книги Мюнцингера, приведены главные размеры и веса, транспортирующего устройства системы Квингли.

Самой распространенной системой транспортировки угольной пыли при больших расстояниях (от 500 до 1000 м.) является система пневматической подачи. Существенными элементами ее являются: герметический червяк, делающий от 700 до 800 оборотов в минуту, и сборник сжатого воздуха. Пыль притекает к червяку из

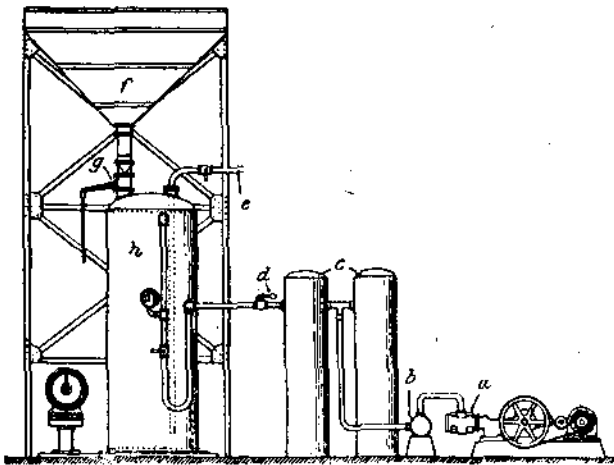


Фиг. 48. Схема немецкой системы стационарно-нагнетательного транспорта.

Таблица № 5.

Часовая произв. в тоннах.	Размер пневмати- ческого цилиндра.		Размеры установки.				Вес уста- новки в килогр.
	Диаметр в м/м	Высота в м/м	Длина в м/м	Высота в м/м	Расстоян. между колодн- ми в м/м	Ширина в м/м	
1	1.065	3.200	3.900	5.720	3.200	1.650	8.700
3	1.520	4.580	5.500	7.800	3.860	1.980	15.000
5	1.830	5.500	6.700	9.450	5.070	2.640	22.000
8	2.380	6.860	7.900	11.600	5.400	3.300	33.000

бункера, и прогоняется им к устью трубы, в которой он вращается. Здесь ее подхватывает струя воздуха, притекающая из сборника высокого давления, и гонит по трубам к месту назначения. Для предотвращения

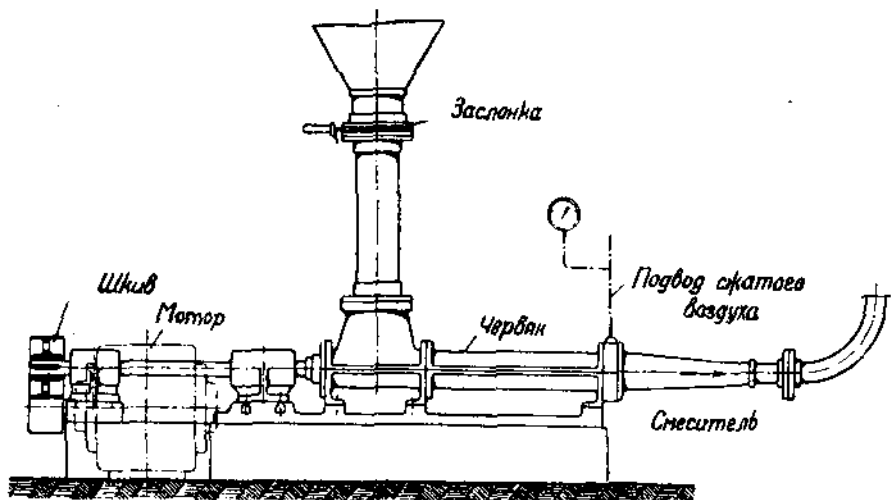


а—компрессор, б—холодильник, в—сборник сжатого воздуха, д—редукционный клапан, е—угольная магистраль, ф—бункера для пыли, г—наполнитель, h—пневматический цилиндр (емкость 5 тонн).

Фиг. 49. Стационарно-нагнетательный транспортер системы „Квингли“.

угольных пробок в магистрали, параллельно последней, прокладывают трубу диам. $\frac{3}{4}$ ", которую в нескольких местах, особенно там, где магистраль имеет изгибы, соединяют с главной трубой, ответвлениями диам. $\frac{1}{8}$ ". Эти ответвления снабжены краниками. В случае образования пробки открывают соответствующий краник и продавливают эту пробку сжатым воз-

духом, находящимся в трехчетвертной трубке. Последняя соединена с сборником сжатого воздуха. Родоначальником этой системы является



Фиг. 50. Насос Фуллер-Кенион.

прибор, изготавливаемый американской фирмой Фуллера. Он называется насосом Фуллер-Кенион. Схема его расположения дана на фиг. 50.

Червяк приводится в действие непосредственно от мотора, находящегося на одном валу с ним; сжатый воздух подается в сборник от воздушного компрессора. Этот тип транспортера изготавливается

в настоящее время целым рядом фирм. В Германии его изготавливает Всеобщ. Комп. Электр., фирма Бамаг и др. Затрата энергии зависит от расстояния, на которое транспортируется пыль. В среднем она составляет около $1\frac{1}{2}$ квт. на тонну транспортируемой пыли.

Как показывают сравнительные данные целого ряда установок, напр., установка Всеобщ. Комп. Электр. в Генигсдорфе, установка на центральной станции Лак-Шор, Клевелендского О-ва Электр. Освещ. и др., обычно затрата энергии на транспортировку пыли составляет 10—20% затраты энергии на размол угля.

За последнее время, благодаря значительному развитию небольших пылесожигательных установок, выявляется большая рентабельность приготовления пыли непосредственно на каменноугольных копях, по сравнению с устройством маленьких углемольных оборудований на месте сжигания. Готовая пыль в этом случае доставляется потребителю по железной дороге в специальных вагонах. Особенно рентабельна эта система при утилизации бурых углей. Ее преимущество состоит в том, что вместо транспортировки угля с содержанием от 30 до 60% влаги перевозится угольная пыль, содержащая всего от 10 до 15% воды. Помимо экономии в транспорте получается также экономия на затратах энергии при сушке и размолу, ибо, как мы видели, чем крупнее мельничные и сушильные агрегаты, тем экономнее их работа. Выгода на транспортировании получается не только от уменьшения влажности перевозимого топлива, но и на уменьшении количества перевозимого угля, ибо то горючее, которое затрачивается на приготовление пыли, расходуется непосредственно на руднике. Эта система имеет значительные перспективы для своего применения в некоторых районах СССР. Она, несомненно, должна будет привиться в Центральном Промышленном районе, поскольку в нем будет акклиматизироваться пылеугольная топка и поскольку основным топливом этого района будут служить подмосковные угли. При значительном применении пылесожигательных топок в районе Донецкого бассейна, поскольку работа будет вестись главным образом на низкосортном топливе — антрацитовом штыбе, дешевых курных углях и т. п., метод централизованных углемольных оборудований на месте добычи и дальнейшая транспортировка пыли по железной дороге имеет несомненно большое будущее. В настоящее время целый ряд германских машиностроительных заводов, как, напр., Линке-Гофман и др., строят вагоны для перевозки угольной пыли. Обычно, эти вагоны имеют конструкцию платформы с поставленной на ней батареей из 3-х вертикальных цилиндрических угольных сборников, каждый емкостью в 10 м.³, или представляют собой горизонтальную угольную цистерну, емкостью в 30 м.³. Такие вагоны вмещают от 15 до 17 тонн угольной пыли. Как наполнение, так и разгрузка этих вагонов, производится пневматическим способом, сходным с ранее описанной системой Квингли. Как показал опыт последних лет, нагрузка, разгрузка и транспортировка пыли по железной дороге не представляет никаких трудностей, требует незначительной затраты энергии на наполнительно-опорожнительные операции и вполне безопасна. Она чрезвычайно сходна с получившей у нас полное право гражданства транспортировкой нефти в цистернах.

РАЗДЕЛ II.

СЖИГАНИЕ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ.

Глава VI.

Процесс горения, горелка и топочная камера.

Процесс горения.

Процесс сжигания угольной пыли значительно отличается от сжигания как твердых, так и газообразных горючих. Отличие сжигания угольной пыли от сжигания кускового угля состоит в том, что пыль горит не в слое, не на решетке, а в струе движущегося воздуха. По внешнему виду угольная пыль сжигается аналогично доменному генераторному или водяному газу. Но эта аналогия только кажущаяся. Химизм горения угольной пыли существенно отличен от химизма горения газа. В то время, как горение газа происходит в одной стадии, угольная пыль горит постепенно в нескольких стадиях. *С точки зрения сущности самого процесса сжигание угольной пыли наиболее близко сжиганию кускового угля.* Подобно тому, как это имеет место при горении кускового угля, угольная пыль первоначально нагревается, при чем происходит возгонка летучих веществ; смесь летучих газов и воздуха воспламеняется; остающиеся коксовые крупинки накаляются до температуры воспламенения и, двигаясь постепенно в струе воздуха, сгорают. Таким образом, процесс получается тот же самый, который имеется и при горении кускового угля на колосниковой решетке, при чем роль слоя играет движущаяся струя воздушно-угольной смеси.

Однако, при всей аналогии этих процессов имеется и значительная разница. В слое уголь горит, будучи омываем притекающим сквозь решетку и слой свежим воздухом. Воспламенение и горение твердой угольной субстанции в слое происходит медленно за счет тепла аккумулялированного слоем. Наоборот угольная пыль горит в потоке газовой смеси, где продукты горения смешаны с воздухом. Нагревание угольных частиц происходит, главным образом, за счет лучеиспускания отражающих поверхностей топочной камеры, а самый процесс воспламенения и горения происходит чрезвычайно быстро и выражается в долях секунды.

Из сказанного следует, что та роль, которую выполняет при сжигании кускового угля горячий слой, осуществляется в пылевидной топке тремя факторами: потоком воздушно-угольной смеси, объемом топочного пространства и лучеиспускающими стенками раскаленной топочной камеры. Операции, из которых складывается сжигание угольной пыли, сводятся к следующему: нужно смешать угольную пыль в определенной пропорции с воздухом; эту смесь нужно подать в топочную камеру; ее здесь нужно нагреть до той температуры, при которой произойдет возгонка и воспламенение летучих веществ; нужно нагреть коксовые частицы до воспламенения, сжечь их, подводя при этом необходимое количество воздуха, и полученные, таким образом, продукты полного сгорания направить к поверхности нагрева. Все эти операции осуществляются определенной аппаратурой. В основном эта аппаратура состоит из горелки и топочной камеры. Первая производит смешение угольной пыли с потребным количеством воздуха и подает полученную смесь в пылесожигательную камеру. Вторая нагревает горючую смесь, осуществляет возгонку летучих, воспламеняет их, сжигает твердую субстанцию угольных пылинок и направляет продукты горения к месту потребления. Для того, чтобы уяснить себе какие требования должны быть предъявлены в отношении как горелки, так и топочной камеры, необходимо знать какие моменты влияют на процесс воспламенения и горения и в каком направлении каждый из этих моментов воздействует на горение. За последние годы разработке этих вопросов посвящен целый ряд работ американских, германских и французских специалистов. Из работ последнего времени следует указать на исследования Одибера, Нуссельта и Шульте. Как показали эти исследования, процесс сжигания угольной пыли зависит от следующих факторов: во-первых — от физических свойств горючего; во-вторых — от величины угольных крупинок; в-третьих — от количества воздуха и способа его подачи к угольным пылинкам; далее — от соотношения скорости воздуха и угольных частиц в струе смеси и, наконец, от температуры, при которой осуществляется процесс горения.

Нуссельтом была сделана попытка дать математическое выражение зависимости между скоростью горения и всеми вышеупомянутыми факторами. Формула, предложенная Нуссельтом, имеет следующий вид:

$$Z_0 = 144 \cdot \frac{\gamma \cdot r_0^2 \cdot L_{\min}}{D_0 \cdot T_m} \cdot F(\kappa)$$

В этом выражении обозначены через:

γ — удельный вес угля в кг./м.³

r_0 — радиус угольной крупинки в м.м.

$L_{\min}$ — теоретический объем воздуха, необходимый для полного сжигания 1 кг. угля в м.³

D_0 — число диффузий в нормальном состоянии газов, т.-е. при 1 атм. и 288° С.

T_m — средняя температура поля горения в ° С.

$F(\kappa)$ — функция избыточного воздуха, отвечающая воздействию α на время горения.

Z_0 — время полного сжигания угольной пылинки в сек.

Эта формула показывает, что скорость сжигания угольной пылинки обратно пропорциональна квадрату линейных размеров ее, сложности ее и количеству воздуха, подаваемого для сжигания и прямо пропорциональна температуре поля горения и скорости обмена газовых частиц в струе смеси.

Опыты Шульте и Одибера не подтвердили полностью количественных соотношений, данных этой формулой, но показали, что основы закономерности намечены ею правильно. Особенно интересны по результативности опыты Одибера, проведенные в лабораторной обстановке и потому давшие возможность исследователю чрезвычайно точно определить влияние каждого из вышеуказанных факторов на процесс горения. Выводы, к которым приходит Одибер*), даны в виде 5 диаграмм (см. фиг. 51—55). На первой из них (фиг. 51) даны изменения температур стенок топочной камеры, изменения содержания CO_2 в горючей смеси, изменения скорости угольных пылинок и, наконец, изменения скорости газового потока. Все эти кривые выражают зависимость вышеупомянутых величин от расстояния вдоль оси цилиндрической камеры горения, концентричной оси горелки, от устья, последней. Вторая и третья диаграммы (фиг. 52 и 53) показывают соотношение между составом угля и величиной угольных пылинок, с одной стороны, и скоростью горения угольной пыли, с другой. Наконец, последние две диаграммы характеризуют влияние способа подвода воздуха на скорость горения пыли. Для испытаний были взяты десять сортов французских углей (см. табл. № 6), которые сжигались как в чистом виде, так и в $\overline{\text{см}}\overline{\text{е}}\overline{\text{с}}\overline{\text{я}}\overline{\text{х}}$.

Таблица № 6.

Сорт и место происхождения.	Бурый уголь Барнак.	Каменный уголь Саарск.	Каменный уголь Бланзи.	Каменный уголь Ферьер.	Каменный уголь Фрелл.	Антрацит Мюр.	Полукок Бубль.	Полукок Саарск.	Полукок Каналаргес.	Газовый кокс.
Условное обозначение.	A	B	C	D	E	F	J	K	L	
Влажность в %.	15,0	2,37	2,6	2,5	1,5	4,87	1,1	1,5	7,40	1,0
Зола » »	9,8	28,12	13,4	14,1	15,7	16,22	12,5	9,3	48,60	8,85
Летучие вещества в %	42,65	29,19	32,4	22,1	19,5	6,5	11,0	24,3	20,65	2,55
Твердая субстанция в %.	32,55	40,34	51,6	61,3	63,3	72,41	75,4	64,9	23,35	87,6

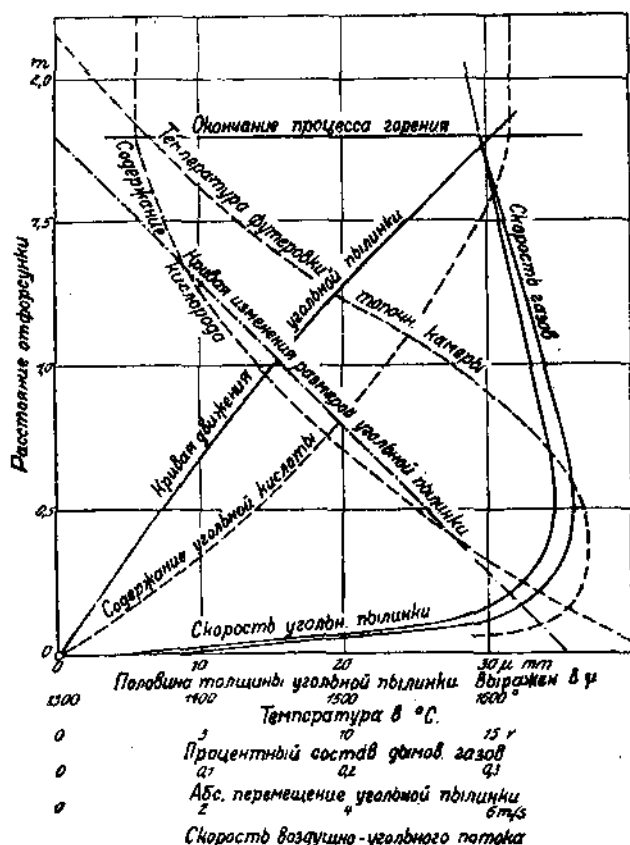
Помимо этих основных сортов, перечисленных в табл. № 6, испытание производилось и на смешанных сортах. Для удобства мы их обозначим следующими литерами:

М — смесь из 30% сорта Е и 70% кокса, с общим содержанием летучих 9%.
 Н — смесь из 40% сорта Е и 60% кокса, с общим содержанием летучих 11%.
 О — смесь из 40% сорта Е и 60% антрацита, с общим содержанием летуч. 13,9%.
 О — смесь из 50% сорта Е и 50% антрацита, с общим содержанием летуч. 15,9%.

*) Audibert. — «Etude experimentale de la combustion du carbon pulvérisé», Revue de L'Industrie Minérale 1924, p. 1.

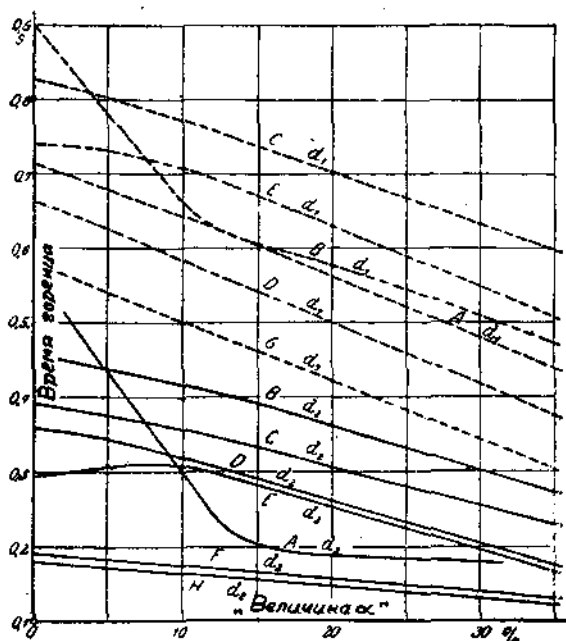
Вышеуказанные сорта углей были перемолоты в пыль двойного рода: с частицами диам. $d_1 = 175 \mu$ и с частицами диам. $d_2 = 65 \mu$.

Как видно из диаграммы на фиг. 51, содержание CO_2 в продуктах горения возрастает от устья горелки до расстояния 1,6 мет. Начиная от этого места содержание углекислоты в продуктах горения остается неизменным. Точно также неизменным остается, начиная от этой точки, и содержание кислорода в продуктах горения.

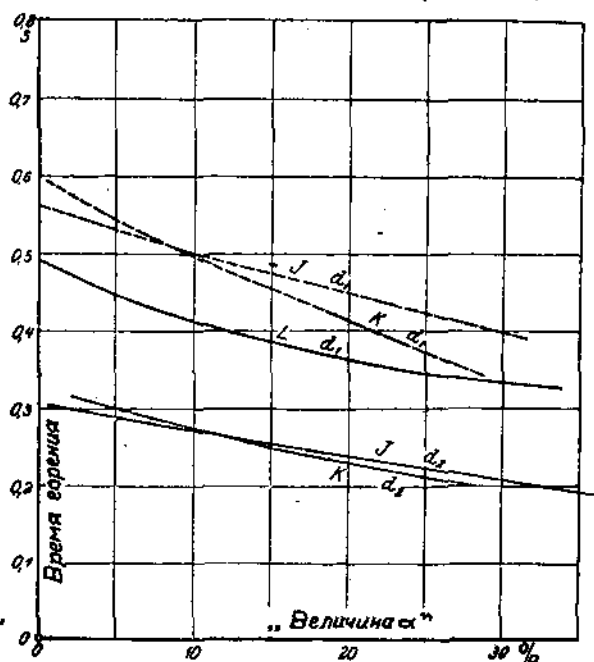


Фиг. 51. Диаграмма изменений: температур, содержания CO_2 , скоростей угольных пылинок и газового потока в зависимости от расстояния от устья горелки,

Из этого можно заключить, что процесс горения заканчивается полностью на расстоянии 1,6 метра от устья горелки. По характеру кривых скорости угольных крупинки и скорости газового потока в топочной камере следует заключить, что максимума эти обе величины достигают на расстоянии 0,4 мет. от устья горелки, при чем скорость угольных частиц равнялась 0,35 мет./сек., а скорость газового потока в топочной камере — 6 мет./сек. Температура стенок топочной камеры достигает максимума на расстоянии 0,3 мет. от устья горелки при величине 1670°C и в дальнейшем понижается, при чем на расстоянии 1,6 мет. от сопла горелки, т.е. в том месте, где горение закончено, она равняется 1360°C .



Фиг. 52. Скорость полного сгорания различных сортов угля в зависимости от изменения величины α и размера угольных пылинок $d_1=175 \mu$, $d_2=65 \mu$.



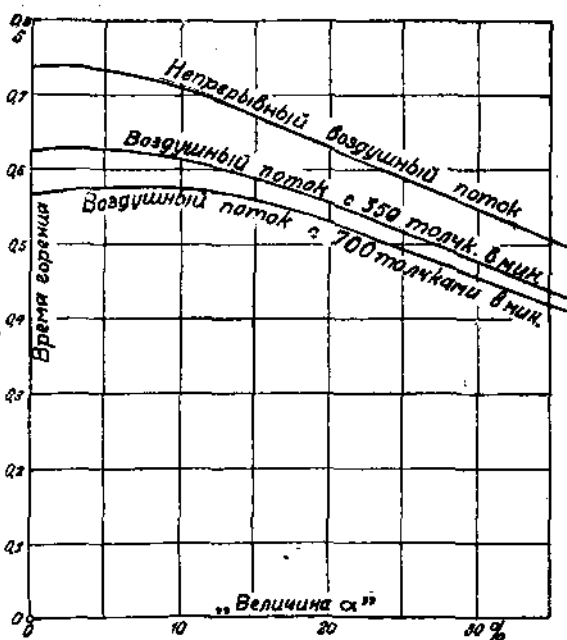
Фиг. 53. Скорость полного сгорания различных сортов полукокса в зависимости от изменения величины α и размера угольных пылинок $d_1=175 \mu$, $d_2=65 \mu$.

Из диаграмм на фиг. 52 и 53 видно, что скорость сгорания более крупного помола ($d_1 = 175 \mu$) значительно меньшая, чем для помола более тонкого ($d_2 = 65 \mu$). Так, напр., сорт угля С, при величине $\alpha = 10\%$, для размола d_1 имеет скорость сгорания 0,77 сек., а для размола d_2 0,36 сек. Из этих диаграмм видно, что выведенная Нуссельтом обратная пропорциональность между скоростью горения и квадратом линейных размеров угольной частицы, данными Одибера количественно не подтверждается. Далее, обе диаграммы свидетельствуют о том, что различие в содержании летучих веществ оказывает значительное влияние на скорость горения. Однако, какой-либо пропорциональности между содержанием летучих и скоростью горения кривые не дают. Это вполне понятно, ибо на скорость горения оказывает влияние не только содержание летучих, но и структура частицы и характер поверхности ее и форма частицы.

Из диаграммы 52 и 53 совершенно отчетливо явствует, что увеличение α повышает скорость горения.

Из диаграмм на фиг. 54 и 55 можно заключить, что скорость горения угольной пыли зависит от способа подачи воздуха.

Непрерывная струя подаваемого воздуха вызывает большую затрату времени на про-

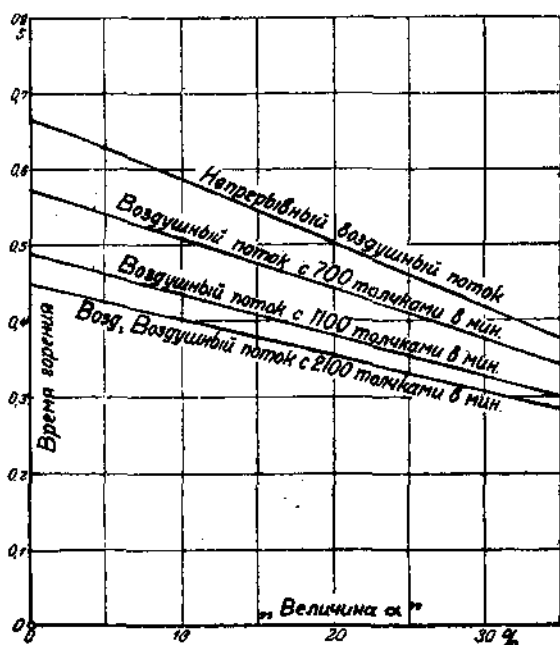


Фиг. 54. Скорость горения угольной пыли в зависимости от способа подачи воздуха.

цесс полного сжигания, чем прерывистая подача. Чем больше колебаний происходит в струе воздуха, поступающей в камеру горения, тем быстрее происходит процесс горения. Одибером были сделаны также специальные опыты для выяснения зависимости между величиной α , содержанием летучих веществ в горючем и величиной угольных частиц. Опыты эти дали следующие результаты: при величине частиц $d_2 = 65 \mu$ и при величине α от 0 до 20%, пыль, введенная в раскаленную камеру, постепенно гасла, если она была изготовлена из следующих сортов горючего: кокса (2,8% летуч.), антрацита (8,2% летуч.), смеси М (9% летуч.) и смеси N (13,9% летуч.). То же самое явление наблюдалось для смеси Н (11% летуч.) и смеси F (15,9% летуч.), при тонине размола $d_1 = 175 \mu$. Однако, при вдувании пыли сортов Н и F с тониной помола в 65μ и сортов J и G (содержанием летучих 12,5% и 13,1%), при тонине помола 175μ , такого потухания не наблюдалось. Из этого следует, что содержание летучих и тонина

помола не исчерпывают еще всех тех моментов, какие влияют на процесс горения. Чрезвычайно показателен также опыт Одибера в отношении значения, которое имеет вторичный воздух для процесса горения. Кокс, антрацит и все вышеперечисленные смеси, которые потухали тогда, когда весь воздух поступал вместе с пылью через горелку, при впуске части воздуха в виде добавочного, на расстоянии 10 см. от сопла горелки, горели не только тогда, когда частицы имели размер 65μ , но и тогда, когда угольные пылинки имели $d_1 = 175 \mu$. Исключение составлял только антрацит, пыль которого горела только при тонине помола в 65μ , но затухала при тонине помола в 175μ .

