

М.М. Щеголев

Топливо, топки и котельные установки

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
М11

М11 **М.М. Щеголев**
Топливо, топки и котельные установки / М.М. Щеголев – М.: Книга по Требованию, 2024. – 546 с.

ISBN 978-5-458-37472-9

В книге изложены все необходимые сведения, касающиеся котельных установок, вырабатывающих тепло для целей отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и производственных нужд. Материал, помещенный в 4-м издании, обновлен, переработан и отражает последние достижения нашей отечественной теплотехники. Книга является учебником по курсу «Топливо, топки и котельные установки» для студентов специальности «тепло-газоснабжение и вентиляция» строительных вузов и написана в соответствии с утвержденной программой.

ISBN 978-5-458-37472-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Стр.

Раздел третий

Котельные установки

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

	Стр.
Раздел четвертый	
Тепловой и аэродинамический расчет котельной установки	
Глава XIV. Тепловой расчет	442
§ 90. Баланс тепла	—
§ 91. Расчет газоходов паровых котлов	445
§ 92. Расчет пароперегревателей	457
§ 93. Расчет водяных экономайзеров	459
§ 94. Расчет воздухоподогревателей	461
§ 95. Расчет газоходов водогрейных котлов	464
Глава XV. Аэродинамический расчет	465
§ 96. Тяговое устройство	—
§ 97. Газовые сопротивления установки	468
§ 98. Общие указания и поправки к расчетам	479
§ 99. Расчет дымовой трубы	484
Раздел пятый	
Подсобное оборудование котельных установок	
Глава XVI. Топливоподача и золоудаление	489
§ 100. Склады топлива	—
§ 101. Схемы подачи топлива и удаления золы	491
Глава XVII. Трубопроводы котельных и питательные устройства	
§ 102. Паропроводы	497
§ 103. Питание паровых котлов низкого давления и водогрейных котлов	500
§ 104. Питание паровых котлов с давлением более 0,7 атм	502
Глава XVIII. Водоподготовка	507
§ 105. Приготовление питательной воды	—
§ 106. Нормы качества котловой воды	508
§ 107. Содово-известковый способ водоподготовки	510
§ 108. Водоумягчение методом кагнирования	513
§ 109. Фосфатирование питательной и котловой воды	518
§ 110. Испарительные установки	519
§ 111. Деаэрация питательной воды	520
§ 112. Ступенчатое испарение	522
§ 113. Внутрикотловая обработка воды	524
§ 114. Термическая внутрикотловая обработка питательной воды	529
§ 115. Термокаатионитовый водоочиститель	531
§ 116. Водоподготовка в отопительных системах с водяным теплоносителем	537
Глава XIX. Здания котельных и тепловой контроль за работой котельных установок	540
§ 117. Архитектурная компоновка	—
§ 118. Основные внутренние габариты зданий котельных	—
§ 119. Тепловой контроль за работой котельных установок	541
Рекомендуемая литература	544

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

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

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

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

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

В каком же направлении должна развиваться отопительно-котельная техника?

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

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

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

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

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

ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

Великая Октябрьская социалистическая революция положила этому конец.

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

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

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

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

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

Котлостроение в СССР по существу было создано заново.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