Если свести все данные опытов Одибера к основным положениям, то мы придем к следующим выводам:



Фиг. 55. Скорость горения угольной пыли в зависимости от способа подачи воздуха.

1. Скорость горения угольной пыли в чрезвычайно сильной степени зависит от состава топлива. Установить точную зависимость между скоростью горения и содержанием летучих веществ — водорода и кислорода в топливе, невозможно. Можно только констатировать, что тощие угли горят быстрее длиннопламенных, при чем наибольшей скоростью горения обладает полукоксы, получаемый как остаток при коксовании углей при низкой температуре.

2. Величина угольных крупинок довольно значительно влияет на скорость горения, и чем эти крупинки

больше, тем медленнее протекает процесс горения.

3. Величина α оказывает на скорость горения довольно большое влияние, при чем по мере увеличения α увеличивается и скорость горения.

4. Содержание золы и шлаков в горючем, если оно не превышает 50%, не оказывает на скорость горения никакого влияния.

5. Вибрация угольных частиц в потоке воздушно-угольной смеси ускоряет процесс горения.

6. Способ подачи воздуха оказывает большое влияние на процесс горения.

Относительно зоны горения Одибер пришел к следующим выводам: в топочной камере имеется всегда 3 зоны: первая представляет собою мертвое пространство, в котором отсутствуют какие-либо

токи топочных газов; вторая представляет собою ту область, где воздушно-угольная смесь нагревается до температуры вспышки и воспламеняется, и, наконец, третья — где протекает самый процесс горения.

Как мы видели выше, угольная частица сгорает в течение нескольких долей секунды и поэтому объем топочной камеры, необходимый для полного сжигания угольной пыли, колеблется в пределах 12 — 15 м³ на 1 тонну пыли в 1 час. Для 7 000-калорийного топлива это означало бы такой удельный объем топочного пространства, которому отвечала бы плотность горения 500 000 кал. на 1 м³. Эти величины значительно отличаются от тех практических объемов и той плотности горения, которые применяются в современных установках.

Исследования Одибера показали, что период воспламенения составляет только $\frac{1}{10}$ полного времени горения угольной пылинки. Та закономерность, которую Одибер установил для полной скорости горения, вполне применима и в отношении воспламенения угольной пыли.

Данные Шульте показали, что температура воспламенения угольной пыли находится в прямой зависимости от температуры вспышки того кускового угля, перемолом которого образована данная пыль. Поэтому уголь с большим содержанием летучих веществ вспыхивает легче, чем антрацит, кокс и т. п. На скорость вспышки значительное влияние имеет отношение между поверхностью угольной пылинки и ее объемом. Воспламенение угольных крупинок осуществляется теплоотдачей горящего факела и лучеиспусканием нагретых стенок топочной камеры. Чем шире факел и чем медленнее движутся частицы угольного потока, тем быстрее воспламеняется угольная пыль. На скорость воспламенения сильно влияет степень перемешивания воздушно-угольной смеси. Чем больше относительное перемещение угольных частиц в потоке воздушно-угольной смеси, тем легче протекает воспламенение.

Все эти выводы дают возможность установить те основные требования, которые должны быть предъявлены в отношении качества угольной пыли, в отношении конструкции форсунки, в отношении конструкции, размеров и формы пылесожигательной камеры и, наконец, в отношении способа подачи угольной пыли и воздуха в топочное пространство.

Сжигание угольной пыли должно в конечном итоге удовлетворять двум основным требованиям. Оно должно быть экономным и протекать возможно быстрее. Для этого угольная пыль должна быть достаточно тонкой, возможно сухой и воздушно-угольная смесь должна содержать количество воздуха возможно более близкое к теоретически необходимому. Тонина помола отнюдь не должна быть одинаковой для всех сортов угля. Для трудно воспламеняющихся углей, как антрацит, кокс и т. п., требуется большая тонина помола, приблизительно до 10% остатка на сите с 4 900 петель на 1 см.². Угли длиннопламенные с содержанием летучих 20 — 30% допускают более грубый помол до 15% остатка на сите с 4 900 петель и, наконец, угли бурые дадут вполне хорошее горение еще при более грубом размоле. Границы тонины помола даются нами, конечно, с приближением. В каждом отдельном случае в отношении нового сорта топлива, применяемого для сжигания

в пылеобразном состоянии, необходимо наивыгоднейшую тонину помола установить из опыта. Содержание влажности в угольной пыли должно быть минимальным. Мы уже довольно подробно рассмотрели этот вопрос в главе о сушилах и затронули его в главе о мельницах. С точки зрения процесса горения, влажность топлива вредна вдвойне. Во-первых, она понижает коэффициент полезного действия и, во-вторых, она замедляет процесс горения. Поэтому для антрацитов, каменных углей и кокса нужно стремиться к тому, чтобы влажность не превышала 1%. Для бурых углей, благодаря их специфическим особенностям, о которых мы говорили ранее, степень влажности пыли приходится допускать 5 — 10% и даже до 15%.

Количество избыточного воздуха в воздушно-угольной смеси, т.е. величину α , необходимо, конечно, держать возможно ниже. В этом основное преимущество и основная выгода пылесжигательного метода. Самые условия горения угля в виде пыли вполне делают возможным доведение α до 1. Основным препятствием для сжигания угольной пыли с теоретически необходимым количеством воздуха является до настоящего времени температура горения около 2 000°, которую не в состоянии выдержать обычно применяемые огнеупорные материалы. Поэтому вопрос об осуществлении этого условия приходится рассматривать в связи с вопросом о конструкции топочной камеры.

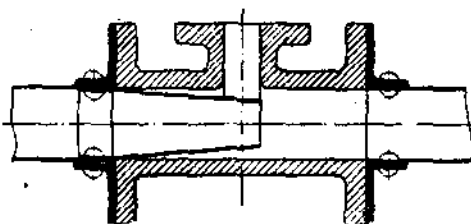
Форсунка.

Для введения воздушно-угольной горючей смеси в топку служит форсунка или иначе горелка. Каким условиям должна удовлетворять форсунка для достижения наилучшего результата работы. Как всякий прибор она должна в первую очередь быть по возможности *простым аппаратом*, легко ремонтируемым, не подвергающимся быстрой порче и износу. Далее, пылеугольная форсунка должна давать *возможно лучшее перемешивание* угольной пыли с воздухом при *наименьшей затрате энергии и воздуха* на эту операцию, и, наконец, она должна давать *возможно меньшую начальную скорость* горючей смеси при ее поступлении в топочную камеру.

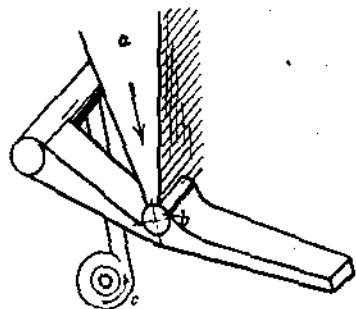
Первоначально конструктора обращали самое большое внимание на достижение наилучшего перемешивания пыли с воздухом, создавая возможно более сложные конструкции форсунок. Однако, опыт последних лет доказал, что чем сложнее форсунка, чем больше в ней всяких регулирующих органов и чем больше поворотов делает угольная пыль или воздух, тем хуже выполняет форсунка свое основное задание. Перемешивание пыли с воздухом получается недостаточное, работа форсунок ненадежная, износ частей чрезвычайно быстрый, а затрата энергии очень большая. В настоящее время все авторитеты сходятся на том, что форсунка должна быть возможно более простой конструкции, и практика последнего времени выработала 2 основных типа пылеугольных форсунок: один с круглым соплом, работающий по схеме фиг. 56, и второй с плоским соплом по схеме фиг. 57.

Форсунка с круглым соплом в простейшей своей форме представляет собой коническую трубу, входящую в цилиндрическую. Внешняя цилиндрическая труба снабжена боковым штуцером для подвода

угольной пыли. Воздух, притекающий по внутреннему коническому соплу, создает разреженное пространство, куда устремляется, притекающая по боковому штуцеру, угольная пыль. Здесь она перемешивается с воздухом и в виде смеси поступает в топку. Преимущество этой форсунки состоит в том, что движение пылеугольной смеси в ней — прямолинейное. Благодаря этому, в ней отсутствует выпадение угольных крупинок, которое неизбежно при всякого рода поворотах и изгибах. Так как при такой конструкции воздушная струя протекает в центре, а пылинки угля образуют как бы кольцо, охватывающее этот воздушный стержень, то при поступлении потока воздушно-угольной смеси в раскаленную камеру, воздух, нагреваясь, расширяется и пронизывает чрезвычайно интенсивно угольный слой. Кроме того, так как угольные пылинки находятся, главным образом, на периферии струи, то при поступлении в раскаленную камеру они подвергаются действию лучистой теплоты топочного пространства и быстро доводятся до температуры вспышки. В плоской форсунке простейшего типа, сходной по своей конструкции с разбрызгивателем водяной струи, применяемым для целей поливки,



Фиг. 56. Форсунка с круглым соплом.



а — вспуск угольной пыли, б — шпатель, валик, с — вентилятор.

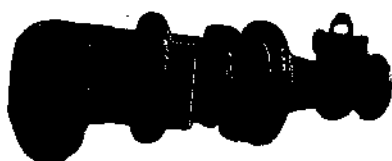
Фиг. 57. Плоская форсунка.

получается также довольно хорошее перемешивание, так как плоская струя воздуха подхватывает угольную пыль и подает ее в виде веера в топочную камеру. При этом получается тонкая струя воздушно-угольной смеси с большой поверхностью, воспринимающей лучистую теплоту топочного пространства. В Америке применяют еще по некоторой инерции форсунки с большим давлением воздуха и большой начальной скоростью пылеугольной смеси. После опытов Одибера и Шульте не подлежит никакому сомнению, что для котельных топок это ничего кроме вреда принести не может. Чем больше начальная скорость воздушно-угольной струи, тем больше мертвое пространство, тем длиннее факел и тем большим должен быть объем топочной камеры. Большая начальная скорость воздушно-угольного потока обуславливает увеличение затраты энергии и увеличивает долю воздуха, поступающего через форсунку вместе с пылью. Поэтому в современных установках следует стремиться к работе с форсунками, требующими минимального давления воздуха в пределах от 5 до 6 м/м водяного столба и дающих начальную скорость воздушно-угольной смеси от 4,5 до 10 м. в сек. От работы со скоростями поступления воздушно-угольной смеси в 30 — 40 мет. в сек. нужно отказаться. Этот

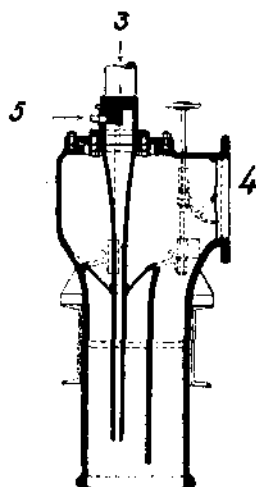
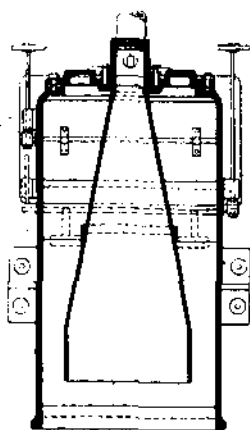
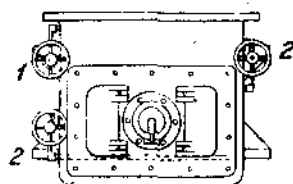
способ работы и дорог и ухудшает условия воспламенения и горения. Наиболее экономно горит угольная пыль в том случае, когда свежий кислород (воздух) притекает к угольным пылинкам в меру

действительной потребности химизма горения. Поэтому, как свидетельствуют и опыты Шульца, и опыты Одибера, форсунка должна подавать вместе с пылью возможно меньшее количество воздуха. Главная часть его должна поступать в виде вторичного воздуха постепенно, отдельными порциями вдоль всего факела так, чтобы крупинка угольной пыли каждый раз получала новую, необходимую ей порцию кислорода. Гельбиг рекомендует не допускать порцию первичного

воздуха, проходящего через форсунку, выше 10—25% всего необходимого количества. Остальные 75—90% он рекомендует подавать в виде вторичного воздуха в топочной камере.



Фиг. 58. Форсунка Фуллера.



1. Главный ventиль.
2. Вспомогательные ventильки.
3. Подвод пыли.
4. Впуск первичного воздуха.
5. Паровая форсунка.

Фиг. 59. Плоская форсунка Лопульки.

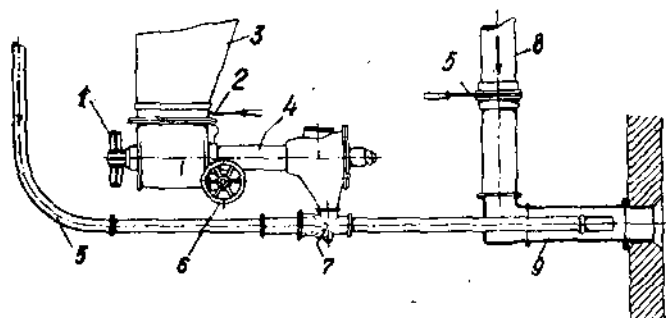
Практика выработала максимальную предельную величину форсунки. Ее производительность не должна превышать 0,5 тонны угольной пыли в час. В противном случае получается плохое перемешивание пыли с воздухом и увеличивается мертвое пространство в топочной камере.

Из существующих типов форсунок мы считаем необходимым привести те конструкции, которые получили наиболее широкое распространение в существующих установках. К ним принадлежат: форсунка Фуллера, Лопульки и Квингли, изображенные на фиг. 58, 59 и 60.

Во всех трех конструкциях предусмотрена подача добавочного воздуха. С нашей точки зрения гораздо полезнее увеличить порцию вторичного воздуха, подаваемого непосредственно через отверстия в футеровке топочной камеры, чем усложнять форсунку приспособлением для выпуска добавочного воздуха. Подвод воздуха на периферии угольной струи также вряд ли можно считать полезным. Мы полагаем, что тип конструкции, показанной на фиг. 56, является и простейшим, и более совершенным, и более дешевым.

Траектория факела.

Направление, которое следует давать факелу, должно быть таково, чтобы оно обеспечивало максимальное относительное перемещение угольных частиц в струе смеси, максимальное восприятие лучистого

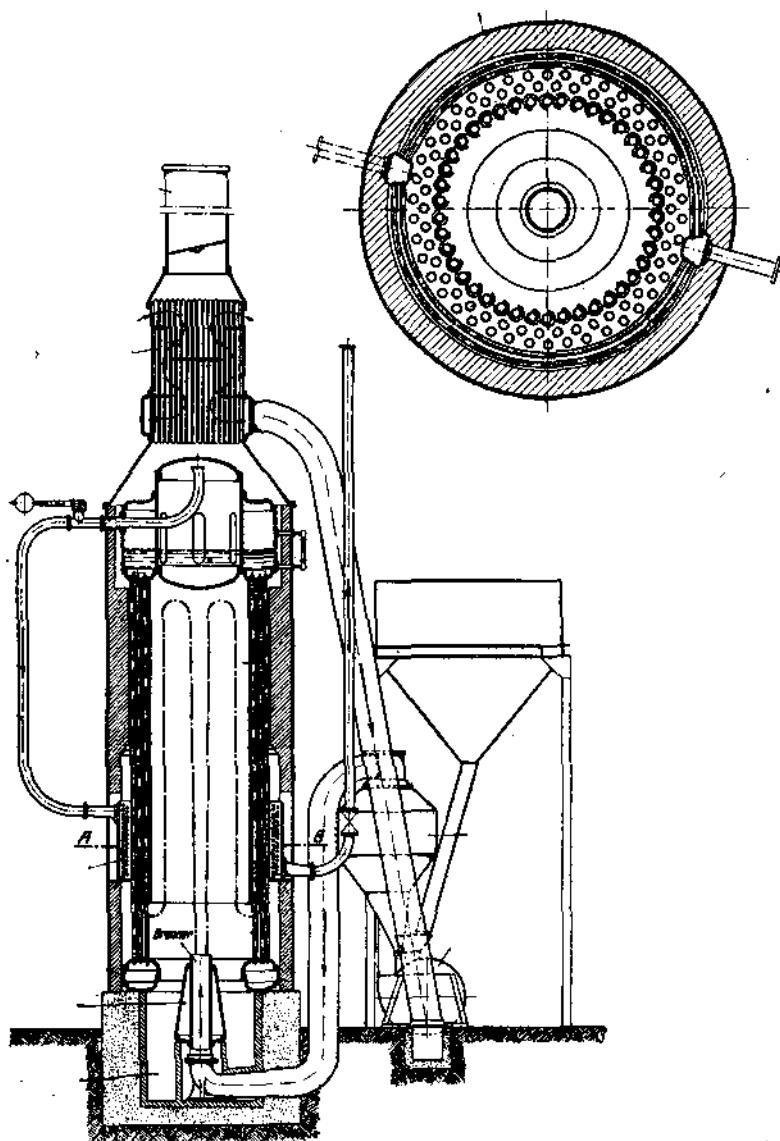


1—приводный шкив питательного червяка; 2—заслонка; 3—воронка угольного бункера; 4—питатель; 5—подвод сжатого воздуха; 6—маховичек регулятора; 7—смеситель; 8—подвод вторичного воздуха; 9—сопло-горелка.

Фиг. 60. Форсунка Квингли.

тепла холодной частью факела от его горячей части и наилучшее отделение частиц шлака и золы при минимальном выпадении угольных крупинок. Первоначально факелу давали горизонтальное направление. Этот способ ведения сжигания имеет целый ряд недостатков. Во-первых, струе горючего приходится давать значительную начальную скорость, ибо иначе выпадение угольных частиц из факела получается очень большим и вызывает большие потери в топке. Увеличение скорости воздушно-угольной струи вызывает как линейное, так и объемное увеличение камеры. Пламя, ударяя в противоположную стенку камеры, быстро ее раз'едает. В силу этого, камеру приходится искусственно удлинять. Подвод вторичного воздуха при горизонтальном направлении факела труднее осуществить рациональным образом. Наконец, добиться хорошего относительного перемещения угольных пылинок при горизонтальном направлении факела невозможно. Мертвые пространства при этом способе ведения топки полу-

чаются значительно большими, чем при вертикальном направлении. Попытка парализовать вредные явления, имеющие место при горизонтальном факеле, при помощи диаметрального расположения двух



(Пунктиром изображен путь пламени).

Фиг. 61. Котел Беттингтона.

форсунок, не дали положительных результатов. При встрече двух факелов получалось сильное торможение горящих струй, которое вызывало значительное выпадение угольных крупинок и понижало

экономичность топки. Попытка добиться лучших результатов путем винтообразного движения факела также до сих пор себя не оправдала. Кроме увеличения потерь от механической неполноты сгорания и ухудшения коэффициента полезного действия ничего положительного не получалось.

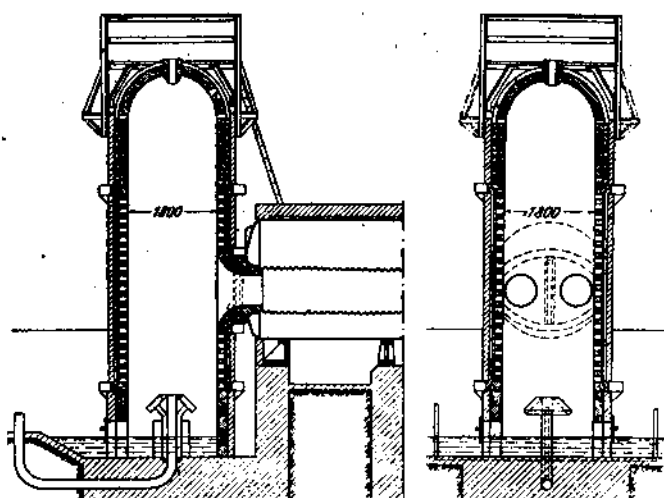
Наилучший эффект горения, который удалось практически до сего времени получить, осуществляется при вертикальном направлении факела. В котле Беттингтона (см. фиг. 61) факелу дается вертикальное направление с движением горючей струи снизу вверх, при чем второй изгиб струи, представляющий по отношению к первому как бы зонтик, дает чрезвычайно выгодные условия для отдачи лучистой теплоты. Наружная поверхность зонтика излучает тепло на поверхность нагрева котла, а внутренняя на струю воздушно-угольной смеси, вступающую в топочное пространство. При этом условия воспламенения и горения угольной пыли получаются чрезвычайно выгодными. Относительное перемещение угольных пылинок в факеле, благодаря действию силы тяжести, получается очень сильное. Лучистая теплота воспринимается воздушно-угольной смесью в максимальной степени. Выделение шлаков происходит очень хорошее и сгорание угольных крупинок полное.

К сожалению, осуществить такую форму факела в обычной конструкции котла почти невозможно. Инженер Райзер спроектировал, на основании опыта пылесожигательной установки на копи «Консолидация» (недалеко от Гельзенкирхена в Германии), конструкцию пылесожигательной камеры с зонтичнообразным факелом, по типу Беттингтона, и с водяным охлаждением стенок камеры (см. фиг. 62). К сожалению, точно такой камеры в работе еще нет. Она имеется пока только в проекте. Сходная с ней конструкция на каменноугольной копи «Консолидация» дает пока коэффициент полезного действия 78%, при содержании углекислоты в борове 13,3% и температуре в самой горячей точке топки 1490°. Хотя эти данные и не являются из ряда вон выходящими, тем не менее для ланкаширского парового котла, при котором осуществлена эта установка, их нужно считать вполне удовлетворительными. Идею инж. Райзера мы, во всяком случае, считали бы необходимым отметить. Мы еще вернемся к его конструкции в дальнейшем изложении.

В большинстве новейших пылесожигательных установок применяется вертикальное или очень слабо наклонное (10° относительно вертикали) направление факела, с движением потока сверху вниз. При таком направлении горящего потока можно применять минимальную скорость воздушно-угольной струи, ибо, благодаря действию силы тяжести, относительное перемещение угольных частиц в факеле получается довольно большое, а выпадение несгоревших угольных крупинок при достаточной длине факела отсутствует. Шлаковые и зольные частицы чрезвычайно интенсивно выпадают в том месте, где факел делает поворот кверху, благодаря чему занос поверхности нагрева понижается до минимальной величины. Так как вдувание смеси можно вести при небольших скоростях, в пределах от 4,5 до 10 мет. в 1 сек., то объем мертвого пространства и длина самого факела значительно уменьшаются. Подвод вторичного воздуха при таком направлении факела можно осуществить наиболее рационально и в конструктивном отно-

шении очень легко. При правильном комбинировании начальной скорости пылеугольной смеси, тяги в котле и высоте топочной камеры совершенно устраняется опасность удара факела о футеровку топочной камеры. Этот момент нужно особенно подчеркнуть. При ведении процесса в пылесожигательной топке нельзя ни в коем случае допускать, чтобы пламя факела касалось футеровки топки, ибо тогда неизбежен очень быстрый прогар ее.

Касаясь в предыдущем изложении вопроса о длине пламени, начальной скорости потока воздушно-угольной смеси, давлении в форсунке и об объеме топочного пространства, мы имели в виду топку парового котла. Для промышленных печей все высказанные нами положения сильно меняются в зависимости от специфических производственных условий. Здесь часто приходится жертвовать соображениями экономии в пользу чисто производственных моментов. Так,



Фиг. 62. Проект пылесожигательной камеры инж. Райзера с зонтичнообразным факелом и водяным охлаждением камеры.

напр., некоторые металлургические печи, в которых пламя факела выполняет определенную химическую задачу, требуют длинного и концентрированного факела. В таких случаях рационально давать большую начальную скорость струе горючего в пределах от 30 до 40 метр. в 1 сек., при давлении в форсунке от 200 до 250 м/м. водян. столба. Такая скорость потока вполне соответствует и объему топочного пространства, ибо величина последнего часто определяется не моментом горения топлива, а условиями производственного характера. Индустриальные печи часто имеют горизонтальную конструкцию большой длины и поэтому как длина факела, так и скорость потока не имеют тех вредных последствий, какие могли бы сказаться в котельной топке. Вообще нужно сказать, что пылевидное топливо получило свое применение в промышленных печах раньше, чем в котельных установках, и многие промышленные печи гораздо легче сопрягаются с пылесожижением, чем топка парового котла. Так как пылеугольная топка в паровом котле представляет наибольшие трудности, то, рассматривая

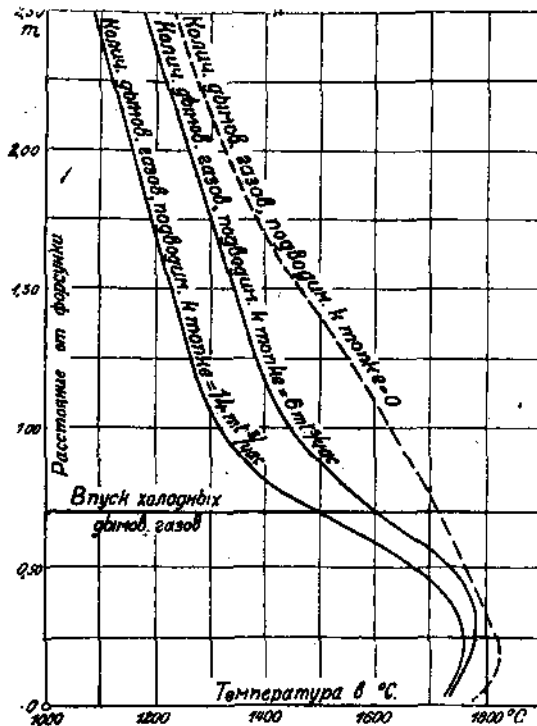
процесс сжигания твердого горючего в пылевидном состоянии, мы, главным образом, имеем в виду котельную топку. Поскольку теория и практика разрешат технически правильно проблему пылесожижения в топке парового котла, постольку можно будет считать, что задача пылевидного топлива решена для всех областей его применения. Под этим углом зрения нам приходится в дальнейшем рассматривать вопрос о размерах и конструкции пылесожигательной камеры.

Топочная камера.

Основное требование, предъявляемое к топочной камере для пылевидного топлива, состоит в следующем: 1) она должна экономно сжечь горючее, 2) горючее должно сгорать в суспендированном состоянии, 3) при этом камера должна обладать возможно меньшим объемом, 4) она должна давать минимум тепловых потерь в окружающую среду и 5) она должна быть не менее прочной и надежной, чем всякая другая топка. Сочетание этих условий заключает в себе до известной степени труднопреодолимые противоречия, с которыми теплотехнике до сего времени мало приходилось иметь дело. Быстрое, полное и экономное сжигание пыли обозначает осуществление процесса горения с теоретически необходимым количеством воздуха, при максимальном содержании углекислоты в продуктах горения и при наивысшей температуре горения. Эта температура колеблется в зависимости от сорта топлива в пределах 1900° — 2200° ; но такой температуры применявшиеся доныне огнеупорные материалы не могут выдержать. Кроме того, такая температура топочного пространства обуславливает значительные потери от излучения в окружающую среду. Это основное противоречие в требованиях, предъявляемых к пылесожигательной камере, стремятся разрешить трояким способом: во-первых, — приносилась в жертву экономическая сторона, — температуру в топочном пространстве пытались всякими искусственными мерами понизить; во-вторых, — усиленные поиски были направлены на получение огнеупорных материалов, выдерживающих столь высокие температуры и, в-третьих, — стремились создать возможно большую разность между температурой топочного пространства и стенками топочной камеры.

Первое решение вопроса, конечно, является наиболее легким, и поэтому оно получило до настоящего времени и наибольшее развитие. За счет экономичности сжигания можно увеличить количество воздуха, т.е. величину α , и таким образом понизить температуру горения. Можно также, уменьшив толщину помола, удлинить факел, соответственно уменьшив скорость горения, что также понижает температуру его. Такое решение вопроса, разрешая техническую осуществимость пылесожижения, понижает в значительной степени его ценность. Благодаря этому, пылевидная топка из величайшего достижения в области топливного дела сводится на степень одной из разновидностей механических топок с сравнительно небольшими преимуществами, но и значительными дефектами. Ибо нужно признать, что самый процесс приготовления угольной пыли, как мы видели выше, требует добавочных и капитальных, и эксплуатационных затрат. Правда, в поисках разрешения проблемы в этом направлении было сделано одно чрезвычайно интересное предложение профес. Мюнцингера. Оно

сводилось к возврату части дымовых газов в топочную камеру. При этом температура топочного пространства, по данным Мюнцингера, понижалась на 100° . Вместо 1451°C получалась температура в 1359°C . На приведенной ниже диаграмме фиг. 63 даны результаты, полученные Одибером, при постановке опытов с возвратом в топку дымовых газов. Эта диаграмма свидетельствует о том, что известный эффект несомненно получается. Так, напр., на расстоянии одного метра от сопла форсунки вместо 1640°C удавалось получить 1320°C . Нужно, однако, признать, что этот способ представляет собою некоторое осложнение в конструкции топки. Во всяком случае полного решения вопроса этот способ еще не представляет.



Фиг. 63. Влияние подвода в топочное пространство охлажденных дымовых газов на температуру топочной камеры.

Второе решение вопроса путем отыскания стойких, огнеупорных материалов, выдерживающих практически температуру в 1900° — 2200° , до настоящего времени серьезных практических результатов не дало, да и вряд ли может дать. Нужно помнить, что огнеупорный материал, из которого изготавливается футеровка пылесожигательной камеры, должен удовлетворять следующим четырем условиям:

1. Он должен выдерживать высокие температуры не только не плавясь, но и не размягчаясь.

2. Он должен обладать достаточной сопротивляемостью химическому воздействию шлаков.

3. Он должен быть достаточно прочен, так чтобы выдерживать давление стенки футеровки.

4. При колебании температуры в топке он не должен лопаться, объем его должен быть постоянным, и при повторных нагревах и охлаждениях остаточное изменение его формы должно быть ничтожно. При всем этом огнеупорный материал должен быть *дешев*.

В настоящее время огнеупорные материалы применяются трех родов:

1) кварциты, 2) глинозем, 3) комбинация из кварцитов и глины.

Первая группа огнеупорных материалов содержит в качестве главной составной массы окись силиция. Вяжущим веществом является

либо известь, либо глина. Кирпичи, имеющие такой состав, известны под весьма распространенным названием — динасовых кирпичей. По существу динасовым кирпичом называется кирпич, изготовляемый из динасовой породы, месторождение которой находится в Англии. В виду очень высоких огнеупорных качеств этих кирпичей их начали готовить с давних времен и в других странах, путем приготовления искусственных смесей, которые по своему химическому составу подходят к английскому динасу. Приблизительный состав динасового кирпича имеет следующий вид:

SiO_2 — 95—96%	CaO — 1,5—2,0%
Al_2O_3 — 2—3%	Fe_2O_3 — 2—3%,
MgO — 0,2—0,5%	и около 1% щелочей.

Кварциты, в которых вяжущим веществом вместо извести является глина, известны под названием немецкого динаса. Последние отличаются от высокосортного динаса большим содержанием Al_2O_3 и соответственно меньшим количеством SiO_2 . Высокосортные кварциты или динасовые кирпичи имеют температуру плавления около 1770° , что соответствует 35 № конусов Зегера.

Шамотные или щелочные огнеупорные кирпичи несравненно беднее содержанием окислов силиция и гораздо богаче содержанием глинозема. Шамот является обожженной глиной, которая при обжиге теряет свою пластичность и свойство сжиматься под влиянием высоких температур. Первичным веществом всяких глин является каолин, который имеет химическую формулу: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Самые лучшие сорта глины содержат до 99,5% этого вещества с некоторыми примесями. Те глины, из которых изготовляются щелочные, шамотные кирпичи, имеют, обычно, следующий химический состав: Al_2O_3 — 36—42%, CaO — 2—3% (одновременно с CaO находится обычно MgO и K_2O), Fe_2O_3 — 1,6—2,5% и SiO_2 — 52—60%. Точка плавления шамота лежит между 1830° — 1850°C , что соответствует 37,38 № конусов Зегера.

Между этими двумя полярными, по своему составу, сортами огнеупорных кирпичей, среднее положение занимает смешанный тип огнеупорных материалов, содержащих от 65 до 80% кремневой кислоты и от 15 до 30% глины.

Как видно из характеристики основных сортов огнеупорных материалов, температура плавления их очень высока. Однако, как мы говорили уже, температура плавления сама по себе далеко еще не является достаточной для установления пригодности огнеупорного материала. Длительный опыт работы с различными сортами огнеупорных кирпичей выяснил, что многие из применяемых материалов начинают задолго до достижения температуры плавления размягчаться. Происходит это потому, что всякий огнеупорный материал представляет собою скорее механическую смесь, чем химически однородное тело. По своим химическим качествам, огнеупорный материал, как кварцитный, так и шамотный, ближе всего сходен с сплавами. При повышении температуры отдельные составные части, главным образом, силикаты железа, щелочно-земельных и щелочных металлов, начинают плавиться при значительно более низкой температуре, чем

температура плавления основного вещества (кварцита или шамота). Благодаря этому тело кирпича несколько размягчается и делается тестообразным. В особенности это сказывается в том случае, если на огнеупорный кирпич давит вся футеровка. Как указывает проф. Рике, динасовый кирпич начинает размягчаться только при температуре 1600° — 1650° С. Шамотные же кирпичи, по его данным, становятся пластичными уже при температуре около 1400° С. Однако, динасовый кирпич, достигнув вышеупомянутой температуры 1600° , при дальнейшем, самом незначительном ее повышении, чрезвычайно быстро теряет в своей прочности, в то время как у шамотного кирпича понижение прочности после достижения температуры 1400° С, происходит чрезвычайно медленно и постепенно. Таким образом, при кажущемся преимуществе динасовых кирпичей, они на самом деле не на много лучше шамотных в смысле стойкости при высоких температурах.

Мы уже говорили, что, кроме высокой температуры плавления для пригодности огнеупорного кирпича в качестве топочной футеровки, он должен обладать достаточной сопротивляемостью как химической, так и механической, и, кроме того, должен быть стоек при резких колебаниях температур. Силикатные камни (динас и др.), как показал опыт, являются мало стойкими в отношении сопротивляемости значительным колебаниям температур. Стойкость динасовых и других силикатных кирпичей в отношении химического воздействия шлаков и золы меньше, чем у кирпичей шамотных. По этому поводу инж. Литинский ¹⁾ говорит следующее: «Опыт доказал, что строительные материалы с большим содержанием глинозема значительно лучше выдерживают воздействие шлаков, независимо от того, принадлежат ли последние к щелочным или к кислотным». Очень важным моментом для топков являются неизменность формы и размеров огнеупорных кирпичей, употребленных на изготовление футеровки. В этом отношении, как динасовые, так и шамотные материалы, не обладают достаточно хорошими свойствами. В то время как глина при нагревании сильно сжимается, кварцит, наоборот, дает значительное расширение. Не приходится особенно долго останавливаться на том, что свойство кварцитов расширяться действует на огнеупорную футеровку самым губительным образом, в смысле ее разрушения. Однако, свойство глиноземных материалов сжиматься от высоких температур такоже не является плюсом для прочности топочной футеровки. Дабы устранить это свойство, огнеупорный кирпич, изготовленный из глины, нейтрализуют либо добавлением кварцита, либо примешиванием высокосортного шамота.

Сопротивление огнеупорных кирпичей действию раздавливания различно, в зависимости от способа изготовления и тщательности выработки. Обычно сопротивляемость на раздавливание колеблется в пределах от 60 до 200 кг. на 1 квадратный сантиметр. Нужно вообще иметь в виду, что исходные материалы, из которых обычно изготавливается огнеупорный кирпич, не представляют собою химически однородных веществ и в значительной степени варьируют. Поэтому

¹⁾ Litinsky. Feuerungstechnik 25, Heft 7, S. 70.

от способа их обработки, от правильно взятой пропорции различных составных частей, от степени обжига и тщательности формовки изготавливаемых кирпичей зависит очень сильно их стойкость в эксплуатации.

Для характеристики требований, которым в состоянии в настоящее время удовлетворить хорошего качества огнеупорный кирпич, мы приведем те нормы, которые по поручению союза владельцев электрических станций в Германии были выработаны инженером Бусманом:

1. Огнеупорные кирпичи должны длительно выдерживать действие температуры 1750 — 1770° С. При действии этой температуры не должно происходить изменения формы и стойкости.

2. Сопротивляемость резким колебаниям температур должна проявляться в том, что при медленном или быстром нагревании и при последующем охлаждении на воздухе или в воде прочность кирпича не должна быть ниже 130 кгр./см.², при чем не должны меняться структура кирпича и его пористость (пористость должна отвечать 15% влаги, впитываемой кирпичом при погружении его в воду).

3. Размеры кирпича должны в точности отвечать существующим нормам (или, в специальных случаях, чертежу). Канты кирпича должны быть острыми, а поверхности совершенно ровными. Отклонение в размерах допускается не свыше $\pm 2\%$. При линейных размерах менее 100 мм допуск равен ± 3 мм. Изгиб по длине кирпича допустим не свыше 1,5%.

4. При нагреве увеличение объема кирпича абсолютно недопустимо. Сжатие при нагреве в течение 2-х часов до температуры 14, 15 № конуса Зегера не должно превышать 1%.

Французский синдикат фабрикантов керамических заводов также выработал аналогичные нормы, согласно которых отклонение в размерах кирпичей допустимо до 2%. Для наиболее высоких температур должен применяться кирпич с температурой плавления 1710° С. При нагревании этого кирпича в течение 2-х часов до 1600° С., увеличение его линейных размеров допустимо на 1,5%. Сопротивление на раздавливание в холодном состоянии должно быть не ниже 100 кгр. на квадратный сантиметр. Пористость должна отвечать поглощению 15% воды по весу кирпича ¹⁾.

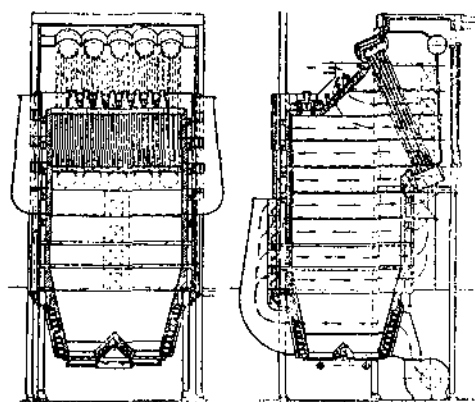
Кроме тех 3-х основных видов огнеупорных материалов, которые были рассмотрены нами выше, проф. Рике указывает еще 2 вида огнеупорных кирпичей. Один из них имеется в естественном виде: это магнезитовые кирпичи. Хотя понижение прочности этих кирпичей начинается при 1500° С., но так как размягчение их происходит по мере роста температуры чрезвычайно медленно, то еще при 1700° они обладают такой степенью сопротивляемости на раздавливание, что футеровка, изготовленная из этого материала, вполне справляется с такого рода температурой.

Если подвергать глину действию высоких температур, при постепенном их повышении, то происходит перекристаллизация частиц, и из глины выделяется соединение, имеющее химическую формулу:

¹⁾ Все приведенные нормы взяты нами из цитированной выше статьи Литинского.

$Al_2O_3SiO_2$. Цельнер назвал это вещество «силиманит». В нем содержится 62,85% глинозема и 37,15% кремневой кислоты. Температура плавления этого вещества равна $1816^{\circ}C$. Благодаря своей исключительной чистоте и однородности химического состава силиманит является самым стойким и огнеупорным веществом из всех известных нам материалов. Широкому применению силиманита препятствовала до сего времени его дороговизна. В настоящее время, как сообщает проф. Рике, в Америке найден способ приготовления силиманита из обыкновенной огнеупорной глины. Благодаря этому силиманит становится дешевым материалом и несомненно получит широкое распространение. Этому будет еще способствовать его большая стойкость в отношении химического воздействия шлаков и горячих газов и другие положительные качества.

Затронув вопрос относительно огнеупорных материалов, применяемых для футеровки пылесожигательных камер, мы считаем необходи-



Фиг. 64. Продольный и поперечный разрез пылесожигательной камеры водотрубного котла системы Эдже Мор, поверх. нагрева в 1115 м^2

мым указать, хотя бы в беглой форме, на основные правила кладки огнеупорной футеровки. Та поверхность кирпичей, которая должна быть обращена к пламени, не должна подвергаться обсеканию. Раствор, на котором выкладывается футеровка, должен быть изготовлен из того же материала, из которого изготовлены огнеупорные кирпичи. Швы должны быть возможно более тонкими. Фасонный кирпич, применяемый для выкладки сводов, не должен быть изготовлен с ребрами и пазами, ибо такая конструкция кирпичей обуславливает

большую толщину швов и менее прочна, чем обыкновенные, гладкие, клинообразные кирпичи. Размеры фасонных кирпичей ни в коем случае не должны быть большими, так как эластичность кладки обуславливается наличием швов. Целые кирпичи гораздо менее эластичны, чем составная кладка. Пяту свода рекомендуется выводить из кирпичей, имеющих скругленные канты, ибо острые канты в этих местах легче поддаются разрушению. Кирпичи в кладке должны в минимальной степени испытывать какую-либо нагрузку. В этом отношении чрезвычайно интересна конструкция футеровки котла, установленного фирмой «W. A. Braston Management Association». Как видно из фиг. 64, внутренняя футеровка пылесожигательной камеры состоит из 7 различных частей, при чем 5 верхних слоев ее подвешены. Благодаря этому нижние два пояса не испытывают давления вышележащих слоев. Толщина нижних двух поясов равна 225 мм , а каждого из верхних 5 поясов — 263 мм . Между футеровкой и наружной обшивкой имеется воздушный прослойка толщиной в 225 мм . Наружная обшивка котла

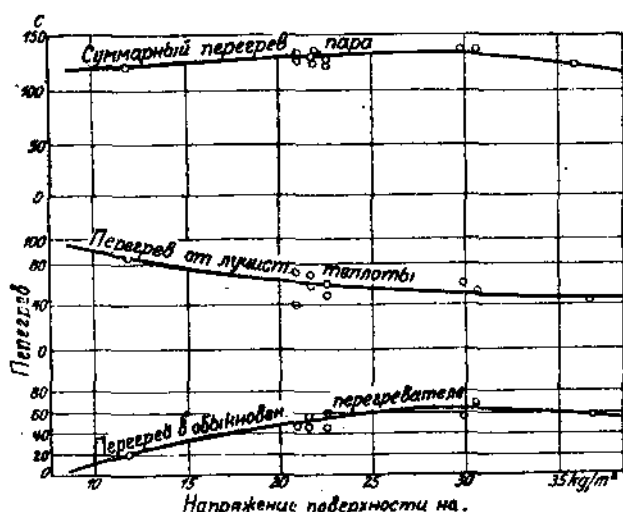
сделана из железных листов, выложенных по внутренней поверхности изоляционным слоем толщиной в 113 м/м. Как коническая нижняя часть камеры, так и днище имеют водяное охлаждение.

Все те данные, которые мы сообщили выше по поводу огнеупорных материалов, свидетельствуют о том, что, по крайней мере, в настоящее время нет еще практической возможности осуществить такую огнеупорную футеровку в пылесожигательной камере, которая обеспечивала бы возможность сжигания угольной пыли при теоретическом количестве воздуха. То, что дала до настоящего времени практика, дает возможность сжигать пылеобразное топливо при температурах не выше $1.550 - 1.600^{\circ}$. Отсюда следует, что главные поиски по пути достижения температур порядка $1.900 - 2.200^{\circ}$ в топке должны быть направлены в другую сторону. Правда, на пути этих поисков не приходится забывать также и тех достижений, которые получены и путем более тщательного подбора высокосортных огнеупорных материалов и путем некоторого снижения температур горения, при помощи использования отходящих дымовых газов, как нейтральной охлаждающей среды.

Третий метод, при помощи которого современная техника пылесожигания стремится достигнуть горения пылеобразного топлива при минимально необходимом количестве воздуха и, следовательно, при максимальной температуре, является методом искусственного создания такой разности между температурой топочного пространства и температурой огнеупорной футеровки, которая обеспечила бы стойкость последней. Одним из способов получения значительного охлаждения стенок топочной камеры является возможно большее увеличение объема топочной камеры. До последнего времени этот способ усиленно применяется и применялся конструкторами американских пылесожигательных установок. Вместо удельного объема топочной камеры в $12 - 15 \text{ м}^3$ на часовую тонну сжигаемой угольной пыли, американские строители пылеугольных топков применяют удельный объем топочного пространства от 40 до 60 м^3 на часовую тонну пыли. Еще до настоящего времени большинство американских установок имеет плотность горения не выше $250.000 \text{ кал./м}^3 \text{ час}$. Имеется не мало установок, в которых эта плотность гораздо ниже и опускается до $90.000 - 100.000 \text{ кал./м}^3 \text{ час}$. Применение столь значительных объемов пылесожигательных камер имеет, наряду с положительными качествами, ряд дефектов. Благодаря этому увеличивается необходимый объем котельного здания, удорожается стоимость первоначальных затрат, значительно усложняется конструкция топочных стенок и т. п.:

Более рациональным методом является непосредственное охлаждение футеровки топочной камеры. Охлаждение это осуществляется иногда при помощи перенесения части поверхности нагрева в топочную камеру, при чем эта поверхность нагрева котла отнимает излишнее тепло у футеровки за счет повышенного нагревания циркулирующей в котле воды. Чрезвычайно широкое развитие приобрело за последнее время воздушное охлаждение стенок топочной камеры. Между огнеупорной футеровкой и наружной обмуровкой, или обшивкой топочной камеры, устраивается воздушный прослой, толщиной равной толщине огнеупорного кирпича. Прослой этот устраивается либо в виде зигзагообразных каналов, либо в виде

сплошного воздушного мешка. В этот прослойк вдувается воздух, который, нагреваясь, поступает через соответствующее отверстие в топочную камеру и служит добавочным воздухом для сжигания. В зависимости от соотношения между долей первичного и добавочного воздуха и в зависимости от размеров топочной камеры и конструкции воздушного прослойка, этот добавочный воздух нагревается перед поступлением в топочную камеру до $70 - 200^{\circ} \text{C}$. Как паро-водяной, так и воздушный способ охлаждения топочной футеровки имеют свои достоинства и недостатки. Несомненно, что перенесение в топку части поверхности нагрева котла или пароперегревателя, образующих защитный экран, обеспечивает чрезвычайно интенсивное охлаждение огнеупорной футеровки и создает чрезвычайно благоприятные условия для использования лучистой теплоты факела. Помещение части

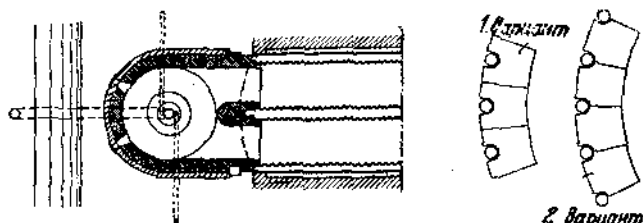


Фиг. 65. Диаграмма температур перегретого пара на котлах Айсландской центр. ст. в С. Пауле.

поверхности пароперегревателя в топочной камере обеспечивает также равномерность перегрева пара, при различных нагрузках поверхности нагрева котла. Такой способ применен на Айсландской центральной станции Америк. О-ва Газ. Освещен. в Сант-Пауле. Из диаграммы, изображенной на фиг. 65, видно, что при изменении нагрузки поверхности нагрева котла от 10 до 40 $\text{кг. / м}^2 \text{ час}$, кривая изменения температуры перегрева пара колеблется в пределах $\pm 5^{\circ}$. Объясняется это тем, что по мере увеличения нагрузки котла перегрев, получаемый от обыкновенного пароперегревателя, повышается. В то же время перегрев, получаемый в перегревателе опущенном в топочное пространство, понижается. Эти два явления, суммируясь, дают конечную температуру перегретого пара почти постоянную.

Водяной экран, представляющий собою часть поверхности нагрева котла, чрезвычайно активен в смысле поглощения тепла. Так, напр., данные Мидльтаунской станции О-ва Метрополитен Эдисон (Америка) по-

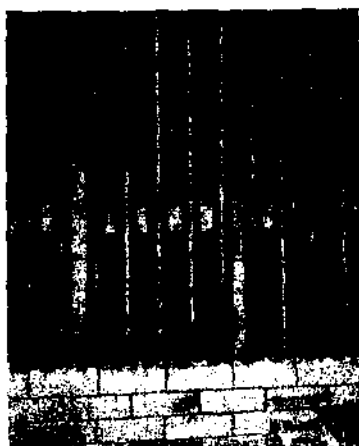
казывают, что теплопередача водяного экрана составляет 91.000 кал./м² час. Благодаря такой большой активности водяных экранов, их приходится покрывать слоем огнеупорного плохо проводящего тепло вещества, дабы устранить слишком большое понижение температуры в топке. Нам уже приходилось выше говорить о проекте топочной камеры инж. Райзера с водяным охлаждением. На фиг. 66 и 67 показан



Фиг. 66. План огнеупорной футеровки с водяным экраном из ребристых труб.

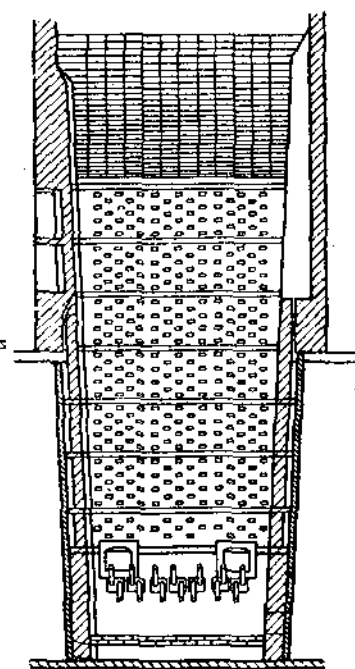
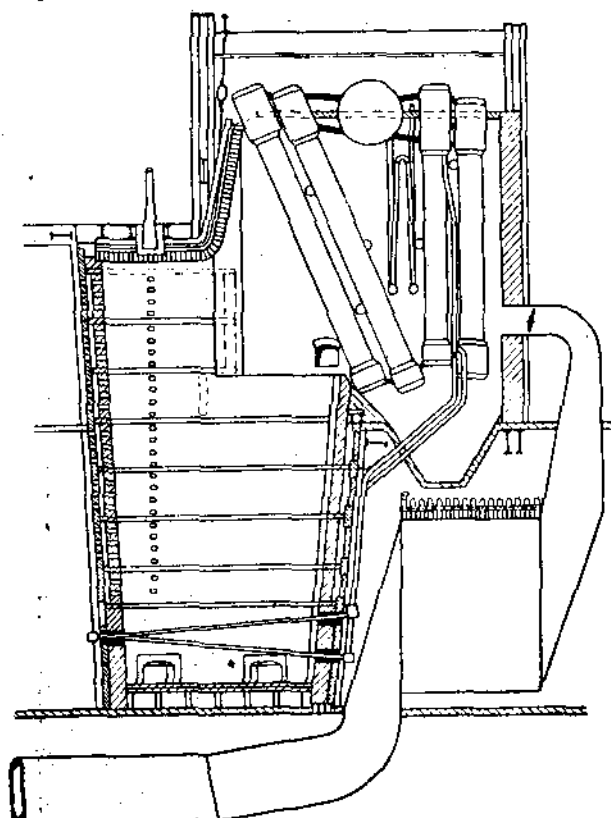
способ устройства водяного экрана на осуществленной установке рудника «Консолидация». Отрицательной стороной применения водяных экранов является значительное усложнение конструкции парового котла, опасность, в случае недостаточной очистки воды, образования накипи в трубах и, следовательно, прогара трубок, и, наконец, слишком большая тепловая активность экранов, которая исключает возможность полного перекрытия ими всей футеровки топочной камеры, ибо это может повлечь за собой слишком большое понижение топочной температуры и даже угасание пламени. Поскольку поверхность стенок топочной камеры служит цели воспламенения воздушно-угольной смеси и поддержания процесса горения, полное перекрытие всех стенок топочной камеры водяным экраном невозможно. Частичное же перекрытие не разрешает полностью вопроса защиты огнеупорной футеровки от прогара.