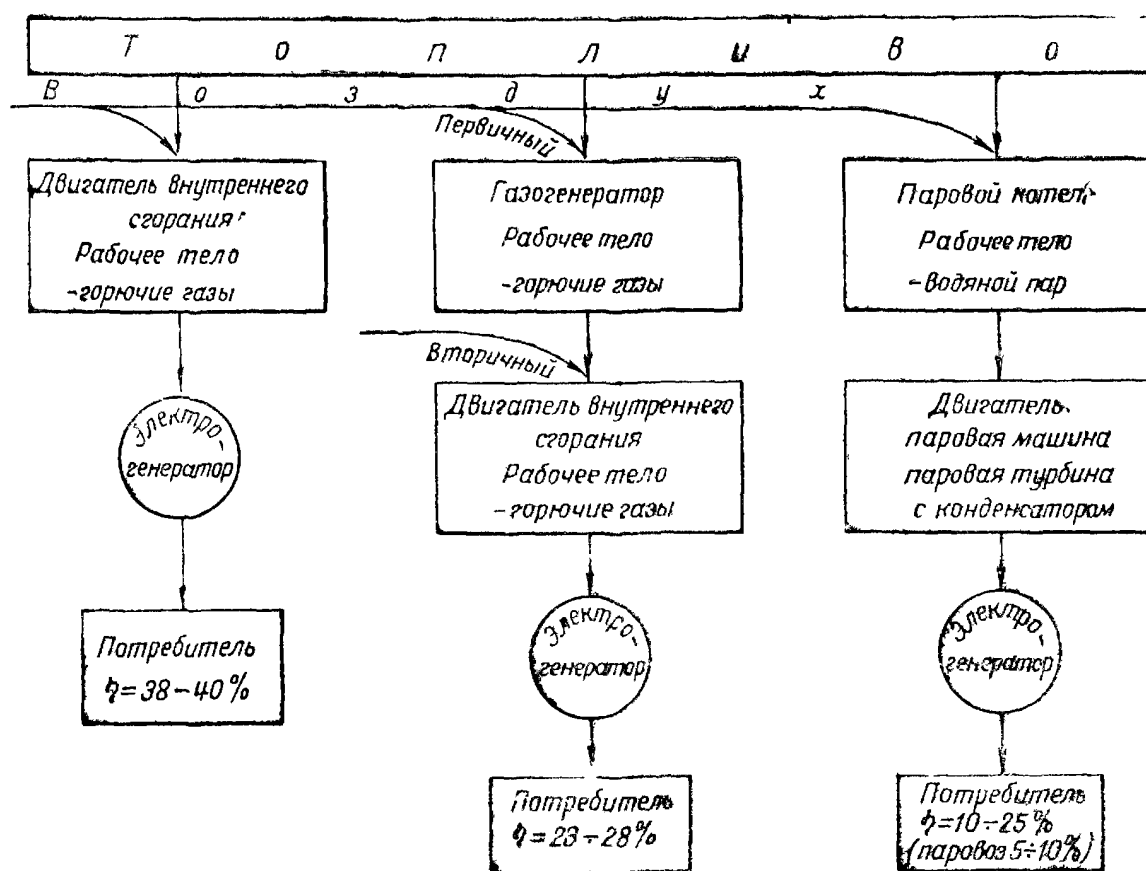


Рис. 1

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

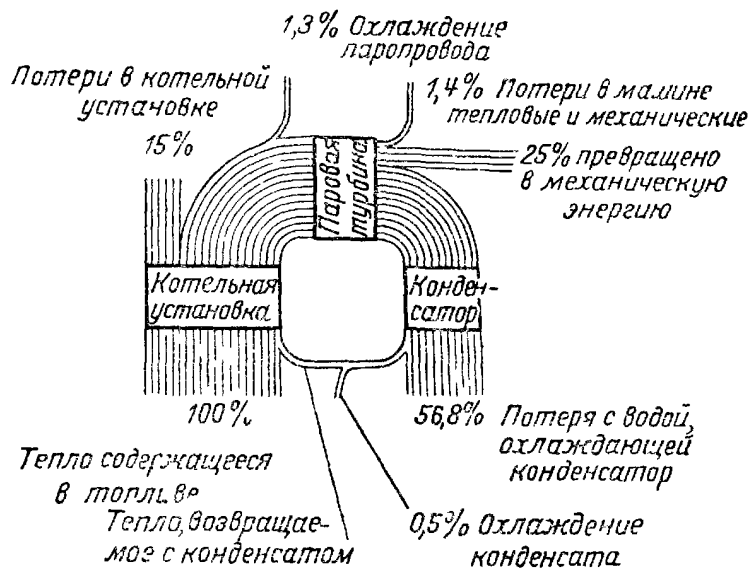


Рис. 2

чительно повышен при использовании низкопотенциального тепла в установке.

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

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