Воздушное охлаждение топочной футеровки, благодаря плохой теплопроводности огнеупорных кирпичей, не может создать столь интенсивного отвода тепла, чтобы между температурой топочного пространства и температурой поверхности футеровки получилась разница в 400 — 600°. А именно такая разность температур и необходима при ныне применяемых огнеупорных материалах, если мы хотим вести процесс горения при $\alpha = 1$ и $T = 1800 — 2000^\circ$. В виду того, что оба способа охлаждения стенок топочной камеры не решают полностью вопроса, и в то же время каждый из методов имеет свои достоинства, в настоящее время часто применяют комбинированный способ. Частично производят охлаждение воздушное, а наиболее



Фиг. 67. Вид водяного экрана в пылесожигательной камере на руднике «Консолидация».

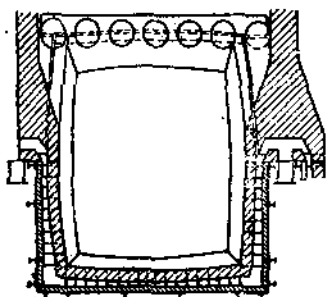
угрожаемые места футеровки покрывают водяным экраном. На фиг. 68, 69 и 70 дано изображение, в плане и в двух разрезах, пылесожигательной камеры на станции Рочестер-



Фиг. 69. Поперечный разрез парового котла с пылесожигательн. топкой на стан. Рочестерского О-ва.

Фиг. 68. Продольный разрез парового котла с пылесожигательн. топкой на стан. Рочестерского О-ва.

ского газового и электрического о-ва. Паровой котел имеет поверхность нагрева 810 м^2 . Отличительной чертой этой камеры является устройство огнеупорной футеровки. Она входит в наружную обшивку, как в футляр.

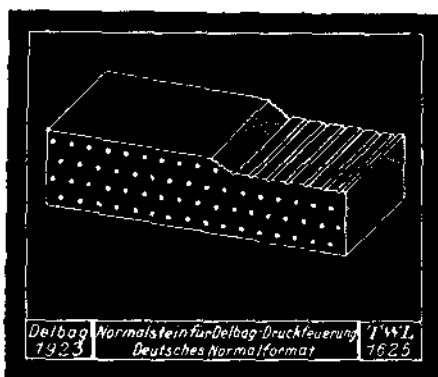


Фиг. 70. План топочной камеры с пылесожигат. топкой на стан. Рочестерского О-ва.

Между футеровкой и наружной обшивкой устроен сплошной воздушный прослой. Толщина футеровки — 225 мм . Такую же толщину имеет и воздушный прослой. Под камеры покрыт водяным экраном. Воздух, омывающий огнеупорную футеровку, поступает в качестве вторичного воздуха в топочную камеру. Расположение отверстий для впуска вторичного воздуха показано на фиг. 69. Топочная камера суживается книзу и расширяется кверху. Свод, перекрывающий топочную камеру, подвешен на металлических балках.

Комбинацию из воздушного и водяного охлаждения футеровки топочной камеры представляет собою, упоминавшееся выше, камера, спроектированная инж. Райзером (см. фиг. 62). В этом проекте очень интересно расположение водяного экрана. Он устроен не на внутренней поверхности огнеупорной футеровки, а на внешней, при чём часть этого экрана предусмотрена в виде змеевика, охватывающего кольцами верхнюю часть цилиндрической камеры. Система охлаждающих труб полностью охватывает всю поверхность футеровки и должна давать довольно значительное охлаждение ее.

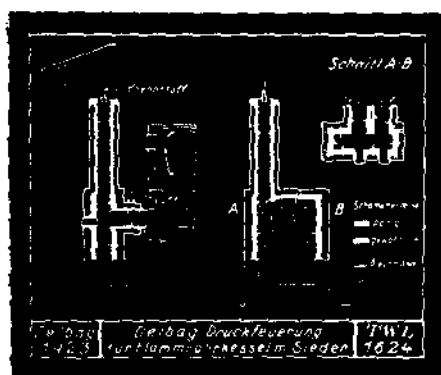
Гельбиг, в своей книге «*Brennstaub, Aufbereitung und Verfeuerung*», делает чрезвычайно важное сообщение относительно нового принципа охлаждения футеровки пылесожигательной камеры, изобретенной обществом «*Delbag-Druckfeuerung*» (Дельбагское о-во сжигания под давлением). Мы считаем необходимым привести несколько длинную цитату из вышеупомянутой книги Гельбига, дабы дать читателю возможность ознакомиться с описанием этого изобретения из первоисточника: «Решение вопроса относительно действительной возможности охлаждать огнеупорную футеровку пылесожигательной камеры базируется на том, что угольная пыль подается в камеру с минимальным количеством первичного воздуха, а все остальное необходимое для горения количество его прожигается в камеру через поры огнеупорных кирпичей. Огнеупорные кирпичи (фиг. 71) снабжены сквозными отверстиями, диаметром равным толщине тонкой иглы. Нормальный кирпич, обычно, имеет по своей узкой поверхности 72 таких отверстия, так что на 1 м.² поверхности футеровки приходится 4.200 таких отверстий. Благодаря такому малому диаметру отверстий и их равномерному распределению по всей поверхности, получилась возможность чрезвычайно интенсивного охлаждения футеровки при минимальном живом сечении, пропускающем воздух». «То количество воздуха, которое поступает в камеру в виде добавочного воздуха, оказывается совершенно достаточным, чтобы охладить огнеупорный кирпич настолько, что даже при температуре внутри топочного пространства в 2000°, футеровка остается в вполне прочном и не размягченном состоянии.



Фиг. 71. Огнеупорный кирпич для Дельбагской пылесжигательной системы горения.

Устройством Дельбагской топки под давлением видно из фиг. 72. Горючее подается сверху в башеннообразную Дельбаговскую камеру в смеси с 10 — 20% теоретически необходимого количества воздуха для сжигания пыли. Эта камера окружена воздушным прослойком и обшивкой, изготовленной либо из листового железа, либо из железобетона. Воздух в воздушном прослойке находится под давлением от 20 до 50 м/м. водяного столба. В зависимости от напряжения пыле-

сжигательной камеры, это давление может изменяться в весьма широких пределах. Изменение давления является способом, при помощи которого можно по желанию увеличивать напряжение топочного пространства. Благодаря этому же имеется возможность, не меняя коэффициента полезного действия топки, сделать работу ее чрезвычайно эластичной. Воздух, предварительно отфильтрованный, в количестве 80 — 90% теоретически необходимого для сжигания угольной пыли, продавливается через тончайшие каналы в кирпичах внутрь пылесжигательной камеры и вступает в нее в виде большого количества воздушных струек, толщиной в иголку. При протекании сквозь отверстия футеровки этот воздух отнимает у кирпичей значительную часть той теплоты, которая ими воспринята от факела топки. Эта теплота без всяких потерь, таким образом, вновь возвращается в топочное пространство. Таким образом, впервые создается возможность практически сжигать горючее при теоретической температуре его горения.



Фиг. 72. Дебальговская нагнетательная топка для ланкаширского котла с кипя-
тильником.

гой — образующие изоляционный слой, предохраняющий топочную футеровку от действия лучистой теплоты факела. В противоположность тому стремлению, которое имеется в современных топках, — по возможности увеличить топочное пространство, дабы путем удаления футеровки от пламени предохранить ее от быстрой порчи, в этой конструкции поставлена обратная задача — поверхности стенок топки, излучающие тепло, по возможности придвинуть к факелу пламени, дабы получить возможно большую силу излучения, благодаря чему можно добиться быстрого накаливания горючего, возможно скорейшего его воспламенения и скорого сгорания.

При той высокой температуре, около 2000°, которая в такой камере получается, теплопередача в котле значительно повышается. При этом не должно упускать из виду, что дымовые газы поступают к поверхности нагрева котла вполне сгоревшими, что повторные вспышки их при протекании вдоль поверхности нагрева исключены, и передача тепла котлу происходит самым рациональным образом.

Кислород нагретых воздушных струек чрезвычайно быстро соединяется с углеродом пыли. Струя воздушно-угольной смеси, вдуваемая в камеру форсункой, помещенной вверху ее, течет вдоль оси камеры вниз, так что частицы золы и шлака совершенно не прикасаются к боковым стенкам камеры и выпадают в ее нижней части. Воздушные струйки вторичного воздуха, притекающие через стенки топочной камеры, образуют воздушную изоляцию, с одной стороны, защищающую стенки камеры от загрязнения шлаками и золой, а с дру-

гой — образующие изоляционный

Если практика пылесожигания полностью подтвердит тот прогноз, который сделан Гельбигом в отношении Дельбаговской негативной системы, то этой конструкции, конечно, предстоит блестящее будущее. Поэтому, сейчас нам приходится запастись некоторой долей терпения в ожидании того опытного материала, который один может сказать свое решающее слово в этом вопросе.

Более или менее объективное рассмотрение всех трех методов, стремящихся создать наилучшие условия для сжигания пылевидного топлива, приводят нас к следующим выводам: если способ понижения температуры топочного пространства являлся тяжелой необходимостью на первых же ступенях конструирования пылесожигательных топков, то он и теперь остается в качестве вопроса, решение которого требуется настоятельно и в настоящее время. Изыскания и опыты в области конструирования надежной и экономичной пылесожигательной камеры должны быть теперь направлены по двум путям: с одной стороны, необходимо систематическое изучение и подбор наиболее стойкого дешевого огнеупорного материала, а с другой, необходимо направить все усилия к конструированию топочной обмуровки таким образом, чтобы самое интенсивное ее охлаждение комбинировалось с полным использованием того тепла, которое при этом отнимается у топочной футеровки. Метод понижения температуры топочной футеровки, путем увеличения объема пылесожигательной камеры, должен быть исключен, объем топочной камеры должен определяться исключительно в связи с вопросом об экономичности горения, но не в зависимости от повышения надежности топочной футеровки. Тот материал, который дан уже в настоящее время как лабораторными изысканиями, так и практикой фабричных установок, свидетельствует о близости решения вопроса в указанном нами направлении.

На первых порах конструированию пылесожигательных топков большие трудности создавали легкоплавкие шлаки, содержащиеся в каменном угле. Очень немногие породы угля обладают шлаками с температурой плавления выше 1500°. Обычная температура плавления шлаков лежит в пределах от 1100° до 1400°. Мюнцингер предлагает мерилом легкоплавкости золы брать отношение содержания в ней глинозема и кремневой кислоты к содержанию флюсов. Чем больше будет отношение

$$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2}{\text{Mg}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3},$$

тем выше точка плавления золы.

Если с тугоплавкими и очень легкоплавкими шлаками больших затруднений для пылесожигательных топков не встречалось, то шлаки средней плавкости создавали на первых порах огромные трудности. Оседая в нижних частях топочной камеры и отчасти на первых рядах труб водотрубных котлов, эти шлаки благодаря тестообразному виду и почти не поддавались удалению. При чистке пода топочной камеры они способствовали чрезвычайно быстрому разрушению топочной футеровки. Автору пришлось быть свидетелем в 24 году тех трудностей, которые испытывал один цементный завод в Германии в Нойбикуме с такого рода неприятными шлаками. Первый, кто разрешил полностью вопрос относительно тестообразных шлаков, был американский кон-

структор Лопулько. Он впервые применил водяной экран, устанавливаемый на высоте от 750 м/м до 1500 м/м от пода топочной камеры, который ликвидирует тестообразные шлаки тем, что превращает их в твердое состояние. Капельки шлака, попадая на охлаждаемые водой трубы экрана, затвердевают и, превращаясь в твердую золу, попадают в виде крупинок сквозь зазоры между трубами на под топочной камеры. Удаление их отсюда не представляет уже никаких затруднений. Если температура плавления шлаков близка к 1500° , то гранулирование их (т.е. превращение в твердые крупинки) осуществляется и без водяного экрана в том случае, если подвод вторичного воздуха устроен рационально. Вторичный воздух с температурой значительно более низкой, чем температура факела, попадая частично в хвост факела, там где он заворачивает кверху и выделяет шлаковые частицы, охлаждает их настолько, что капельки шлака превращаются в твердые крупинки. На фиг. 68 и 69 были даны нами два разреза пылесожигательной камеры котла сист. Бислоу-Горнсби в 810 м^2 , установленных на Рочестерской электрической станции, где применен водяной экран для гранулирования шлаков. На фиг. 64 показана пылесожигательная камера, у которой нижняя коническая часть устроена с водяным охлаждением и служит гранулятором шлаков. Водяной экран обычно включается в общую циркуляционную систему парового котла и, таким образом, составляет часть его поверхности. Он принимает немалое участие в деле использования лучистой теплоты поверхностью нагрева котла. Исследования показали, что напряжение поверхностью нагрева этого экрана равно $90\,000 \text{ кал./м}^2 \cdot \text{час}$.

Резюмируя все сказанное относительно пылесожигательной камеры, мы приходим к следующим выводам:

1. Угольная пыль, вводимая в камеру, должна быть, по возможности, лучше высушена. Предел влажности для каменных углей от 0,5 до 1% для лигнитов и бурых углей — около 10% — 15%.
2. Степень тонкости помола должна быть строго согласована путем тщательно поставленных опытов с горючеспособностью и пламенностью угля. Тонкость размолла должна убывать от антрацитов к лигнитам и бурым углям. Для первых примерная тонина помола определяется в 10% остатка на сите с 4 900 петель, для последних 20% остатка на том же сите.
3. Форсунка, употребляемая для смешивания воздуха с пылью и для ввода смеси в сожигательную камеру, должна быть простейшей конструкции, обеспечивающей как тщательность перемешивания воздуха с пылью, так и минимум износа и ремонта частей.
4. Для ввода пыли должны применяться минимальные давления в форсунке (5 — 6 м/м водяного столба) и минимальные скорости у сопла форсунки (4,5 — 10 м/сек.).
5. Для ввода пыли горючего в топочную камеру должно затрачиваться от 10 до 25% всего воздуха, идущего на сжигание топлива. Остальные 75 — 90% воздуха для горения должны поступать в топочную камеру в виде вторичного воздуха, при чем последний должен быть распределен таким образом, чтобы угольные пылинки по всей траектории своего движения встречали такое количество кислорода, которое необходимо для их скорейшего горения.

6. Струя пылеугольной смеси должна двигаться в топочной камере в вертикальном направлении, что обеспечивает как наилучшие условия перемещения угольных частиц в воздушном потоке, так и наилучший подвод воздуха и наилучшие условия поглощения лучистой теплоты.

7. Сжигание должно вестись с количеством воздуха близким к теоретически необходимому, при возможно коротком факеле и возможно большей концентрации теплового процесса. От существующих норм концентрации пламени ($180\ 000 - 250\ 000$ кал./м.³) нужно стремиться доводить до возможно более высокой концентрации, так чтобы пределом количества калорий на 1 м.³ объема топки служила исключительно та величина, которая определяется полнотой сгорания. От применяемых в настоящее время длин факела 6 — 9 м. необходимо перейти к значительно более коротким факелам.

8. Для этого необходимо конструировать пылесожигательные камеры такого объема, который отвечает действительным потребностям техники горения, с применением наиболее стойких огнеупорных материалов для топочной футеровки и с интенсивным охлаждением последней для получения максимально достижимой разницы в температурах факела и топочных стенок. Тепло, выделяемое при этом охлаждении топочной футеровки, должно возвращаться в тепловой процесс.

9. Форма топочной камеры должна быть такова, чтобы лучеиспускание внутренних поверхностей ее стенок в максимальной степени поглощалось струей воздушно-угольной смеси.

10. При конструировании топки должно быть обращено самое серьезное внимание на возможно полное выделение шлаков и золы в топочной камере и возможно лучшую их грануляцию.

11. Дымовые газы должны подводиться к поверхности нагрева котла во вполне сгоревшем состоянии.

Глава VII.

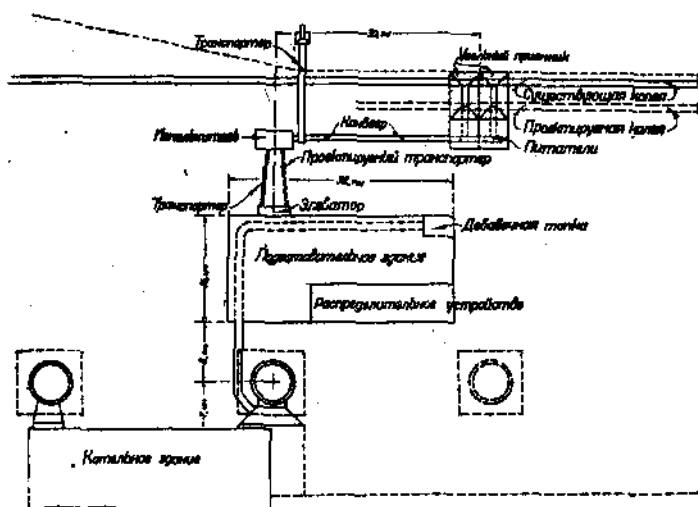
Описание существующих установок и результаты испытания их.

Мы считаем, что в целях наилучшего ознакомления с опытом пылесожигания, полученным в Америке и в Европе, весьма целесообразно дать хотя бы в кратких чертах описание наиболее интересных установок и результаты их работы.

1. Одна из наиболее интересных установок последнего времени осуществлена компанией Метрополитен Эдисон в городе Миддлтауне в штате Пенсильвания. Эта станция является одной из крупнейших единиц в электрификационном кольце, охватывающем 2 штата — Пенсильванию и Нью-Джерсей. Полная мощность этой станции предусмотрена в 200 000 квт., при чем постройка станции осуществляется в 3 очереди. Первая очередь имеет 2 турбогенератора по 30 000 квт. каждый и 6 паровых котлов системы Стерлинг по 1375 м² поверхности нагрева каждый. По окончании постройки станция будет иметь 6 турбогенераторов по 30 000 и 35 000 квт. и 24 котла по 1375 кв. м. поверх-

ности нагрева, как указано выше. Первая очередь постройки уже закончена и с конца 23-го года находится в работе.

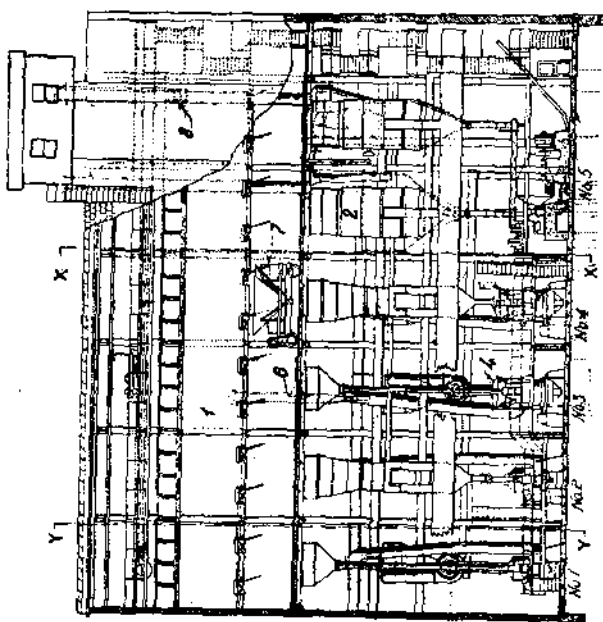
Чрезвычайно интересны те соображения, которыми руководствовались строители при выборе топочной системы. Дело в том, что топливо, поступающее на станцию, бывает двух родов: либо низко-сортные антрациты, либо битуминозный уголь. Учитывая, что пылесо-жигательная топка лучше всех других приспособлена к сжиганию любого сорта угля, и что в смысле эластичности она является самой совершенной, строители пришли к тому заключению, что система топок должна быть выбрана — пылесо-жигательная. При выборе системы мельницы строители решили на первой очереди постройки испытать три конструкции, дабы в дальнейшем при расширении станции уже на основании собственного опыта выбрать самую совер-



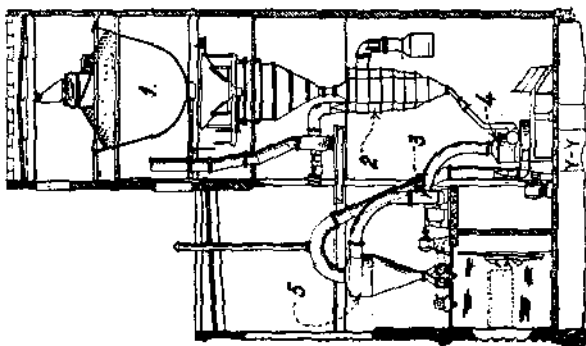
Фиг. 73. Ситуационный план расположения котельного здания, подготовительного отделения и сист. транспортировки угля на Миндльтаунской станции Метрополитен Эдисоновской К^а.

шенную. Поэтому в подготовительном отделении установлена одна мельница системы Гардинг и четыре 3-хвальцовые мельницы, из которых 2 одной системы и 2 — другой. Способ подачи угля и взаимное расположение рельсового пути, транспортеров, углепомольного здания и котельного помещения — показаны на ситуационном плане на фиг. 73.

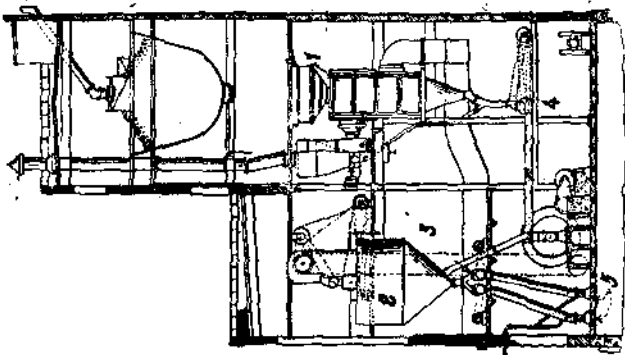
Уголь, прибывающий по железной дороге, попадает из вагона в наружный бункер, из которого при помощи разгрузочного механизма поступает на наклонный конвейер, передающий его на измельчитель. К измельчению подходит также и другой ленточный транспортер, служащий для подачи угля с угольного двора, помещающегося по другую сторону рельсового пути. Пройдя измельчитель уголь в кусках, не свыше 40 м/м в диаметре, попадает на короткий наклонный ленточный транспортер, передающий его карманному элеватору. Последний



Фиг. 74. Продольный разрез подготовит. отде-
ления.
1—бункер для угля; 2—сушилка; 3—элеватор; 4—мельница; 5—циклон; 6—карманный элеватор; 7—опро-
кидыватель автоматических весов; 8—карманный элеватор.



Фиг. 75. Поперечный разрез под-
готовит. отделения по оси «УУ»



Фиг. 75а. Поперечный разрез под-
готовит. отделения по оси «XX».

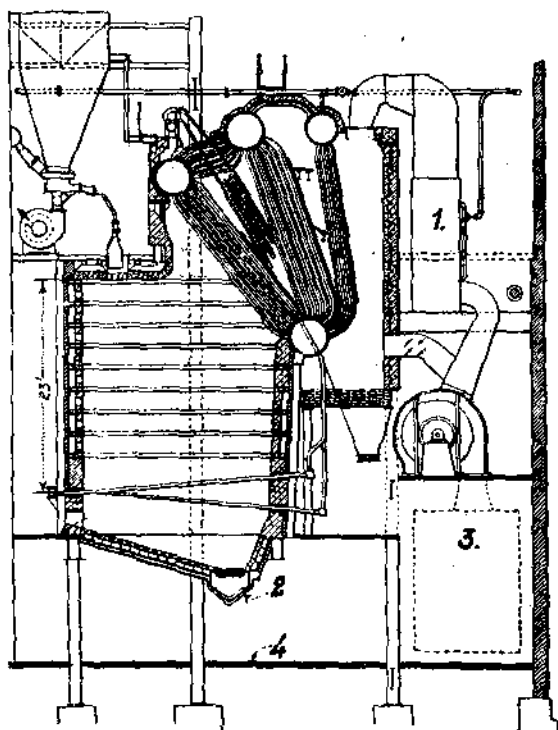
Фиг. 75а. Поперечный разрез под-
готовит. отделения по оси «XX».

подымает уголь на верхний этаж углепомольного помещения и передает вновь на ленточный транспортер, распределяющий уголь в бункера. Один из шкивов транспортера, подающего уголь из измельчителя к карманному элеватору, снабжен электромагнитным аппаратом, задерживающим куски железа попавшие в угольную массу. Продольный и поперечный разрезы подготовительного отделения показаны на фиг. 74 и 75.

Из центрального бункера уголь поступает самотеком на автоматические весы и оттуда в том же порядке в сушилку вертикального типа и далее скатывается в мельницу. Как видно из фиг. 74 и 75 все движение угля на этом пути вплоть до мельницы происходит самотеком. Только у мельницы Гардинга уголю приходится пройти небольшой червячный транспортер, подводящий уголь от сынного кармана сушилки к дополнительной воронке мельницы. Все сушилки обогреваются отходящими дымовыми газами. Однако, в виду того, что некоторые партии угля прибывают с значительным содержанием влаги и теплота отходящих газов иногда недостаточна для требуемой просушки угля, то две сушилки, находящиеся над мельницами № 2 и № 4, имеют добавочный нагрев при помощи паровых калориферов. Для этих калориферов применяется отработанный пар с давлением около 1/7 — 1/5 ат. Все наружное транспортное устройство, описанное нами выше, предусмотрено для производительности в 75 тонн угля в 1 час. Как видно на ситуационном плане, отходящие дымовые газы для обогрева сушилок берутся из борова у самого основания дымовой трубы. В дополнение к теплу этих газов к магистрали подведены также газы из небольшой самостоятельной топки, устроенной в подготовительном отделении. Эта топка служит для поднятия температуры в сушилках, когда тепло газа из борова оказывается недостаточным. Сушилки установлены камерного типа. Уголь движется в них самотеком, пересыпаясь с верхних железных листов на нижние, а горячие газы просасываются снизу вверх. Просасывание горячих газов производится вентилятором, приводимым в действие от мотора сидящего на одном валу с ним. Температура газов, поступающих в сушилку и угля, выходящего из сушилки, замеряется самопишущими термометрами. Количество газа, поступающего в сушилку, регулируется заслонкой на входном штуцере. Самопишущий прибор от термометров отведен к центральному пункту в подготовительном помещении, откуда вообще производится вся регулировка работы отдельных элементов установки кнопочной системой. Угольная пыль из мельниц подается при помощи эксгаустера в циклон (см. фиг. 74 и 75). Отсюда она самотеком поступает в шнековый транспортер и по трубам подается к двум пневматическим насосам, которые гонят ее по 5-тидюймовым трубам в котельные бункера. Как в подготовительном отделении, так и в котельном здании углепровод снабжен специальными клапанами, дающими возможность переключать угольный поток в требуемые ответвления. Все моторы, приводящие в движение конвейера, транспортеры, эксгаустеры, мельницы и т. п., приводятся в движение путем включения на центральной распределительной доске. Последняя помещается в специальной комнате, устроенной в подготовительном отделении, совершенно изолировано от остального здания. В эту комнату сведены

также и все самопишущие и контрольные приборы для наблюдения за работой отдельных частей установки. Таким образом, все механизмы работающие как по транспорту угля, так и по перемолу, просушке и передвижению угольной пыли приводятся в движение и управляются из одного центрального места. Распределительная доска устроена таким образом, что можно выключить или включить как всю рабочую систему, так и в отдельности каждую ее часть. Котельные бункера для пыли снабжены указателями степени наполнения, при чем как максимальный уровень, так и минимальный сигнализируется у центральной распределительной доски при помощи звуковых и световых явлений. Каждый распределительный клапан снабжен ламповым указателем, находящимся у центральной распределительной доски, указывающим в какое отведение направляется угольная пыль.

Управление этими клапанами устроено электропневматическое и осуществляется от центральной распределительной доски. Как показал опыт годичной работы станции, такая централизация управления всеми механизмами никаких трудностей в работе не создавала. Экономия, полученная благодаря такой системе, в рабочей силе, — колоссальна. Для надзора и обслуживания всего оборудования требуется в смену только 3 человека.



1) экономайзер; 2) устройство для удаления золы; 3) котел; 4) уровень пола в подвале.

Фиг. 76. Продольный разрез котельного агрегата.

Как мы уже упоминали, в котельном здании установлены котлы Стерлинга, каждый поверхностью нагрева 1375 м^2 . Каждый котел снабжен пароперегревателем, помещенным между первым и вторым дымоходами с поверхностью нагрева в 198 м^2 . Позади каждого котла установлен отдельный экономайзер поверхностью нагрева в 712 м^2 . Дымосос соединен с газоходами таким образом, что движение газа возможно и через экономайзер и мимо него. Объем топочной камеры равен 311 м^3 , при чем этот объем считается от водяного экрана, расположенного над подом камеры и служащего для гранулирования

шлака. Поверхность водяного экрана, составленного из 4-х дюймовых труб, равняется 42 м².

Каждая топочная камера отапливается 6-ю форсунками, направляющими горючее вертикально сверху вниз. Каждая горелка снабжена отдельным питателем, при чем каждые 3 питателя снабжены общим групповым приводом. Мощность мотора, приводящего в движение каждую группу, = 7,5 лощ. сил. Передача от мотора к питателям цепная, при чем каждый питатель приводится в действие от фрикциона. Вся система привода такова, что регулировка может быть осуществлена в самых широких пределах, при чем в работу можно вводить форсунки как группами, так и каждую в отдельности. Первичный воздух, подаваемый через форсунку, составляет 35% всего количества воздуха, потребляемого для процесса горения. Остальные 65% подаются в виде вторичного воздуха через переднюю стенку футеровки, при чем предварительно этот воздух омывает топочную футеровку и в нагретом виде поступает в камеру. Зола и гранулированные шлаки собираются на наклонном поде, откуда при помощи автоматических заслонок удаляются в водяной канал и уносятся из котельной. Каждая группа из 3-х котлов обслуживается дымовой трубой, имеющей в свету в верхнем сечении 4 м. Битуминозный уголь, поступающий для отопления станции, имеет в среднем следующий состав: влажность 2%, летучих веществ — 23%, углерода — 64%, золы — 9%, серы — 2%; теплотворная способность — 7 500 кал. Антрацит имеет теплотворную способность около 6 000 кал.

Продольный разрез котельного агрегата дан на фиг. 76.

На нижепомещенной таблице приведены наиболее характерные данные описанной установки (табл. № 7).

Таблица 7.

Основные размеры и данные.

Площадь, занимаемая территорией станции	60 акров.		
	Размеры зданий в метрах.		
	Длина.	Ширина.	Высота.
Турбинный зал:			
Первая очередь	33,5	17	18,3
Полная установка	164	17	18,3
Котельное отделение:			
Первая очередь	33,5	38,5	24,5
Полная установка	164	38,5	24,5
	Турбины. отд.	Котельн. отд.	
Площадь пола здания, приходящаяся на 1 квт. м ²	0,014	0,0315	
Мощность установки:			
Двигатели: {	Первая очередь	2 турбины —	60.000 квт.
	Полная установка	6 » —	200.000 »
Котлы: {	Первая очередь	6 котлов —	8.250 м ²
	Полная установка	24 » —	33.000 м ²
Приходится на квт. мощности:			
Поверхн. нагрева в м ²	0,165		
Объем топочного пространства кажд. котла	311 м ³ .		
Отношение топочного объема к пов. нагрева	0,226		
В 1 м ³ топлива сжигается в час угля в кг	13,55		

Поверхность нагрева пароперегревателя в м. ²	198
Отношение между поверхн. нагрева пароперегревателя и котла.	1:7
Поверхность нагрева экономайзера м. ²	712 м ² .
Отношение между поверхностями нагрева экономайзера и котла.	0,49
Поверхность конденсатора турбины.	4.180 м ² .
Количество пара, производимое в 1 ч. в кгр.	127.000

Результаты испытаний работы установки даны в табл. № 8.

Таблица 8.

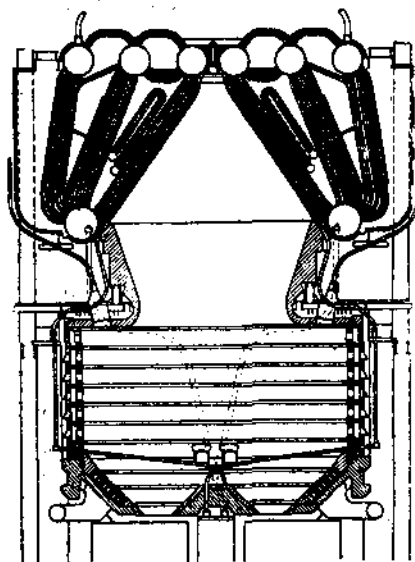
Результаты испытаний установки.

	Испытание I.	Испытание II.
Продолжительность испытания час.	72167	22517
Выработано квт.-час.	1932294	499096
Отпущено квт.-час.	1815861	467506
Затрачено на подсобные механизмы . . . квт.-час.	116884	32488
Израсходовано энергии на подготовку угля. пыли квт.-час.	14615	3630
Переработано угля в кг.	1 920000	238000
Испарено всего воды кг.	0600000	2640000
Средняя выработка энергии в час. . . . в квт.	26790	22200
Средняя отдача энергии в час. в квт.	25150	20800
Вольтаж на клеммах генератора.	13800	13820
Ампераж на 1 фазу	1220	1060
Теплотворная способность угля. кал.	7950	7975
Расход угля на 1 выработанный квт.-час. в кг.	0,476	0,477
Расход угля на 1 отпущенный квт.-час . . в кг.	0,505	0,510
Затрачено тепла на 1 отпущенный квт.-час в кал.	4000	4060
Испарительность угля.	11,05	11,11
Коэффициент полезного действия агрегата в %	92,9	89,4
Процент затраты энергии на вспомогательные механизмы в	6,43	6,94
Процент затраты отпускаемой энергии на приготовление пыли.	0,81	0,78
Потери на конденсацию пара в трубопроводе в %	2,94	2,78

II. Вторая, заслуживающая внимания, установка осуществлена на центральной станции Лак-Шоор, принадлежащей Клевелендской Компании Электрического Освещения. На этой станции работает на пылеобразном топливе с 23-го года 4 двойных котлов агрегата дан на фиг. 77. Каждый котел снабжен пароперегревателем поверхностью нагрева 420 м² и экономайзером в 2050 м². Объем топочной камеры равен 737 м³, поверхность водяного экрана в топке составляет 78 м². Горючее поступает в топку при помощи 16 плоских форсунок, по 8 форсунок с каждого из обоих фронтов котла. Углемольная установка состоит из 12 мельниц сист. Раймонда, производительностью каждая 5,5 тонны в час. Угольная пыль подается 12 вентиляторами, после прохода сепараторов, в котельные бункера, помещенные по одному фронту котлов, откуда половина пыли передается шнеками во второй ряд бункеров, питающий форсунки второго фронта. Каждая форсунка снабжена отдельным питательным червяком, приводимым

в действие одиночным мотором пост. тока мощностью 1,1 квт. Сушилки отсутствуют, т. к. уголь имеет влажность 3 — 4% (колебания влаги в угле происходят изредка в пределах от 2% до 9%). Расход мощности на 1 часовую тонну угольной пыли колеблется от 18 до 20 квт. Питательная вода перед поступлением в котел проходит водяной экран.

Шлаки гранулируются при помощи водяного экрана и, проваливаясь через зазоры между трубами экрана, попадают в спускные воронки в поде камеры. Около 65% воздуха необходимого для горения



Фиг. 77. Продольный разрез котельного агрегата с пылесжигательной топкой на ст. Лак-Шоор.

поступает в виде добавочного воздуха после того, как он обошел воздушную рубашку между топочной футеровкой и наружной обшивкой топки и, охладив футеровку, сам нагрелся. Толщина футеровки равна 230 м/м, такую же толщину имеет и воздушный прослой между огнеупорной футеровкой и наружной обшивкой камеры. Огнеупорная футеровка выложена из шамотных кирпичей с температурой размягчения 1418°. Затрата мощности на полное обслуживание каждого котельного агрегата выражается в 327,6 квт., что в среднем составляет 1,9% энергии, вырабатываемой котлом. Энергия, затрачиваемая на обслуживание топки котельного агрегата, складывается из следующих величин: размол и сепарация пыли 112 квт., подача вторичного воздуха 75 квт., транспортировка угля и пыли, а также обслуживание форсунок — 28,6 квт., дымовая тяга (экстаустером) 112 квт.. Для сжигания

применяется длиннопламенный уголь, примерно, следующего состава:

Влага	2,3%
Летучие вещества	35,4%
Твердый углерод	51,2%
Зола	11,1%
	100%

теплотворная способность угля — 6 950 кал.

Испытания, произведенные над работой котлов при различных нагрузках, дали результаты, приведенные в табл. № 9.

Напряжение одного куб. метра топочного пространства колеблется в пределах от 95 000 кал. до 118 000 кал.

Чрезвычайно интересно сопоставить результаты парадного испытания с теми эксплуатационными данными, которые получены станцией в процессе работы с июля 24 года по март 25 года.

Таблица 2.

Результаты испытаний пылесожигательных топок на центральной ст. Лак-Шор в Клевеленде.

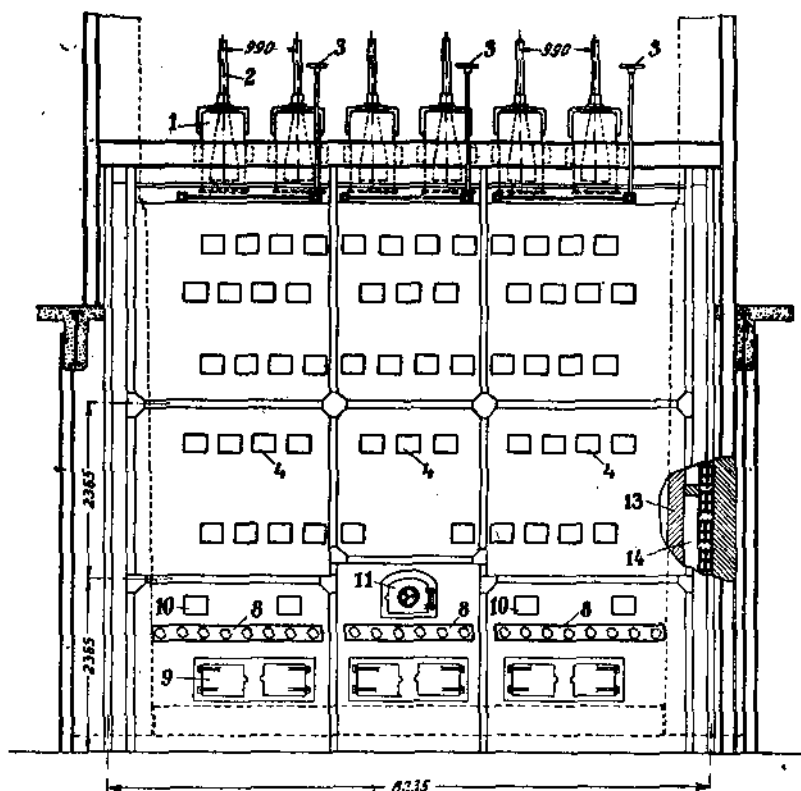
Продолжительность опыта в часах. .	26,45	22,03	24,53	30,27	24,98
Напряжение поверхности нагрева по нормальному пару кг/м ² /час. . .	13,4	20,0	26	34,5	38,5
Коэффициент полезного действия котла и пароперегревателя в % .	85,3	86,4	83,0	81,6	81,5
Тожж экономайзера в %	5,7	6,5	7,7	8,7	8,3
Полный коэффициент полезного действия агрегата в %	91,0	92,9	90,7	90,3	89,8
Потери в сухих дымовых газах в % .	2,6	3,6	4,2	4,7	5,8
Потеря в парах дымовых газов в % .	4,1	3,8	4,3	4,2	3,6
Остаточный член потерь (лучеиспускание, теплопроводность и т.п.) в %.	2,3	0,3	0,8	0,8	0,8
	100	100	100	100	100

Коэффициент использования топлива на ст. Лак-Шор по месяцам.

Месяцы.	Коэффициент брутто в %.	Коэффициент нетто в %.	Месяцы.	Коэффициент брутто в %.	Коэффициент нетто в %.
Июль 1924 г. . .	87,8	85,9	Ноябрь 1924 г. . .	90,0	88,2
Август 1924 г. . .	90,1	88,2	Декабрь 1924 г. . .	89,4	87,4
Сентябрь 1924 г. . .	91,4	88,3	Январь 1925 г. . .	90,9	88,9
Октябрь 1924 г. . .	88,4	86,8	Февраль 1925 г. . .	90,0	88,2
			Март 1925 г. . .	88,8	86,8

Определение коэффициента брутто производилось путем систематического взвешивания угля, поступающего в производство, и измерения воды, идущей на парообразование. Сопоставляя коэффициент полезного действия брутто, полученный в среднем за 9 месяцев, с коэффициентом полученным при испытании, мы видим, что между их величинами почти нет различия. Это обстоятельство чрезвычайно важно отметить, ибо оно свидетельствует об очень большом преимуществе пылесожигательной топки. Обычно, между парадным испытанием, при всякой другой топочной системе, и нормальными условиями производства всегда существует разница в сторону пре-

вышения коэффициента полезного действия, полученного при парадном испытании, над коэффициентом производственным. Эта разность, обычно, колеблется в пределах 5--6%. Она вполне объяснима, ибо при всякой другой системе топки экономический эффект горения в значительной степени зависит от умения и тщательности работы кочегара. Пылесожигательная топка этой разницы давать не должна, ибо роль кочегара здесь сведена до минимума. Топка является вполне автоматическим механизмом. Вышеприведенное сопоставление цифр вполне это подтверждает. Разность между брутто и нетто коэф-



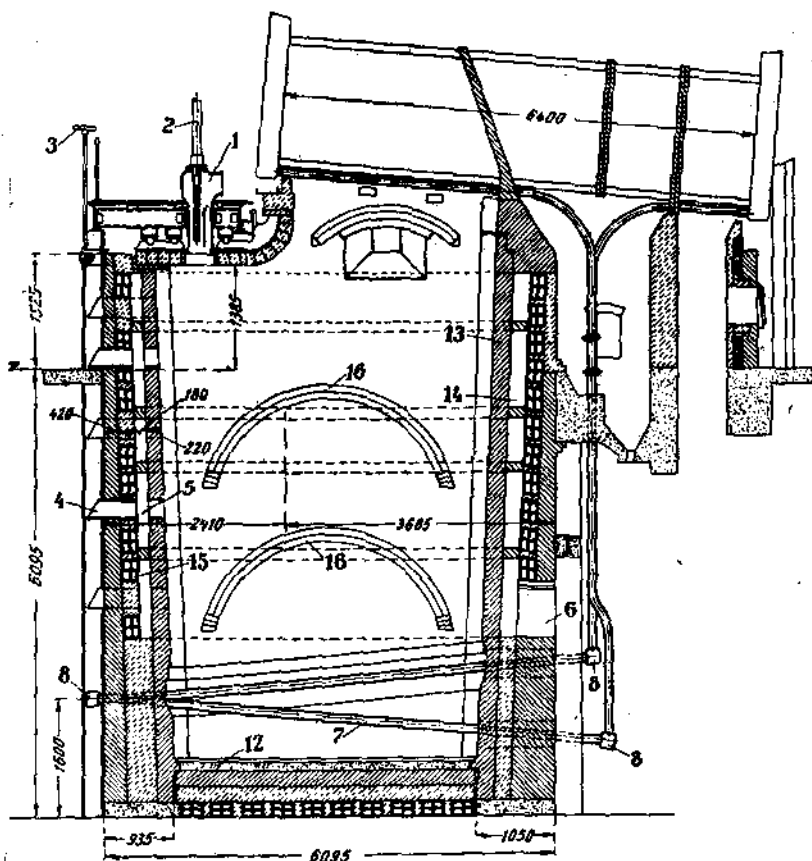
1) форсунки, 2) подача угольной пыли, 3) привод для клапанов вторичного воздуха, 4) клапаны для регулирования вторичного воздуха, 5) охлаждательная рубашка, 6) отверстие для выпуска вторичного воздуха, 7) система охлаждающих труб, 8) коллектор, 9) шлаковые двери, 10) и 11) смотровые люки, 12) подкамеры, 13) огнеупорная футеровка, 14) охлаждательная воздушная рубашка, 15) изоляция, 16) своды.

Фиг. 78. Пылеугольная топка водотрубного котла Эдже-Моор по 1240 м².

фициентами слагается из затрат энергии на подготовку пыли, транспортировку ее и создание тяги.

III. Чрезвычайно интересны данные относительно работы пылесожигательной установки на центральной станции Лаксайда, эксплуатируемой «Обществом электрических трамваев и освещения в Мильвоки». Эта станция, мощностью в 200.000 квт., является до некоторой степени пионером в деле пылесожигания. Описание ее устройства дано в книге

Мюнцингера ¹⁾. Первая очередь постройки этой станции была закончена 15 декабря 1920 г. Первоначально были установлены 8 котлов системы «Эдже-Моор», каждый по 1.240 м². Котлы следующих очередей имеют большую поверхность нагрева. В настоящее время на станции работают 16 паровых котлов, из которых 8 по 1.240 м² и 8 по 1.700 м².



- 1) форсунки, 2) подача угольной пыли, 3) привод для клапанов вторичного воздуха, 4) клапан для регулирования вторичного воздуха, 5) охлаждающая рубашка, 6) отверстие для выпуска вторичного воздуха, 7) система охлаждающих труб, 8) коллектор, 9) плачковые дверцы, 10) и 11) смотровые люки, 12) подкамеры, 13) огнеупорная футеровка, 14) охлаждающая воздушная рубашка, 15) изоляция, 16) своды.

Фиг. 79. Пылеугольная топка водотрубного котла Эдже-Моор по 1240 м².

Средний коэффициент полезного действия всей котельной установки равняется для времени нагрузки станции 85,78%. Если принять во внимание часы остановок, то полный коэффициент полезного действия котельной установки равняется 84,74%. Среднее напряжение поверхности нагрева при этом равно 18.333 калорий на квадратный

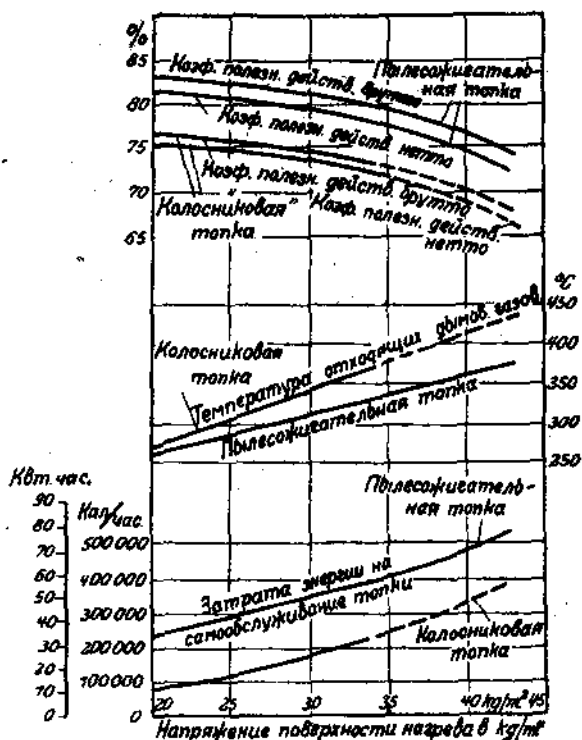
¹⁾ Мюнцингер. «Пылесожигательные топки в стационарных паровых котлах», стр. 89—93, стр. 105—107.

метр в час, или $28 \text{ кг./м}^2 \text{ час}$. Напряжение поверхности нагрева колеблется в пределах $26 - 47 \text{ кг./м}^2 \text{ час}$ по нормальному пару. Затрата энергии на одну часовую тонну угольной пыли составляет 20 киловатт. Котлы второй очереди отличаются по устройству пылесожигательных камер от котлов первой очереди тем, что, во-первых, наружная обмуровка топочной камеры заменена обшивкой из железных листов, имеющих на внутренней поверхности изоляционный слой из кизельгура толщиной в 110 м./м. ; во-вторых, под камеры устроен не горизонтально, а с наклоном в 38° для более удобного удаления

зола и шлаков, и, в-третьих, вдоль задней стенки камеры расположена $\frac{1}{8}$ поверхности нагрева пароперегревателя. На фиг. 78-й и 79-й дан продольный разрез и фронт топочной камеры котла в 1.240 м^2 .

На таблице № 10 нами приводятся основные эксплуатационные данные котельной установки на станции в Лаксайте.

Если сопоставить эти эксплуатационные данные, полученные по месяцам путем систематического взвешивания сжигаемого топлива и учета отпускаемого пара, с результатами парадных испытаний, приведенных в книге Мюнцингера¹⁾, то обращает на себя внимание



Фиг. 80. Диаграмма параллельного испытания двух котлов Стерлинга по 765 м.^2 с механической колосниковой топкой и пылесожигательной топкой.

мание чрезвычайно близкое совпадение коэффициентов полезного действия. У Мюнцингера коэффициент полезного действия котельного агрегата, без учета самопотребления энергии топкой, составляет около 90-91%. Если эту величину коэффициента уменьшить на величину самопотребления топки, то получится коэффициент полезного действия нетто 87-88%. Из приведенной таблицы мы видим, что за июнь, июль и сентябрь эксплуатационные коэффициенты полезного действия составляют: 86,63%, 86,81% и 86,17%. Таким образом, между парадным испытанием и эксплуатационными данными получается разница

¹⁾ Мюнцингер. «Пылесожигательные топки в стационарных паровых котлах», таблица № 14, русск. перевод.

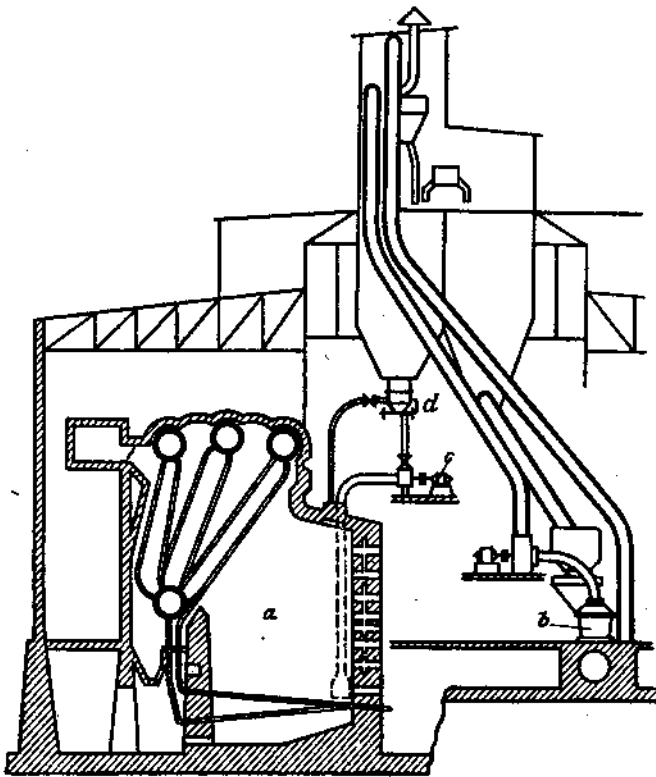
Таблица 10.

Эксплуатационные данные за 9 месяцев 1923 г. котельной установки на станции Лаксайде в Мильвоки.

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Уголь.									
Расход угля в тоннах	20 191	19 811	19 092	19 080	19 685	18 025	18 076	19 196	19 285
Влажность в %	7,31	11,70	8,87	9,24	10,39	8,60	4,41	4,66	5,46
Содерж. золы в %	11,28	12,60	11,24	11,70	8,91	9,35	11,26	11,55	11,61
Содерж. серы	2,07	3,10	1,79	2,08	1,92	2,41	1,95	2,09	2,05
Теплотворн. способн. калор./кг.	6 640	6 000	6 400	6 340	6 400	6 500	6 900	6 840	6 770
П а р.									
Количество пара в тоннах	152 730	135 780	138 794	137 229	142 158	137 469	147 278	151 130	152 520
Давление кг/см ²	20,18	20,3	21,2	21,1	21,1	21,4	21,8	21,7	21,9
Перегрев в °C	85	85	85	88	85	83	83	86	86
Температ. пит. воды °C	57	57	57	58	59	60	64	69	68
Использован. тепла.									
Нагр. пов. нагр. кал/м ² час.	17 906	17 907	16 707	17 034	17 634	17 067	17 589	30 132	18 524
Коэфф. полезн. действия котла, топки, перегрев. и экономайзера в %	84,12	83,72	83,48	83,94	83,09	85,51	85,69	83,86	85,13
Тоже за время фактич. отдачи пара в %	84,92	84,47	84,97	84,89	84,03	86,63	86,81	84,87	86,17
Отношен. простоя котлов к времени их раб. в %	21,35	18,40	19,71	19,55	19,66	19,74	19,74	19,57	20,32

около 1%. Это свидетельствует еще раз о том, что пылесожигательная топка чрезвычайно мало зависит от сноровки и навыка кочегара. Механическая колосниковая топка дает обычно разницу между парадным испытанием и эксплуатационными данными, даже при умелых кочегарах, около 5 — 6%. Также обращает на себя внимание ничтожная величина потерь на простой и растопку котлов. При работе котлов около 20 часов в сутки затрата тепла на растопку не превышает 1%.

IV. Чрезвычайно интересны эксплуатационные данные пылесожигательной установки, полученные на центральной станции Бруно-Ай-



а) топочная камера, б) мельница, в) вентилятор, г) повод угольной пыли.

Фиг. 81. Пылесожигательная топка при котле Стерлинга в 765 м² на ст. Бруно-Айсланд.

сланд, принадлежащей о-ву электрического освещения Дунквеш. Этому о-ву принадлежит станция Кольфакс, где установлено 3 турбогенератора по 60.000 квт. Котлы на этой станции системы Бабкок и Вилькоккс по 2.660 м² каждый. Рабочее давление 19,3 атм. Температура пара 330°. Пылесожигательные топки установлены обществом «Combustion Engineering» конструкции Лопулько. Пылесожигательная камера снабжена 14 форсунками того же конструктора. Топочная футеровка охлаждается воздухом, омывающим ее со всех сторон и поступающим в дальнейшем в качестве вторичного воздуха в топочную камеру. Перед установкой в Кольфаксе метод пылесожигания был детальнейшим образом исследован на станции Бруно-Айсланд. Для этого в августе 1922 г. один котел системы Стерлинга поверхностью нагрева 765 м², снабженный пароперегревателем в 24 м², был переведен на пылесожигание. Объем топочной камеры этого котла равняется 105 м³. Для изготовления пыли служит мельница системы Раймонд. Форсунка применена системы Лопулько. Топочная камера снабжена водяным экраном поверхностью в 15 м² для

Пылесожигательная камера снабжена 14 форсунками того же кон-

гранулирования шлаков. Впоследствии поверхность нагрева пароперегревателя была увеличена до 96 м². В течение длительного периода производилось параллельное испытание котла с механической колосниковой топкой, при максимальной нагрузке в 34 кг/м² и с пылесожигательной топкой, при нагрузке котла от 21 до 43 кг/м² час. Результаты этого параллельного испытания даны на диаграмме фиг. 80.

Нужно иметь в виду, что тонина помола, применяемая на станции Бруно-Айсланд, соответствует около 40% остатка на сите с 6.400 петель.

Из диаграммы (фиг. 80) получаются следующие выводы: 1) пылесожигательная топка повысила производительность котла на 41,5%; 2) пылесожигательная топка повысила суммарный коэффициент полезного действия на 10%; 3) температура отходящих газов при пылесожигательной топке значительно ниже, чем при колосниковой топке.

Кроме специальных, параллельных испытаний на Бруно-Айсланде производятся систематические подсчеты эксплуатационных результатов работы пылеугольной топки по месяцам. Теплотворная способность угля в среднем равна 7200 калорий. Температура питательной воды колеблется в пределах 68 — 100°. Напряжение топочного пространства колеблется в пределах 90000 калорий/м³ час. — 234.000 кал./м³ час. При этих условиях коэффициент полезного действия нетто колеблется в пределах от 77,2% до 81,8%. Результаты ежемесячных учетов приведены на нижеследующей таблице:

Таблица 11.

Величины отдачи и коэффициентов полез. действия котла Стерлинг по месяцам.

Месяцы.	Средние величины.			Месяцы.	Средние величины.		
	Паропрониз. кг./м. ² час.	Температура отходящих газов в ° С.	Коэффициент полезного действия в %		Паропрониз. кг./м. ² час.	Температура отходящих газов в ° С.	Коэффициент полезного действия в %
1922 г.				1923 г.			
Сентябрь . . .	24,4	300	79,2	Август . . .	21,8	265	80,6
Октябрь . . .	26,4	308	77,2	Сентябрь . . .	23,4	269	80,0
Ноябрь . . .	27	303	78,4	Октябрь . . .	25,7	275	80,7
Декабрь . . .	25,8	306	77,2	Ноябрь . . .	25,7	277	79,9
				Декабрь . . .	22,8	274	81,8
1923 г.				1924 г.			
Январь . . .	28	315	77,2	Январь . . .	24,8	268	80,9
Февраль . . .	27,4	310	78,6	Февраль . . .	24,3	269	79,6
Март . . .	28,7	318	78,7	Март . . .	24,3	230	77,4
Апрель . . .	22,4	260	81,1	Апрель . . .	24	259	80,8
Май . . .	22,4	260	81,1	Май . . .	26,3	267	80,1
Июнь . . .	23,2	260	80,7				
Июль . . .	23,2	262	81,7				

Как сообщает отчет станции, помещенный в журнале Power ¹⁾, пылесожигательная топка требует при высоких напряжениях по-

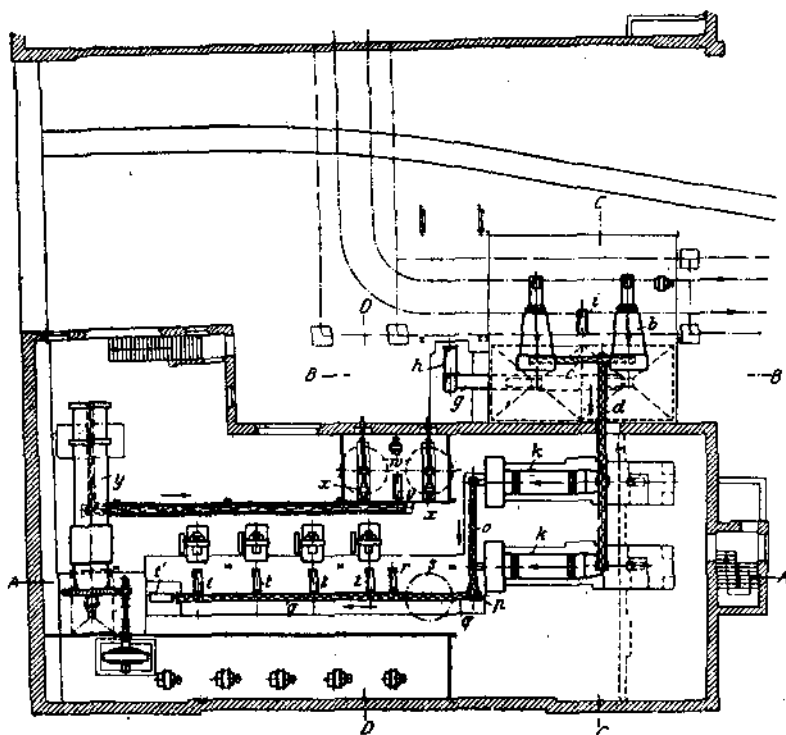
¹⁾ Power 14 октября 24 г., стр. 600.

верхности нагрева меньше ремонта, чем механическая колосниковая. Далее, администрация станции отмечает, что осаждение шлаков и золы на поверхности нагрева котла при пылесожигательной топке меньше, чем при колосниковой топке. Тяга при пылесожигательной топке требуется меньшая, чем при механической топке. Благодаря этому затрата энергии на образование тяги понижается. Как показали измерения, при тяге в 25 м/м водяного столба, котел удалось форсировать до 47 кг/м² час. Величина α колеблется в пределах 20—30%. Содержание углекислоты в топочной камере колеблется в пределах 14—15,7%.

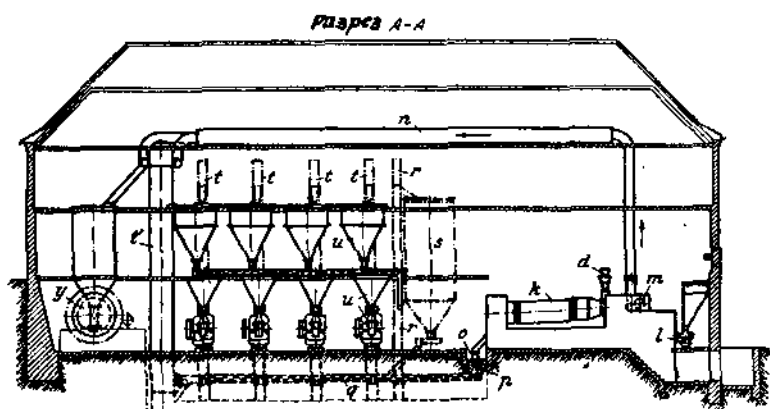
V. На центральной электрической станции, принадлежащей обществу газового освещения С.-Пауль, предусмотренной на предельную мощность в 75.000 квт., в конце 1924 года было закончено оборудование первой очереди в 25.000 квт. Котельное оборудование этой станции состоит в настоящее время из 3-х водотрубных котлов системы Гайне, каждый по 970 м². Пылесожигательная установка произведена обществом «Combustion Engineering». Давление в котлах равно 13,4 атм.; температура перегретого пара 350° С. Уголь поступает в бункер, откуда самотеком проходит через 2 камерных сушилки системы Лопулько, каждая по 13,4 м². Здесь уголь высушивается с 6,2% влаги до 2,7%. Для сушки применяются отходящие дымовые газы, вступающие в сушилку, при температуре в 170° С. Количество газа, идущего на сушку, равняется 710 м³ в 1 минуту. Вентилятор, прогоняющий этот газ через сушилки, потребляет 50 лоша. сил. Размол производится на 2-х мельницах, системы Раймонд, приводимых в действие 2-мя электромоторами по 100 лоша. сил. Угольная пыль при помощи эксгаустеров подается в 2 последовательно установленных циклона, из коих первый имеет диаметром 2,1 м., а второй 1,2 м. Каждый эксгауستر приводится в действие мотором, мощностью в 75 лоша. сил. Из циклона угольная пыль, при помощи червячных транспортеров, поступает в 3 бункера, каждый вместимостью 70 тонн. Сжигание угольной пыли производится в каждой камере при помощи 6 форсунок, приводимых в действие мотором в 3 лоша. силы. Первичный воздух перед поступлением в форсунки просасывается через воздушный прослоек над сводом топки и, нагреваясь здесь на 28°, направляется для сжигания. Мощность моторов, приводящих в действие вентиляторы, просасывающего этот воздух, равна 75 лоша. сил. Добавочный воздух поступает в топку через 56 отверстий размером 225 × 260 м/м. в передней стенке футеровки. Перед поступлением в топочную камеру этот воздух проходит через каналы шириною в 225 м/м., омывая стенки футеровки. Присасывается воздух через 7 отверстий в наружной обмуровке топки. Каждое отверстие размером 406 × 530 м/м. снабжено задвижкой для регулировки притока воздуха. Присос добавочного воздуха производится тягой дымовой трубы. Обшивка топки сделана из железных листов, выложенных на внутренней поверхности слоем кизельгура толщиной в 100 м/м. Объем топочной камеры равен 210 м³. Для гранулирования шлаков служит водяной экран поверхностью нагрева 27,2 м², составляющий часть поверхности нагрева парового котла. Шлаки и зола попадают в воронкообразную нижнюю часть топочной камеры, откуда удаляются через отверстие, обращенное к заднему

фронту котла. Не располагая детальными данными относительно эксплуатации котлов, мы можем только указать, что средний рабочий коэффициент полезного действия котельной установки равен приблизительно 80%, и расход угля, при теплотворной способности 7000 калорий, составляет 0,654 килограмма на один киловатт/час.

VI. Из германских установок мы считаем необходимым дать краткое описание пылеугольного отделения, оборудованного на берлинской централи в Моабите. На фиг. 84 дан план и четыре разреза подготовительного отделения на вышеуказанной станции. Это подготовительное отделение, с общей производительностью 14—16 тонн в час, обслуживает 5 котлов с общей поверхностью нагрева в 2200 м². Все котельное отделение станции имеет 20 котлов по 440 м². Котлы, отапливаемые угольной пылью, служат для снятия пиков станции. Для изготовления пыли служит угольная мелочь, являющаяся отходом каменного угля, идущего на сжигание в колосниковых топках. Несортированный уголь электрическими вагонетками по подвесной линии поступает в 2 бункера (разрез В—В) а—а. Отсюда уголь падает самотеком в два сетчатых барабана b—b, при чем угольная мелочь при помощи шнеков с и d идет на помол, а отсортированный кусковой уголь падает в 2 бункера e—e и, при помощи питателей f—f, трясучки g и элеватора h, подается навёрх к вагонеткам подвесной дороги, которые доставляют его к бункерам котельной для колосниковых топок. Угольная мелочь из шнека d падает в 2 барабанные сушилки, пройдя которые сыпается в шнек o и через магнитный аппарат p поступает в распределительный шнек q. Из этого шнека уголь направляется к пяти карманным элеваторам, подающим его на помол. По пути следования угля в шнеке q имеется запасный бункер s, куда, в случае заполнения мельниц, отводится излишнее количество угля. Если подача из сушилок недостаточна, то пополнение питания мельниц осуществляется путем добавления угля из бункера s. Из распределительного шнека q уголь при помощи элеваторов t—t¹ подается в мельничное устройство. Устройство мельничного оборудования видно на разрезе D—D. Элеватор t подает уголь в сепаратор, где пыль, отделяясь от остальной массы, сыпается непосредственно в отводящий пылепровод. Уголь идет самотеком в трехвальцевую мельницу, из которой готовая пыль эксгаустером перегоняется в вышеупомянутый сепаратор. Здесь вновь происходит разделение пыли на тонкую, идущую в дальнейший пылепровод, и более грубую, вновь поступающую на размол. Угольная пыль собирается из всех 4-х трехвальцевых мельниц и трубчатой мельницы u в один общий червячный транспортер, откуда при помощи карманного подъемника v она поступает в 2 бункера w. Подача угольной пыли в котельную производится насосами x—x, установленными под бункерами w. Производительность каждой из барабанных сушилок равна 3 тоннам угля в час. Уголь высушивается в них с 10% начальной влажности до 1,5% конечной влажности. Производительность каждой из трехвальцевых мельниц системы «Максекон» равна 1800—2000 кг./час, при тонине помола 12% остатка на сите с 4900 петель. Производительность трубчатой мельницы равна при тех же условиях 8000 кг./час.



Фиг. 82 а.

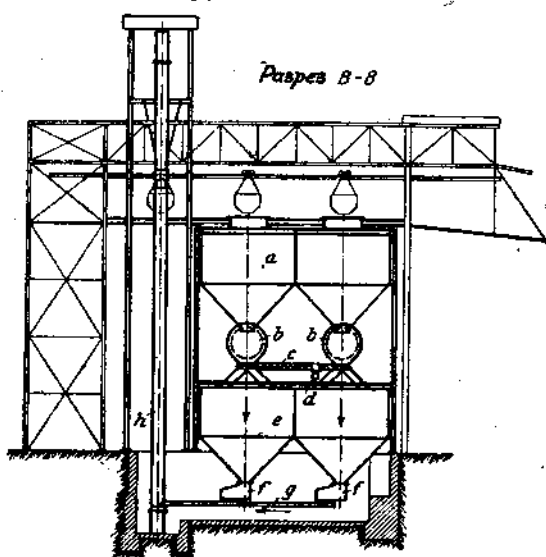


а—угольный бункер; б—сетчатый барабан; с и д—шнеки для угольной мелочи; е—бункер для сортированного угля; ф—питательный аппарат; г—трисухка; и—элеватор для подъема сортированного угля; л—добавочный элеватор; к—сушилка; т—тонка сушилки; м—вентилятор для отсасывания дымовых газов из тонки; п—трубопровод для газов; о—шнек для просушенного угля; р—электромагнитный аппарат; q—распределительный шнек; г—элеватор; s—запасный бункер; i—элеваторы; u—грейпальцевые мельницы; v—подъемник для пыли; w—бункера для пыли; x—насосы; y—трубчатая мельница.

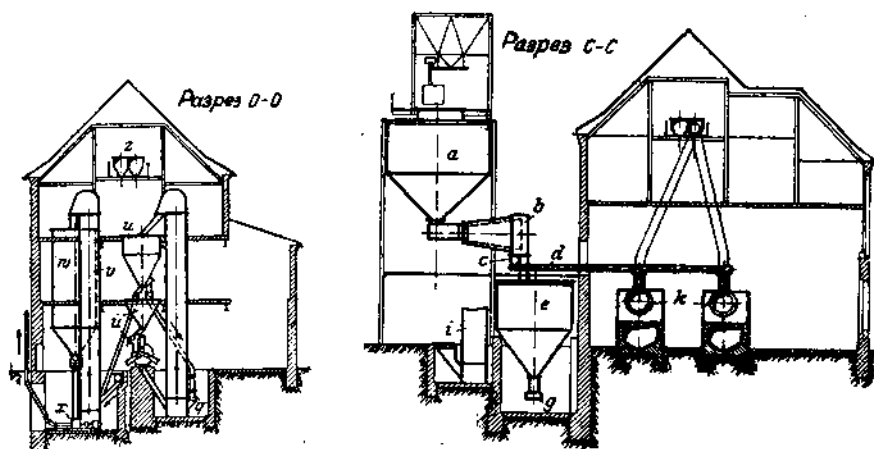
Фиг. 82 б.

VII. Нам уже приходилось в предыдущем изложении излагать принципы конструкции топочной камеры на руднике «Консолидация» по проекту инженера Райзера. Та топочная камера, которая фактически осуществлена в котельной рудника, несколько отличается от проекта инженера Райзера. На фиг. 85 дан разрез и план осуществленной топочной камеры.

Данные относительно испытания этой пылесожигающей установки, произведенные в апреле 1925 г., приведены в табл. № 12. Испытание производилось обществом надзора за паровыми котлами Дортмунского района. Мельница, перемалывавшая уголь, представляет собою старую модель ударных



Фиг. 82 с.



а—угольный бункер; б—сетчатый барабан; с и d—шнеки для угольной мелочи; е—бункер для сортированного угля; f—питательный аппарат; g—трисучки; h—элеватор для подъема сортированного угля; i—добавочный элеватор; k—сушилка; l—топка сушилки; m—вентилятор для отсасывания дымовых газов из топки; n—трубопровод для газов; o—шнек для просушенного угля; p—электромагнитный аппарат; t—элеваторы; u—трехвальцовые мельницы; v—подъемник для пыли; w—бункера для пыли; x—насосы; y—трубчатая мельница.

Фиг. 82 d.

Фиг. 82 e.

Фиг. а, б, с, d, е. Угледомольное отделение на централи в Моабите Берлинского городского электрического о-ва.

Таблица 12.

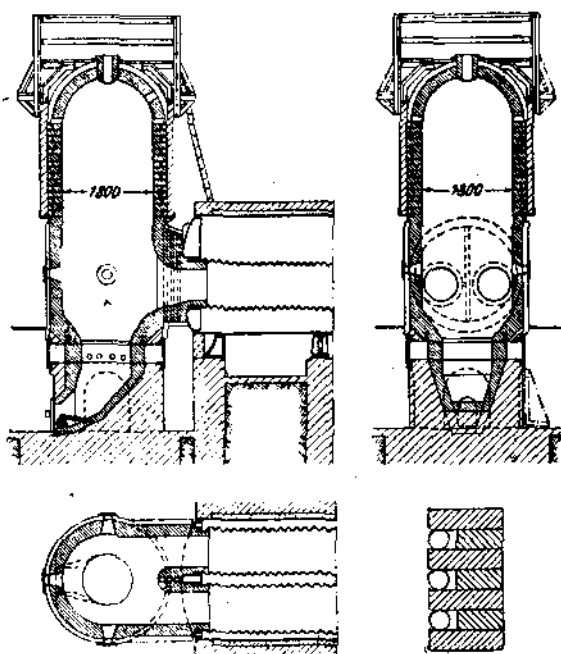
Результаты испытания пылесосигнательной топки на шахте «Консолидация».

	Испытание № 1	Испытание № 2
Дата испытаний	23/IV-25 г.	24/IV.25 г.
Продолжительность испытания в часах	3	8
Поверхность нагрева котла в м ²	100,75	100,75
Поверхность нагрева пароперегревателя в м ²	35	35
Объем топочной камеры в м ³	14	14
Топливо.		
Органическая часть в %	—	83,18%
Влажность в %	—	3,82
Зола в %	—	13
Теплотворная способность в кал.	—	6660
Сожжено всего в кгм.	950	4200
Сожжено в 1 час. в кгм.	316,7	306
Количество шлаков в кгм.	—	40
Остаток не сгоревшего угля в %	—	1,7
Остаток горючего в уносе в %	—	2,46
Питательная вода.		
Испарено всего в кгм.	8267	17800
" в 1 ч. в кгм.	2756	2225
Снято с 1 м ² поверхности нагрева в 1 ч. в кгм.	27,35	22,08
Температура воды перед подогревателем в °С	61	45
Температура воды за подогревателем в °С	89	99
Пар.		
Манометрическое давление в котле в атм.	5,2	6
Температура пара после пароперегревателя в °С	306	325
Теплота парообразования в кал.	676	701
Дымовые газы.		
Температура воздуха в котельной в °С	24	25
Температура подогретого воздуха в °С	60	60
Температура в топочной камере впереди в °С	1400	1355
Температура в топочной камере сверху	1400	1490
Температура газа в конце жаровой трубы в °С	557	687
Температура в борове в °С	280	300
Содержание СО ₂ в конце жаровой трубы в %	—	17
Содержание кислорода в конце жаровой трубы в %	—	1,7
Содержание СО ₂ в борове в %	12,6	13,3
Содержание кислорода в борове в %	6,1	5,6
Величина α	1,4	1,36
Тяга в топке в м/м водяного столба	4	4
Тоже в борове в м/м в ст.	10	10
Давление, под которым добавочный воздух поступает в камеру в м/м вод. столба	10	25
Количество воздуха, поступающего в 1 час. в м ³	1620	1780
Результаты.		
1 кгм. топлива выпаривает воды в кгм.	8,70	7,42
Тоже по нормальному пару	9,19	8,12
Снято пара с 1 м ² поверхности нагрева по нормаль- ному пару в 1 час. кгм.	28,80	24,19

Баланс тепла	Кал.	%%	Кал.	%%
Утилизировано в котле	—	—	4175	62,69
» перегр.	—	—	623	9,35
» в змеевике.	—	—	400	6,01
Всего.	—	80%	5198	78,05
Потери в дымов. газех	—	13,21	895	13,44
» остальные.	—	6,79	567	8,51
	—	100	6660	100

мельниц системы Вальтер Фарнер с часовой производительностью в $\frac{1}{2}$ тонны.

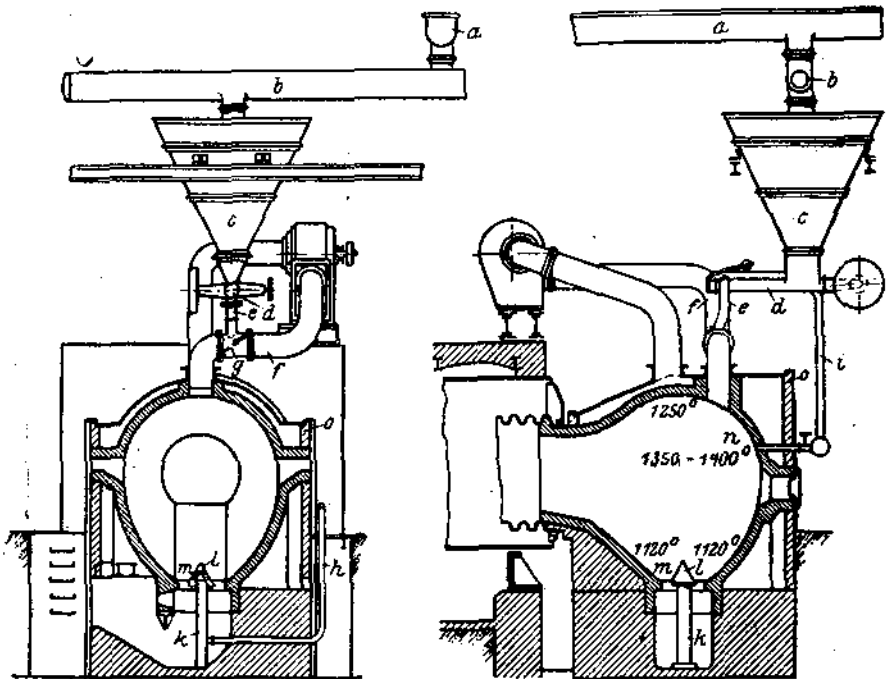
VIII. Значительный интерес представляет собою индивидуальная установка при ланкаширском котле на руднике «Фридрих - Эрнестина». Интересна эта установка, во-первых, в том отношении, что она является пионером пылесожигательного дела в Германии, во-вторых, здесь было произведено большинство чрезвычайно плодотворных опытов инженером Шульте и, наконец, конструкцией топочной камеры, в значительной степени отличающейся от американских образцов. Устройство топочной камеры и подвод к ней воздуха и пыли видны из фиг. 84. Сама топочная камера имеет грушеобразную форму. Угольная пыль производится трехвальцовою мельницей. Из сепаратора этой мельницы она поступает к питательному шнеку, при чем пыль либо непосредственно подается этим шнеком к форсунке топки, или предварительно поступает в бункер и уже из послед-



Фиг. 83. Продольный и поперечный разрез и план топочной камеры при ланкаширском котле поверхностью нагрева в 100,75 м² с пароперегревателем, поверхностью нагрева в 35 м², установленном на руднике Консолидации.

него подается к топочной форсунке. Пыль, подаваемая шнеками а и б, попадает в промежуточный бункер с, откуда при помощи питателя d она поступает по трубе к смесителю.

Грушеобразная форма топочной камеры выбрана была вследствие того, что: 1) она дает чрезвычайно выгодные условия концентрации лучистой теплоты в зоне горения; 2) она устраняет существование мертвых углов и в 3) является наиболее экономной с точки зрения затраты огнеупорных материалов. Подвод вторичного воздуха осуществляется частично снизу, при чем воздух притекает по трубкам



а и б—шнековые транспортеры, с—промежуточный бункер, d—питательный червяк, e—труба для подвода угольной пыли, f—воздушный трубопровод, g—регулирующий клапан, h—Трубопровод для добавочного воздуха, k—тоже, l—шамотный клапан, m—отверстие для выпуска шлаков, n—воздушные каналы, o—обмуровка топочной камеры.

Фиг. 84. Пылесожигательная топка при жаротрубном котле на руднике «Фридрих-Эрнестина».

h и k и вступает в камеру через конус l. Такой способ подвода дает чрезвычайно интенсивное перемешивание пыли с воздухом и предохраняет, при малом объеме камеры, преждевременное выпадение угольных частиц на дно ее. Остальная часть вторичного воздуха поступает по трубе i и по каналам n через фронт камеры. Как нижний, так и боковой, подвод вторичного воздуха способствует сильному перемешиванию горючего с кислородом и образует воздушные потоки, изолирующие футеровку топочной камеры от действия шлаков и высокой температуры. Благодаря этому футеровка топочной камеры становится более долговечной. Как первичный, так и добавочный, воздух поступает в камеру при температуре 140 — 150°. Он нагревается в воздушной рубашке, окружающей топочную футеровку, охлаждая при этом

последнюю. Насколько удачны, как конструкция топочной камеры, так и способ подвода воздуха, можно судить по тому, что по истечении 4 500 рабочих часов, футеровка камеры оказалась совершенно неповрежденной. При сравнении расхода угля в пылесожигательной топке с топкой колосниковой выясняется из эксплуатационных данных, что практическая экономия, полученная при пылесожигательной топке, равна 30%.

IX. За последнее время в Америке, наряду с громадными центральными установками, появилось значительное количество индивидуальных установок. Одна из таких установок на станции «Ашлейстрит» представляет некоторый интерес в смысле эксплуатационных данных и способа обмуровки топочной камеры. Установка произведена при водотрубном котле поверхностью нагрева в 520 м^2 . Котел снабжен пароперегревателем, а экономайзер, поверхностью нагрева в 640 м^2 , обслуживает 2 рядом находящихся котла. Мельница принадлежит к конструкции ударных и дает довольно грубый помол. Уголь поступает в размол без предварительной подсушки с содержанием влажности около 12% и золы около 13%. Тонина помола соответствовала 65% остатка на сите с 6200 петель и 21,5% остатка на сите с 1550 петель. Объем топочной камеры равен 106 м^3 и в одном кубическом метре топки сжигается 30 кг. пыли, что приблизительно соответствует $180000 \text{ кал./м}^3 \text{ час.}$ Чрезвычайно оригинально устроена топочная камера. Футеровка пода и двух боковых стенок изготовлены из чугунных кирпичей, охлаждаемых трубчатыми батареями с циркулирующей в них водой. В апреле 1925 г. было произведено 2 испытания этой установки, которые, по сообщению Power'a (от 30 июня 1925 г.), дали следующие результаты: при сжигании угля с теплоотворной способностью в 6 000 кал., при отдаче котла в $47 \text{ кг./м}^3 \text{ час.}$, при влажности угля 11,7%, суммарный коэффициент полезного действия котла, топки, перегревателя и экономайзера равнялся 82,9%. При всех тех же условиях и отдаче $23 \text{ кг./м}^3 \text{ час.}$ коэффициент полезного действия равнялся 85,4%.

X. В заключение мы приведем данные относительно испытания донецких тощих углей и донецкого антрацитового штыба на пылесожигательной установке на заводе «Всеобщей компании электричества» в Геннигсдорфе возле Берлина. Уголь, просушенный до содержания влаги менее 0,5%, перемалывался на трубчатой мельнице, типа тяжеломолов, и при помощи пневматического насоса, типа «Кенион Фулер», подавался по 80-миллиметровым трубам к котельной установке на расстоянии 500 м. Котел, при котором оборудована пылесожигательная топка, представляет собою старый двухкамерный водотрубный котел системы «Борзиг», поверхностью нагрева 197 м^2 . Топочная камера снабжена водяным экраном для гранулирования шлаков, помещенным на 1,2 м над подом котла. Этот экран составляет часть поверхности нагрева котла. Тощий уголь поступал в обработку при содержании влажности 2,02%. Просушивание производилось отходящими дымовыми газами, поступавшими в сушилку при температуре 142°С и оставлявшими ее при температуре 70°С . Затрата энергии при перемолке тощих углей на приведение в действие сушилки, мельницы и транспортных приспособлений составляла $27,2 \text{ квт./тон. час.}$ Тонина помола соответствовала для тощих углей 19,04% остатка

Таблица 13.

Сводка результатов испытания пылевидного сжигания тощих углей под котлом п. н. 197 кв. мтр. с пароперегревателем в 53 м² и экономайзером 160 м² на заводе Всеобщ. К-о Электр.

Февраль-март 1925 г.

Продолжительность	Часов	8	
Котел № и система		Водотрубные горизонтальные «Борзиг»	
Поверхность:			
нагрева котла	М ²	Нк	197
» перегревателя	М ²	Нпер.	53
» экономайзера	М ²	Нэк	160
Системы топки			Пылеугольная топка АЕГ с горелкой АЕГ Угольная пыль
Топливо			
Химический анализ.			
Влаги	%	W	0,46
Золы	%	A	4,78
Углерода	%	C	86,22
Водорода	%	H	3,70
Кислор. + Азота	%	O+N	4,20
Серы	%	S	0,64
			<u>100,00</u>
Теплотворн. способность	cal		8095
Расход за весь опыт	Kg	B	3551,0
» » „ час	Kg	Bч	443,9
Пар.			
Среднее давл. пара	atm	Pk	13,0
Темп пер. пара	°C	t _п	260,0
Вода.			
Испарено воды за время опыта	Kg	D	38124,5
Испарено воды за час	час	Dч	4765,6
Средн. т-ра перед котлом	°C	t ³ пит	50,2
Видимое напряжен. пов. нагр. брутто	kg m ²	Dч Hk	24,20
Нетто			24,74
Видимая испарительн., брутто	kg	D B	10,73
Испарительн. способность нетто	kg kg kg	D B	10,98
Газы.			
Состав газов за котлом	%	Co ₂	15,58
Содержание	%	Co ₂ +O ₂	19,6
Средняя т-ра газов за котлом	°C	Tk	232
Воздух.			
Темп. возд. в котельной	°C		27
Избыток воздуха за котлом		α	1,235
Тяга.			
У заслонки котла	мм. в. ст.	Sk	7,0

Баланс тепла.

Положено тепла в:		
котле.	cal	665,5 — 50,2 = 615,3
пароперегревателе.	cal	703,8 — 665,5 = 38,3
экономайзере	cal	50,2 — 19,3 = 30,9

Для котла и перегревателя.

Без экономайзера.		cal	%
Горючее содержало	Q раб.	8095 ¹⁾	100
Поглощено котлом		6610	81,64
» перегреват.		411	5,08
Термич. к. п. д.	cal η	7021	86,72
Потери дымов. газами		745	9,21
Потери горючего в осевш. шлаках и в уносе.		14	0,17
Остаточный член		315	3,9
С экономайзером.			
Горючее содержало	cal Q раб.	8095	100%
Поглощено:			
экономайзером	cal	332	4,11
котлом	cal	6610	81,64
перегреват.		411	5,08
Термич. коэффициент полезного действия	cal η	7353	90,83
Затраты тепла на обслуживан. топки.			
Расход тепла:			
на помол	cal kg	190,4	
» сушку.		20,2	
» транспорт.		24,5	
Итого потери в подготовительном отделении.	cal kg	235,1	
Расход тепла на приведение в действие форсунки		57,3	
На тягу дымовую		63,5	
Полная потеря тепла для приведения в действие топки		355,9	

¹⁾ Так как уголь был доставлен в двух вагонах и при испытании проб дал две величины низшей теплотворной способности, 8043 кал./кг. и 8095 кал./кг., мало друг от друга отличающиеся, то при составлении теплового баланса за основу была принята величина 8095 калор./кг.

Баланс тепла с учетом потерь на самообслуживание.

Для котла и перегревателя			Без экономайзера		С экономайзером	
Топливо содержит	cal	Q раб.	8356 ¹⁾	100	8356	100 %
Поглощено:						
экономайзером		Q _{эк}	—	—	332	3,97
котлом		Q ₁	6610	79,00	6610	79,00
перегревателем			411	4,9	411	4,9
Термич. коэффициент полезного действия			7021	83,9	7359	87,87 ²⁾
Потери в дымовых газах			745	8,92		
Потери горючего в шлаках и уносом			14	0,17		
Остаточный член			221	2,65		
Потери на транспортировку угля			24,5	0,29		
Потери на мельницу			190,4	2,28		
Потери на сушку угля			20,2	0,24		
Потери на приведение в действие горелки	cal		57,3	0,60		
Потери на образование тяги	„		63,5	0,76		

на сите с 4900 петель. Затрата энергии при перемоле штыбков составляла 28,3 квт./тон. час. Тонина помола, при этом, соответствовала 23,24% остатка на сите с 4 900 петель. Производительность подготовительного отделения, при тощих углях, составляла 1,31 тонны/час, при штыбках 1,23 тонны/час. Результаты испытания даны в таблицах 13, 14 и 15.

Опыты со сжиганием антрацитового штыба, содержащего не свыше 3,5% летучих веществ, показали, что такие антрациты можно сжигать в пылеугольной топке вполне экономно без примеси длиннопламенных углей, но при обязательном условии, чтобы вдувание чистой антрацитовой пыли начиналось только после того, как огнеупорная футеровка топочной камеры доведена до температуры 1100 — 1200° С.

Напряжение топочного пространства составляло около 126 000 клр./м.³ час; при этом в топочной камере, при сжигании тощих углей, получались следующие температуры: на расстоянии 2 м. от сопла форсунки в факеле — 1480°, у стенки, противоположной форсунке, —

¹⁾ Так как ряд определений теплотворной способности угольной пыли дал колебание от 7902 до 8095 калор./кгр., то за основание пересчета была принята средняя величина в 8000 калор./кгр. Приняв во внимание затраты энергии и тепла на сушку угля, разлом его и подачу пыли в единицах тепла, равными 356 калор./кгр., мы можем считать, что в топку как бы вводится не 8.000 калорий, а 8.356 калорий каждым килограммом поступающего топлива. Тепловой баланс, пересчитанный на этой базе, определяя величины использования и потерь тепла с учетом самопотребления пылесожигательного оборудования, дает в окончательном виде вышеуказанные результаты.

²⁾ Так как экономайзер не был специально предназначен для испытуемого котла, и температуры дымовых газов за экономайзером не подверглись точному измерению, то потери в экономайзере точно установить не удалось и, кроме того, было излишне, ибо при данных условиях не являлось характерным для работы нормального агрегата с правильно выбранным размером экономайзера.

Таблица 14.

Сводка результатов первого часа испытания пылевидного сжигания антрацитового штыва под котлом п. н. 197 кв. м² с пароперегревателем в 59 м² и экономайзером 160 м² на зав. Всеобщ. К-о Электр.

11 марта 1925 г.

Продолжительн.	Часов.		1
Котел, № и система.			Водотр. горизонт. сист. „Боранг“
Поверхностью:			
Нагрев. котла	М ²	Нк	197
» перегрев	М ²	Нпер	53
» экономайзер	М ²	Нэк	160
Система топки.			Топка АЕГ с горелкой АЕГ. Пыль антрацитового штыва.
Топливо.			
Анализ.			
Влажность.	%	W	0,35
Зола.	%	A	21,65
Кислорода и азота.	%	O+N	1,70
Углерода	%	C	75,50
Водорода	%	H	0,80
Полезная теплотв., способ	Cal	Qpб	100,00
Расход за час.	Kg	Bч	6290,0
Пар.			
Среднее давл. пара	atm	Pк	12,3
Темпер. перегрет. пара	°C	t0	280°
Теплосодерж. перегр. пара.	Cal	λ	715,0
Вода.			
Испарено воды	Kg	Dч	5239
Средн. т-ра перед котлом	°C	tнт	74
Видимое напр. пов. нагр. котла.	Kg		
	М ²		26,6
Видимая испарительн. угля.	Kg	D, B	8,1
	Kg		
Газы.			
Состав газов за котлом	%	CO ₂	13,33
Состав газов за котлом	%	CO ₂ +O ₂	19,7
Средняя т-ра за котлом	°C	Tк	226,0
Темп. стенки топоч. камеры, противол. форсунке.	°C	T ¹ т	1314,0
Т-ра газов непосредствен. у первого ряда кипя- тильных труб.	°C	T ² т	1276,0
Т-ра факела на расст. 2 мтр. от сопла форсунки	°C	T ³ т	1354,0
Воздух.			
Темпер. в котельн.	°C	Tвозд.	20
Избыток воздуха		α	1,43
Тяга.			
Тяга у заслонки	мм. в. ст.	Sk	12,8
Баланс тепла.			
Термический коэфф. п. д. агрегата без эк-ра	%	η	82,5

Таблица 15.

Сводка результатов испытания сжигания пылевидного антрацитового штыба под котлом п. н. 197 кв. м³ с пароперегревателем в 59 м² и экономайзером 160 м² на зав. Всеобщ. К-о Электр.

Продолжение испытания 11 марта от 9 утра до 4 час. дня.

Топливо.															
Сожжено угля в час	Kg	Вч	664												
Испарительн. угля брутто	Kg	D/B	7,2												
	Kg														
Испарительн. угля нетто	Kg	D/B	7,48												
	Kg														
П а р.															
Давление пара по манометру	atm	Pк	12,2												
Температура пара	°C	tu	287,4												
Теплосодерж. пара	Cal	λ	719,0												
Поглощено тепла:															
в котле	Cal		665—54,2= =510,8												
в перегревателе	Cal		719—565= =54												
в экономайзере	Cal		54,2—17= =37,2												
В о д а.															
Испарено воды в час	Kg	Dч	4775												
Темп. воды перед котлом	°C	T ^{пт}	54,2												
Темп. воды перед эконом.	°C	T ^{пт}	17,0												
Паронапр. пов. нагрева	Kg	D/нк	24,35												
	м ²														
Г а з ы.															
Состав газов у заслонки	%	CO ₂	13,84												
Состав газов у заслонки	%	CO ₂ + +O ₂	20,10												
Т-ра отход. газов у заслонки котла	°C	Tк	222												
Температура стенки топочной каме- ры, противолж. форсунке	°C	T _{1т}	1272												
Температура газов непосредственно у перв. ряда кипят. труб	°C	T _{1т}	1100												
Температ. факела на расст. 2 мтр. от сопла форсунки	°C	T ^т	1312												
Воздух.															
Температура воздуха в котельной	°C	t возд.	20,0												
Коэффиц. избытка воздуха		α	1,43												
Т я г а.															
Тяга у заслонки котла	мм в. ст.	Sk	11,1												
Баланс тепла.															
Теплотворная способность топлива	Cal kg	Qpб	<table border="1"> <tr> <th align="center" colspan="2">Котел и пере- греватель</th><th align="center" colspan="2">Котел, перегр. и эконом.</th></tr> <tr> <th align="center">Cal</th><th align="center">%</th><th align="center">Cal</th><th align="center">%</th></tr> <tr> <td align="center">6290</td><td align="center">100</td><td align="center">6290</td><td align="center">100</td></tr> </table>	Котел и пере- греватель		Котел, перегр. и эконом.		Cal	%	Cal	%	6290	100	6290	100
Котел и пере- греватель		Котел, перегр. и эконом.													
Cal	%	Cal	%												
6290	100	6290	100												
Поглощено тепла в экономайзере		Q ^{эк}	— — 268 4,27												

То же в котле	Q^k	4400	69,90	4400	69,90
„ в перегрев.	$Q^{пер.}$	389	6,18	289	6,18
Термич. коэффиц. теплоиспользован.	η	4789	76,08	5057	80,35
Потери в дымовых газах	Q^2	663	10,57	365	5,81
Потери в шлаках	$Q^{2/}$	310	4,93	311	4,95
Потери в уносе	$Q^{2//}$	352	5,62	352	5,62
	Q^3	178	2,80	205	3,27
Остаточный член					
Коэффициент пол. действия агрегата.		6290	100,00	6290	100,00
С экономайзером:					
брутто	$\eta^{к+эк}_{брутто}$	—	—	—	80,35
нетто	$\eta^{к+эк}_{нетто}$	—	—	—	74,35
То же без экономайзера:					
брутто	$\eta^k_{брутто}$	—	—	—	76,08
нетто	$\eta^k_{нетто}$	—	—	—	70,08
Потери в шлаках горючего	%	—	22		
Потери в золе уноса	%	—	38,0		
Количество шлаков за 7 часов	Kg	—	812,0		
Количество золы в уносе за 7 часов	Kg	—	535,0		
Общее количество минеральн. при- месей	Kg	—	1347,0		

1480° и у первого ряда кипяtilных труб — 1300°. Соответственные температуры при сжигании антрацита равнялись: 1312°, 1272° и 1100°. Обращает на себя внимание чрезвычайно низкая температура дымовых газов у заслонки котла. Она колеблется в пределах 220 — 230° С. Величина α , при сжигании антрацита, получилась очень высокой. Это обстоятельство следует приписать, с одной стороны, дефектам форсунки, которая, повидимому, недостаточно хорошо перемешивала антрацитовую пыль с воздухом, а с другой стороны, это объясняется неприспособленностью данной топочной камеры к сжиганию антрацита. Объем топочного пространства, повидимому, был очень велик, и подвод вторичного воздуха осуществлялся не в тех местах, где это требовалось. Во всяком случае приходится констатировать, что коэффициент полезного действия 87,87% для тощих углей и 74,35% для антрацитового штыба в столь несовершенной установке, каким являлся пробный агрегат ВКЭ, получились очень хорошими.

Глава VIII.

Преимущество и перспективы пылесожигательного метода.

Все предыдущее изложение дает нам возможность указать на те положительные свойства пылесожигания, которые обеспечивают ему

¹⁾ Из них 60,3% осаждаются в топочной камере, в уносе 39,7%.

На kg угля в шлаках терялось—0,0384 kg.

На kg угля в уносе терялось—0,0437 kg.

Таким образом, тепловые потери в шлаках составляют 310 калорий на kg угля, а в золе уноса 352 калорий на kg.

широкие перспективы в борьбе с другими существующими системами сжигания твердого минерального топлива. Эти свойства в основном сводятся к следующему:

1. Пылесожигательная топка равно экономично сжигает все виды минерального топлива.

2. Пылесожигательная топка значительно экономнее сжигает топливо, чем всякая другая система.

3. Пылесожигательная топка дает возможность получить значительно более высокую отдачу поверхности нагрева котла и значительно большую производительность промышленной печи, чем всякая другая топка.

4. Растопка котла и промышленной печи при пылесожигательной топке происходит быстрее и потребляет меньше топлива.

5. Пылесожигательная топка полностью механизмирует работу парового котла.

6. Пылесожигательная топка устраняет в значительной степени антигигиенические свойства сжигания минерального горючего.

Мы считаем необходимым подвергнуть некоторому анализу все вышеуказанные моменты.

Качество топлива. Обычно влажность, степень зольности, степень плавкости золы, спекаемость угля, содержание мелочи в угле и механическая прочность угля оказывают чрезвычайно большое влияние на процесс горения в колосниковой топке. Топливо с большим содержанием золы, в особенности, если эта зола легкоплавка, дает значительные потери от механической неполноты горения. Расплавленный шлак обволакивает частицы и уносит их с собой в чрезвычайно большом проценте в зольник. Слой жидкого шлака, заливая колосники, делает, подчас, применение цепной решетки или другой механической топки технически не рациональным. Сильная спекаемость угля, обуславливая одновременно и большой избыток воздуха и значительный процент СО в дымовых газах, чрезвычайно неблагоприятно отражается на коэффициенте использования тепла. Механическая непрочность отдельных видов угля и наличие значительного содержания угольной мелочи, также увеличивают потери провала, а наличие мелочи, кроме того, вызывает увеличение потерь на тягу и обуславливает занос и засорение газоходов. Наконец, имеются такие сорта угля, которые на колосниковой топке вообще не горят. К таким сортам относятся, например, швейцарский (валисский) антрацит. Все эти обстоятельства обычно вызывают необходимость в строгой индивидуализации колосниковой топки применительно к сорту угля. Цепная механическая решетка, дающая очень хорошее сжигание английских высокосортных углей, совершенно непригодна для большинства донецких углей. Даже на некоторых длинопламенных сортах, как, например, ПЖ или флотский, процесс сжигания можно вести при механической решетке, только при условии усиленного ручного шурования и большой умелости кочегара. Такие сорта, как антрацитовый штыб, вообще сжиганию на какой-либо механической колосниковой топке не поддается.

В противоположность этому, как мы уже видели, содержание золы и степень ее плавкости на процесс горения в пылесожигательной топке никакого влияния не оказывает. Это утверждение справедливо, по крайней мере, для топлив с содержанием золы до 50%. Единственное влияние, которое зола оказывает на процесс горения состоит в том, что она несколько, и то очень немного, понижает температуру факела. Степень спекаемости и механической прочности угля на горение пылеугольного топлива, конечно, никакого влияния не имеет. Это было ясно а priori, но это полностью было подтверждено и опытом. Наличие мелочи в угле, конечно, только полезно, ибо уменьшает затраты на размол. Содержание летучих также существенного влияния на степень экономичности пылесожигательной топки почти не оказывает. Упомянутый нами выше валлиссский антрацит, как показали опыты Мюнцингера, очень хорошо горел в пылесожигательной топке, при чем отдача котла составляла 25,3 кг. пара на 1 м.² в час. Таким образом, можно утверждать, что пылесожигательная топка является универсальной топкой и приспособлена для сжигания любого минерального топлива. Применение пылесожигательной топки превращает каждый сорт угля в вполне пригодное и ценное топливо. Пылесожигательная топка дает возможность вместо дорогих сортов угля утилизировать самые дешевые и низкосортные угли.

Экономичность пылесожигательной топки. Очень часто, когда говорят о коэффициенте полезного действия колосниковой решетки, смешивают два понятия: тот коэффициент полезного действия, который был получен при парадном испытании котельного агрегата, с тем практическим коэффициентом полезного действия, который выводится в результате длительной эксплуатации установки. Последняя — величина, не только для ручной колосниковой решетки, но и для механической, значительно меньше первой. Это происходит вследствие того, что работа всех видов колосниковых топок находится в большей или меньшей зависимости от искусства кочегара и от тщательности его работы. Обычно между коэффициентом полезного действия парадного испытания и эксплуатационным коэффициентом полезного действия имеется разница не менее 5—6%. В этом смысле пылесожигательная топка, являющаяся вполне автоматически действующим механизмом, существенно отличается от всех других типов. Между результатами парадных испытаний и эксплуатационными данными существует полное равенство. Рачительность и умение кочегара играют здесь самую ничтожную роль. В предыдущем изложении мы уже видели, что разница между коэффициентом полезного действия во время испытания и эксплуатационным коэффициентом едва достигает 1%. Это различие необходимо всегда иметь в виду при сравнении экономичности пылесожигательной установки с топкой колосниковой.

Потери в котельном агрегате слагаются из следующих величин:

- q_2 потеря через дымовую трубу,
- q_3 » от химической неполноты горения,
- q_4 » механической » » , или потеря провала в зольник и унос,
- q_5 остаточный член потерь на лучеиспускание и теплопроводность в окружающую среду и др.

Величина q_2 при данном составе топлива, определяемая из формулы —

$$q_2 = \left\{ \frac{0,32 C}{0,54 CO_2} + \frac{0,48 (9H + W)}{100} \right\} (T_y - t_n),$$

находится в прямой зависимости от превышения температуры отходящих дымовых газов над температурой наружного воздуха и в обратной зависимости от содержания CO_2 в дымовых газах.

Так как сжигание угольной пыли технически возможно даже при $\alpha = 1$ и, как мы видели, осуществляется исключительно из соображений термических при $\alpha = 1,1 — 1,25$, то % CO_2 в дымовых газах значительно выше, чем при колосниковой топке, где условия горения в слое, обычно, не дают возможности достигнуть $\alpha < 1,5 — 2$. Это означает, что, например, при сжигании голубовского угля, содержание CO_2 в дымовых газах при пылеугольной топке будет колебаться в пределах 15,2 — 17,1%, а при колосниковой — 9,6 — 12,7%.

В колосниковой топке, как механической, так и ручной, температура горения колеблется, обычно, в пределах от 1100° до 1300°; в пылеугольной температура горения достигает 1500 — 1550°. Так как теплоотдача к поверхности нагрева определяется по суммарной формуле

$$Q = Q_c + E = \alpha_1 c \cdot H_c (T - \theta_1) + C \cdot \varphi \cdot H_a \times \left\{ \left[\frac{T_{em} + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{\theta_1 + 273}{100} \right]^4 \right\}^{1/4},$$

с повышением величины T теплоотдача настолько увеличивается, или иначе — величина K в выражении $Q = K \cdot H_c (T - t)^2$ столь сильно возрастает, что T_y при пылесожигательной топке получается значительно ниже, чем при колосниковой. Практически величина T_y при колосниковой топке колеблется в пределах 320—370°С, а при пылесожигательной — 230 — 281°С. Соответственно этому величина $T_y - t_n$ будет: в 1-м случае — 290 — 340°С и во 2-м случае — 200—250°С.

Если применить для грубого определения величины q_2 диаграмму Герберга (фиг. 85), то получим для колосниковой топки: потери дымовыми газами 18 — 20%, а для пылеугольной 9 — 10%.

В эти величины потерь экономайзер, водяной и воздушный, вносят значительную поправку, ибо температура дымовых газов, в рациональной установке, понижается ими до 100 — 150°. Правда, при этом колосниковая топка потребует по сравнению с пылесожигательной большей поверхности нагрева экономайзера, что связано и с большими первоначальными затратами, и с большими потерями в тяге. Если принять во внимание все эти коррективы, то согласно данных практики, разность между q_2 для пылесожигательной топки и q_2 для колосниковой выразится в 6 — 7%.

Потери q_3 составляют, обычно, для колосниковой топки от 2% до 3,5%. Эта величина правильна для хорошей конструкции топки и правильной эксплуатации котла. При неправильной работе

¹⁾ Атлас Кирша, табл. 11, формул (3).

²⁾ Там же, формула 9.

топки и дефектах в конструкции q_3 может значительно возрастать. В пылесожигательной топке, по самим условиям ее работы, потерь q_3 не имеется (подразумевается, конечно, правильный топочный режим).

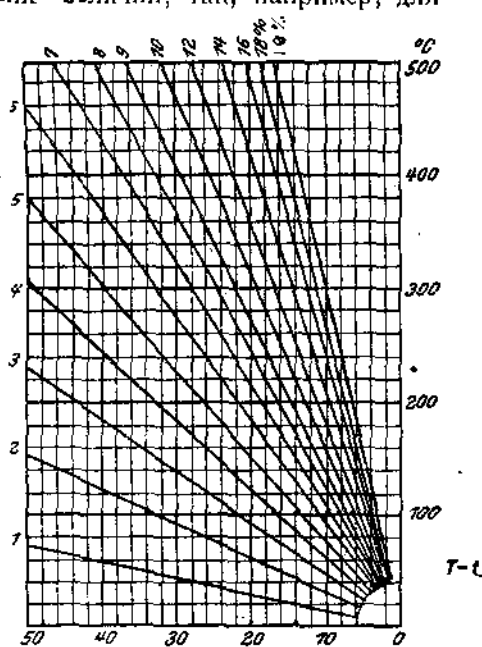
Потери q_4 (от провала и уноса) вообще зависят для обеих систем топок от свойств угля. Однако, пылесожигательная топка имеет значительно меньшие потери, чем колосниковая по следующим причинам: во-первых, сопротивление пылесожигательной топки значительно меньше колосниковой; обычно сопротивление слоя равно для мало напряженной работы от 6 до 15 м/м водяного столба, но для форсированной работы сопротивление слоя достигает, согласно данным К. В. Кирша, значительно больших величин; так, например, для

грушевого антрацита при $\frac{B}{R} = 150$ кг/м², сопротивление слоя составляет 25 м/м в. с.; для боковского антрацита сопротивление слоя = 45 м/м в. с. при $\frac{B}{R} = 150$ кг/м², а для прохоровского (при этом напряжении решетки) сопротивление слоя достигает 49 м/м в. с. В силу значительно большего разрежения унос при колосниковой топке также значительно больше. Вторым моментом, обуславливающим большую величину уноса для колосниковой топки является присутствие мелочи в угле, для пылесожигательной—этот момент отпадает. Наконец, 3-й момент—слабая спекаемость угля или легкоплавкость золы, вызывающая увеличение провала в зольник, при чем механические потери достигают нередко 10—15%, для пылеугольной топки почти не имеет значения. В среднем для хорошо горящих углей величина q_4 при пылесожигательной топке меньше на 3—5%, чем при колосниковой.

Величина q_5 может быть принята для обеих систем топок почти одинаковой и колеблется в пределах от 4 до 6% (при хорошей конструкции колосниковой топки).

Все эти моменты, суммируясь, обуславливают в результате средний эксплуатационный коэффициент полезного действия котельного агрегата для пылеугольной топки—80—90%, а для колосниковой—70—75%. Таким образом пылесожигательная топка расходует угля на 12,5—16,5% меньше, чем колосниковая.

Форсировка. Благодаря тому, что размеры пылесожигательной камеры в значительно меньшей степени ограничены конструк-



Фиг. 85. Потеря тепла с уходящими газами в % от теплотворной способности топлива.

цией и величиной парового котла, чем площадь колосниковой решетки, пылесожигательная топка может подвести к поверхности нагрева котла значительно большее количество тепловых единиц, чем колосниковая.

В силу этого, моментом, ограничивающим форсировку поверхности нагрева, является при пылевидном топливе не топка, а котел. Это соображение полностью подтверждается современной практикой. Рекордная отдача парового котла 71,5 кг. пара на 1 м² час была достигнута на станции River-Rouge на котлах Ладда при пылеугольном топливе. Данные современных установок свидетельствуют о том, что колосниковым механическим топкам в среднем соответствует напряжение поверхности нагрева от 17 000 до 25 000 клр./м.² час., а пылесожигательным — 25 000 — 35 000 клр./м.² час. Благодаря этому обстоятельству, при проектировании котельной установки с пылесожигательными топками, поверхность нагрева паровых котлов можно брать на 25 — 30% меньшую, чем при колосниковых топках. Такое уменьшение поверхности нагрева соответственным образом уменьшает и стоимость оборудования и стоимость здания. Этот момент всегда следует иметь в виду при параллельном сравнении капитальных затрат на пылеугольные и колосниковые механические топки. Для вновь проектируемой котельной установки можно, на основании ряда американских данных, принять, что стоимость оборудования с пылесожигательными топками, отнесенная к 1 000 000 кал. утилизируемого пара, примерно равна стоимости оборудования с колосниковыми механическими топками.

Растопка. Время и затрата топлива при растопке пылесожигательной установки значительно меньше, чем при колосниковой топке. Подсчеты, произведенные Мюнцингером, дали следующие результаты ¹⁾: при 8-ми часовой продолжительности эксплуатации котла в сутки расход на растопку пылеугольной установки равен 230 кг.; при колосниковой топке этот расход равен 770 кг. При 12-ти часовой работе расход на растопку пылеугольной установки 140 кг.; при колосниковой топке 600 кг. Наконец, при 16-ти часовой работе для пылеугольной установки требуется на растопку 115 кг. угля, а при колосниковой решетке 415 кг. По отношению к суточному расходу угля пылеугольная установка дает экономию на растопке по сравнению с колосниковой при 8-ми часовом режиме 10,6%, при 12-ти часовом режиме 6,5% и при 16-ти часовом режиме 4,2%. Кроме экономии на топливе пылеугольная топка дает также экономию и в рабочей силе, и в затрате мощности на процесс растопки, благодаря меньшей ее продолжительности.

Автоматизация работы. Пылесожигательный метод впервые в истории парового котла создает вполне автоматическую топку. Благодаря ей котельный агрегат превращается в такую же машину, как и всякий другой автоматический рабочий механизм. В этом отношении с пылесожигательной топкой совершенно не может конкури-

¹⁾ Мюнцингер. «Пылесожигательные топки в стационарн. котлах», русск. пер., стр. 139, табл. 19.

ровать ни цепная топка, ни плуто-стокер, ни вообще какая бы то ни было механическая топка. Мы уже видели на примере «Метрополитен Эдиссон Компании», что три человека при помощи кнопочных выключателей регулируют работу громадной котельной. В цитированной выше книге Мюнцингера имеются по этому поводу чрезвычайно интересные указания: «Многие посетители этих станций («Lakesiede» и «River-Rouge»), — говорит Мюнцингер, — обращали мое внимание на малый персонал, обслуживающий эти кочегарки, и подчеркивали, что при осмотре их получается впечатление, как будто в котельном здании совершенно нет людей». Эта особенность пылесожигательных топок имеет два следствия: во-первых, достигается большая экономия на обслуживающем персонале и, во-вторых, устраняется необходимость в тяжелом изнурительном труде кочегара.

Гигиеничность работы. На этой особенности пылесожигательных топок не приходится долго останавливаться. Два момента характеризуют пылесожигательную установку: во-первых, благодаря совершенству процесса горения в дымовых газах отсутствует сажа и, во-вторых, условия работы обслуживающего персонала являются вполне здоровыми, вследствие автоматичности движения и переработки угля, происходящих в герметически закрытых приборах. Воздух в котельной чист, кочегар не должен работать в изнурительной высокой температуре. Тяжелая работа шурования и загрузки угля в топку устранена.

Обычно указывают на две отрицательные стороны пылесожигательных топок: говорят, что стоимость пылесожигательного оборудования и расходы по эксплуатации столь велики, что почти полностью аннулируют те преимущества, которые дает пылесожигание. Далее указывают, что объем топочной камеры так велик, что стоимость котельной сильно удорожается, а ремонт топочной футеровки обходится слишком дорого. На этих двух моментах следует специально остановиться.

Прежде всего, указание на высокую стоимость эксплуатации пылесожигательной установки. В неоднократно цитировавшейся нами книге Мюнцингера приведен подсчет стоимости переработки одной тонны угольной пыли. В качестве образца взята установка с производительностью в 80 тонн в 24 часа. Расчет стоимости обработки произведен при нагрузке установки на 40 и 75% ее производительности. Стоимость переработки складывается из двух величин: из собственно эксплуатационных расходов и из расходов на ремонт, амортизацию и проценты на вложенный капитал. Полная стоимость переработки тонны пыли получается для 40% нагрузки в 5 р. 8 к., а при 75% нагрузки 3 р. 68 коп. Стоимость отдельных статей расходов видна из нижеследующей таблички:

Стоимость переработки угля в одной американской установке в 1917-18 г.

		Степень использования.	
		40 %	75 %
Рабочая сила	руб./тон.	1,575	1,410
Расход энергии		0,588	0,588
Разные (смазка, обтирка и т. д.)	руб. тон.	0,320	0,235
Ремонт	> >	0,644	0,470
Амортизация и % на капитал	> >	1,951	0,978
Полная стоимость	> >	5,08	3,68

Чрезвычайно интересно сопоставить подсчеты Мюнцингера, основанные на цифрах 1917/18 г., с современными данными.

Инженерное о-во «Раймонд» получило в результате ряда испытаний стоимость сушки, перемола и транспортировки тонны угля в пределах 0,985 — 1,09 рублей. Если предположить, что ремонт, амортизация и проценты на капитал в эту величину не посчитаны, то и тогда величина, полученная Мюнцингером, превышает современные данные на 140%, т.-е. почти в 2½ раза.

У нас имеются под руками данные, полученные фирмой Фуллер.

При размоле 750-ти тонн антрацита до тонины помола 46% остатка на сите с 6 400 петель, стоимости переработки 1 тонны выражается в 0,985 рублей. Эта величина складывается из следующих статей:

Рабочая сила	0,038 р.
Расход энергии	0,236 »
Разные (смазка, обтирка и т. д.)	0,184 »
Ремонт	0,238 »
Амортизация и % % на капитал	0,289 »

Ввиду того, что этот размол несколько грубоват, была произведена серия подсчетов затрат, при более тонком помоле антрацита, а именно при 15% на сите с 6 400 петель. Результаты получились следующие:

Рабочая сила	0,071 р.
Расход энергии	0,375 »
Разные (смазка, обтирка и т. д.)	0,184 »
Ремонт	0,238 »
Амортизация и % % на капитал	0,522 »

В с е г о 1,390 р.

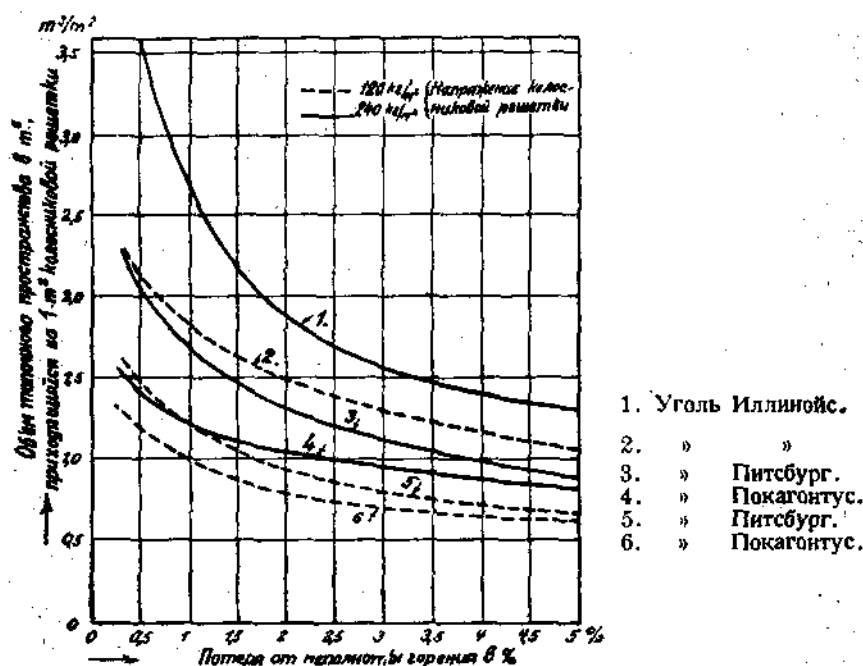
Таким образом, полная стоимость переработки тонны антрацита в тонкую пыль обходится в современной пылесожигательной установке 1,39 руб. Вышеуказанные величины получены на базе часовой зарплаты 0,66 р. и стоимости энергии 0,02 р. Таким образом, стоимость переработки угля в пылеобразное топливо составляет 8 — 11% стоимости угля при американских условиях. Принимая во внимание, что стоимость эксплуатации механической колосниковой топки *) выражается, для американских условий, согласно данных станции «Oneida Street» в 7%, мы получим, что в настоящее время чисто эксплуатационные расходы (без амортизации и % % на капитал) для обеих систем топок, примерно, одни и те же. Если же учесть амортизацию и % % на капитал, то, при одинаковой форсировке поверхности нагрева, разница в пользу колосниковой топки составит 2 — 3%. При учете форсировки эта разница или совершенно отпадает, или получается в пользу пылесожигания.

В отношении объема топочного пространства пылесожигательная топка находится в менее выгодных условиях, чем колосниковая. В то время, как напряжение топочного объема в европейских котельных установках составляет 350 000 — 750 000 кал./м.³, напряжение пылесожигательной камеры обычно не превышает 250 000 кал. Правда, американская практика и для колосниковых решеток дает при нормаль-

*) На приведение в действие вентилятора и цепной решетки.

ной работе среднее напряжение топочного объема 150 000 кал./м.³ ч., а для форсированных работ не свыше 450 000 кал./м.³ ч. На приведенной ниже диаграмме (фиг. 86) даны кривые роста потерь от неполноты горения при уменьшении удельного объема топочного пространства. Как видно из диаграммы, при уменьшении удельного объема топочной камеры с 3,5 до 1,3 потери увеличиваются с 0,5% до 5%, при сжигании иллинойского угля с 34% летучих.

Таким образом, в американских установках различие между объемом топочных камер пылесожигательной и колосниковой топок не очень велико. В главе VI-й мы уже указывали, что теоретически



Фиг. 86. Влияние удельного объема топки на величину потерь от неполноты горения.

пылесожигание допускает напряжение топочного объема до 500 000 кал./м.³ и понижение этой величины диктовалось до сих пор необходимостью понижения температуры топочной камеры за счет увеличения ее объема. Дальнейшее развитие пылесожигательного метода должно повлечь за собою концентрацию процесса горения. Нужно полагать, что две встречные тенденции — увеличение объема колосниковой топки и уменьшение пылесожигательной — должны привести к среднему напряжению топочного пространства 250 000 — 350 000 кал./м.³ ч.

Дальнейшее совершенствование пылесожигательной топки в направлении повышения температуры горения и достижения $\alpha = 1$ обеспечит пылесожиганию победу над колосниковой топкой.

В 1920 году Мюнцингер в своей книге «Пылесожигательные топки в стационарных паровых котлах» писал: «Хотя угольная пыль

часто может с успехом применяться для отопления существующих нормальных конструкций паровых котлов, однако, с точки зрения разрешения проблемы пылесожигаия, такая комбинация является компромиссной. Полное разрешение вопроса может быть найдено либо путем изобретения новых конструкций пылесожигательных приборов, приспособленных к существующему типу котла, либо путем переконструирования самого котла так, чтобы он отвечал условиям работы пылеугольной топкой. В другом месте этой же книги автор высказал мнение о том, что пылеугольная топка вряд ли имеет большие перспективы в борьбе с механической колосниковой топкой. Но уже через 3 года в своей книге «Amerikanische und Deutsche Grossdampfkesseln» Мюнцингеру пришлось коренным образом пересмотреть эту точку зрения. В IV-й главе этого труда он говорит: «Во всяком случае, уже теперь можно предсказать пылесожигательным топкам большую будущность, благодаря их высокой экономичности, благодаря устранению, путем их применения, потерь холостого хода котла, благодаря их эластичности и, в особенности, благодаря тому, что они хорошо сжигают даже такое топливо, которое на колосниковой решетке или совсем не горит, или горит очень плохо»¹). Этот поворот в воззрениях чрезвычайно осторожного и практичного немецкого ученого был обусловлен теми достижениями в области пылесожигаия, которые дала американская практика в течение 1920—23 г.г. К чему же в основном привела эта практика? Теперь, в 1926 г., мы имеем значительно больший опыт в деле пылесожигаия. Сейчас не только Америка, имеющая свыше 500 000 м² поверхности нагрева паровых котлов, отапливаемых угольной пылью и несколько тысяч промышленных печей на этом виде топлива, доказала полную жизнеспособность пылесожигаия и преимущества его перед другими видами сжигания угля, но и Европа, где имеется уже десятки установок, где целый ряд крупных центральных силовых станций применяет пылесожигаие, доказала, что пылесожигательная топка экономичнее и совершеннее всякой другой механической топки для твердого минерального топлива. На этом базируется утверждение Гельбига, заявляющего: «Будущее принадлежит пылесожигательной топке; она в ближайшее время произведет полное преобразование техники горения в смысле ее чрезвычайной экономизации»²).

¹) Цитировано по русскому переводу Мюнцингер: «Пылесожигательные топки в стационарных котлах», стр. 120 и 145.

²) А. В. Helbig. Brennstaub Aufbereitung und Verfeuerung, Seite 155.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. L. C. Harvey. Pulverised Coal Systems of America.
2. H. Bleibtreu. Kohlenstaubfeuerungen.
3. F. Haier. Dampfkesself Feuerungen.
4. F. Tetzner. Die Dampfkessel.
5. A. B. Helbig. Brennstaub, Aufbereitung & Verfeuerung.
6. F. Muenzinger. Amerikanische & deutsche Grossdampfkessel.
7. К. В. Кириш. Атлас. Котельные установки.
8. Г. Герберг. Рациональная эксплуатация котельных.
9. Ф. Мюнцингер. Пылесожигаемые топки в стационарных котлах.
10. New England Textile Plant operates on Powdered Fuel. Power, March, 31, 1925.
11. High Steam Temperatures. Power, April, 1925.
12. Coal Preparation and Operating Results Susquehanna Station. Power, December, 20, 1925.
13. Anderson, J. Pulverised Coal under Central Station Boilers. Power, 1920.
14. E. Schulz. Kohlenstaubmühlen, Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 3, 4.
15. H. Salmang. Feuerfestigkeit der Tone. Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 9.
16. Th. Piedboeuf. Dampfkessel in Amerika. Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 9.
17. P. Rosin. Kennzeichnung von Kohlenstaubmühlen. Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 11.
18. L. Litinsky. Feuerfeste Baustoffe für Dampfkesselfeuerungen. Feuerungstechnik, 1925, Heft 7.
19. F. Ebel. Forschungen an einer Kohlenstaubfeuerung. Glückauf, 1925, № 25 и 26.
20. H. Reiser. Betriebserfahrungen mit einer Wassergekühlten Kohlenstaubfeuerungsanlage. Glückauf, 1925, № 47.
21. Pradel. Brennstaubfeuerung. Feuerungstechnik, 1925, Heft 11.
22. F. Schulte. Glückauf, 1923, Heft 9.
23. F. Schulte, V. D. I., 1924, Dec.
24. Mittag. Die Herstellung d. Kohlenstaubes für Staubfeuerungen.
25. Thompson, Milwaukee, Electr. Railway & Light Co.
26. Die Wärme, 1925, № 7. Neue amerikanische Grosskraftwerke.
27. Betrachtung über Kohlenstaubfeuerung für Kesselbetrieb in Deutschland. Die Wärme, 1925, № 12.

28. Anheizversuchen einem Kessel mit Kohlenstaubfeuerung. Die Wärme, 1925, № 12.
29. Kohlenstaub für Kesselfeuerungen. Die Wärme, 1925, № 14.
30. Erfahrungen in Betrieb von Kohlenstaubfeuerungen in Cleveland. Die Wärme, 1925, № 35.
31. Wirkungsgrad bei einer Kohlenstaubfeuerung mit Einzelmühle. Die Wärme, 1925, № 47.
32. Stand der Brennstaub-Feuerung am 1 Januar 1925. Brennstoff u. Wärmewirtschaft, 1925, Heft 4.
33. Die Kohlenstaub — Versuchsanlage der Staatlich Halsbrückner Hüttenwerke. Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 3.
34. Die «Unipulvo» Kohlenstaubmühle. Archiv für Wärmewirtschaft, 1926, Heft 4.
35. Kohlenstaubmuehlen, Langsamläufer oder Schnellaufer. Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 8.
36. Das Kraftwerk «Island Station St. Paul». Archiv für Wärmewirtschaft, 1926, Heft 8.
37. Siebnormung. Merkblatt für Kohlenstaubprüfsiebe. Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 9.
38. Die Widerstandfähigkeit feuerfesten Stoffe gegen Temperaturwechsel. Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 11.
39. Feuerungstechnik, 1926, Heft 16.
40. Dampfkraftanlagen. V. D. I., März, 1925, Rd. 69.
41. Dr. Ing. P. Rosin. Die Kohlenstaubversuchsanlage der staat. Halsbrueckner Hüttenwerke. Dresden, Metall. u. Erz, 1924, Heft № 12.
42. Bericht über die Feuerungstechnische Tagung d. Hauptstelle der Wärmewirtschaft, Berlin, 1920.
43. Die Braunkohlenveredlung. Die Wärme, 1925, № 21.
44. Feuerungstechnik. V. D. I. Mai, 1925, № 50.
45. Strahlungsüberhitzer. Archiv für Wärmewirtschaft, 1925, Heft 9.
46. В. Темкин. Пылесожигаемые топки. «Вестник Металлопромышленности», 1925 г., № 1 — 2.
47. В. Темкин. Донецкие антрацитные штыбы и тощие угли в качестве горючего для пылесожигаемых топок. Вестник МОН'а 1925 г., № 11.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	<i>Стр.</i>
Введение	3

РАЗДЕЛ I.

Подготовка угольной пыли.

Глава I. Разгрузка и хранение угля	9
» II. Предварительное измельчение, механизмы для удаления жезла и промежуточные бункера	14
» III. Сушилки	17
» IV. Мельницы для помола угля	24
» V. Вспомогательные оборудования при подготовке пыли	56

РАЗДЕЛ II.

Сжигание угольной пыли.

Глава VI. Процесс горения, горелки и топочная камера	64
» VII. Описание существующих установок и результаты испытания их	93
» VIII. Преимущество и перспективы пылесожигательного метода	121
Перечень использованной литературы	131

1927

- 41394 -

ПРОМИЗДАТ

Москва, Лубянский пр., д. 3, тел. №

RLST



0000000364700

НОВЫЕ КНИ

1. **Георг Герберг, инж.**—Рациональная эксплуатация котельных. (Руководство по топочной технике и уходу за паровыми котлами). Перевод с немецк. инж. В. А. Темкина. Цена 3 р. 50 к.
2. **Мюнцингер, инж.**—Пылесожигательные топки в стационарных паровых котлах. Перевод инж. В. А. Темкина, с предисл. Ж. Танер-Таненбаума. Критический обзор устройства, эксплуатации и способов применения. Цена 1 р. 75 к.
3. **Уманский А. П.**—Контроль топки парового котла анализом дымовых газов. Цена 90 к.
4. **Комаров А. А., инж.-мех. и Сыромятников И. Н., инж.-техн.**—Устройство топок паровых котлов применительно к условиям работы котельных сахарных заводов СССР. Цена 2 руб.
5. **Кузнецов Б. В., инж.**—Болезни промышленных паровых машин. Практическое руководство. Цена 4 р. 50 к.
6. **Федоров В. П., инж.**—Тепловые балансы промышленных печей и способы их составления. Руководство для расчетов. Цена 1 руб.
7. **Танер-Таненбаум Ж.**—Использование отработавшего тепла. Цена 70 коп.
8. **Щегольников Д. Г. и Сухарев Н. В.**—Теплосиловое хозяйство заводов. Цена 80 коп.
9. **Новейший способ** сжигания торфа печкой инж. Макарьева. Цена 1 р. 50 к.
10. **Шефтель А. И.**—Справочник периодической литературы по энергетике. Тепловое, силовое, электрическое хозяйство. С предисл. Ж. А. Танер-Таненбаума. Цена 1 р. 25 к.

Склады изданий: Москва, Мясницкая ул., 6, тел. 2-37-69. Ленинград, пр. Нахимсона, 18, тел. 1-62-20. Харьков, ул. 1-го Мая, 14, тел. 45-08. Свердловск, ул. Ленина, Нов. Гост. Дв., пом. 15. Киев, ул. Воровского, 38, кв. 22.