



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

С.В. Картавец

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Издание 2-е

Магнитогорск
2022

УДК 620.9:622.92(075)

Рецензенты:

Профессор кафедры промышленной теплоэнергетики
Южно-Уральского государственного университета,
доктор технических наук

Е.В. Торопов

Главный энергетик ОАО «Магнитогорский металлургический
комбинат», кандидат технических наук, доктор электротехники

Г.В. Никифоров

Главный энергетик ОАО «Магнитострой»

А.Н. Тупикин

Картавцев С.В.

Теплоэнергетические системы и энергетические балансы промышленных предприятий [Электронный ресурс] : учебное пособие / Сергей Владимирович Картавцев ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Изд. 2-е, подгот. по печ. изд. 2017 г. – Электрон. текстовые дан. (1,77 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2022. – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9967-2468-0

Учебное пособие для студентов специальности 10.07 «Промышленная теплоэнергетика» написано в соответствии с Государственным образовательным стандартом 1994 г. для этой специальности.

В книге описаны основные теплоэнергетические системы промышленных предприятий, общие вопросы построения систем, приема, распределения и использования энергоресурсов, контроля, регистрации и регулирования в системах теплоэнергоснабжения (СТЭС ПП). Поставлены некоторые научные задачи системного подхода к общим вопросам СТЭС ПП и приведена литература по применению системного анализа, моделированию и оптимизации СТЭС ПП и отдельных элементов.

В разделе об энергетических балансах СТЭС ПП особое внимание уделено вопросам энергосбережения на промышленных предприятиях на основе новейших научных технологий энергосбережения. Приведены основные сведения по научным основам промышленного энергосбережения и библиография по этому вопросу.

В приложении приведены примеры расчетов элементов СТЭС ПП.

Кроме студентов специальности 10.07 «Промышленная теплоэнергетика» книга может быть полезна студентам специальности 10.04 «Электроснабжение (по отраслям)», 10.08 «Энергетика теплотехнологий», 29.07 «Теплогазоснабжение и вентиляция», а также студентам технологических специальностей различных отраслей промышленности в курсах общей энергетики и теплотехники.

УДК 620.9:622.92(075)

ISBN 978-5-9967-2468-0

© Картавцев С.В., 2017

© ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	9
ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА	9
СТРУКТУРА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	10
<i>Три компонента промышленной энергетики</i>	<i>10</i>
<i>Структура энергетических комплексов</i>	<i>10</i>
<i>Связь электроэнергетического и теплоэнергетического</i> <i>комплексов промышленного предприятия</i>	<i>11</i>
ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	12
<i>Профессиональная направленность</i>	<i>12</i>
<i>Общая теплотехника и теплоэнергетические системы.....</i>	<i>13</i>
ЛИТЕРАТУРА ПО ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	15
РАЗДЕЛ 1 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	18
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ТЕПЛОЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	18
<i>Состав систем теплоэнергоснабжения</i>	<i>19</i>
<i>Обобщенная схема теплоэнергоснабжения</i> <i>промышленного предприятия</i>	<i>20</i>
СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	24
<i>Общие сведения</i>	<i>24</i>
<i>Водяные системы</i>	<i>26</i>
<i>Паровые системы</i>	<i>28</i>
<i>Теплоснабжение промышленных предприятий.....</i>	<i>30</i>
СИСТЕМЫ ПАРОСНАБЖЕНИЯ	31
<i>Назначение, состав и схемы пароснабжения</i>	<i>31</i>
<i>Обобщенная схема системы пароснабжения предприятия.....</i>	<i>31</i>
<i>Парогенерирующие установки и станции.....</i>	<i>33</i>
<i>Паровые сети</i>	<i>35</i>
<i>Установки и сооружения для сбора и возврата</i> <i>конденсата технологического пара</i>	<i>37</i>
СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	39
<i>Общие сведения</i>	<i>39</i>
<i>Охлаждающие устройства в оборотных системах</i> <i>водоснабжения.....</i>	<i>42</i>
<i>Сооружения для очистки загрязненных стоков</i> <i>в оборотных системах водоснабжения</i>	<i>45</i>

<i>Системы воздухообеспечения</i>	48
ГАЗОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	56
<i>Назначение, состав и схемы газоснабжения</i>	56
<i>Газосмесительные станции (ГСС)</i>	61
ОБЩИЕ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОДСИСТЕМ СТЭС ПП.....	64
<i>Общие принципы построения подсистем</i>	65
<i>Некоторые научные задачи промышленной энергетики</i>	74
<i>Отличительные принципы построения подсистем</i>	79
<i>Схемы теплоснабжения</i>	79
ПРИНЦИПЫ ПРИЕМА, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ.....	81
<i>Прием и распределение ресурсов</i>	81
<i>Потребление ресурсов</i>	83
<i>Использование отработанных ресурсов</i>	85
РАЗДЕЛ 2 КОНТРОЛЬ, РЕГИСТРАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОЭНЕРГОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	88
ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ, РЕГИСТРАЦИИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОЭНЕРГОБЕСПЕЧЕНИЯ	88
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	91
<i>Структура технических средств</i>	91
<i>Средства локального контроля и регулирования</i>	92
<i>Регуляторы прямого действия</i>	92
<i>Назначение дроссельно-регулирующей арматуры</i>	94
КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОЭНЕРГОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	96
<i>Контроль и регулирование работы котельных</i>	96
<i>Контроль и регулирование паровой сети</i>	97
<i>Автоматизация и диспетчеризация</i>	99
РАЗДЕЛ 3 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	103
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭНЕРГОБАЛАНСАХ	103
<i>Топливо-энергетический баланс предприятий</i>	103
<i>Виды и назначение энергетических балансов</i>	104
<i>Анализ энергетических балансов</i>	106
ТОПЛИВНЫЕ БАЛАНСЫ	107
ПАРОКОНДЕНСАТНЫЕ БАЛАНСЫ	111
<i>Методы сведения балансов производственного пара</i>	112
<i>Аккумуляция производственного пара</i>	113
<i>Выравнивание паропроизводительности утилизационных установок</i>	114
БАЛАНСЫ ГОРЮЧИХ ВЭР	115

Общие положения	115
Методы сведения балансов доменного и коксового газов	116
ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГОБАЛАНСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	123
Основы построения информационной системы.....	123
Принципы организации информационной системы.....	124
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	127
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	136
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА	136
Моделирование и оптимизация в энергетике.....	137
Математическое программирование	138
Системные исследования в энергетике.....	139
Энергосбережение в промышленности	139
ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО МЕТОДОЛОГИИ ИНТЕНСИВНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ.....	140
Разработки концепций интенсивного энергосбережения.....	141
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	142
ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	142
ОПТИМАЛЬНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ПАДЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ПАРОПРОВОДАХ	142
ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ПАРОПРОВОДА	144
ПОТЕРИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ПАРОПРОВОДА	146
Потери температуры	146
Потери давления	147
ДИАМЕТР И ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПАРОПРОВОДА.....	147
Определить пропускную способность паропровода заданного диаметра.....	147
Определение диаметра паропровода по расходу пара	149
ПАРОВОЙ ПОДОГРЕВАТЕЛЬ	149
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОГО ПАРА.....	150
ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПАРОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ	151
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ПАРА.....	153

Предисловие

Теплоэнергетические системы промышленных предприятий обеспечивают жизнедеятельность любого промышленного производства, выполняя ту же функцию, что и двигатель в автомобиле или сердце человека, но на другом, системном уровне.

По этой причине изучение систем теплоэнергоснабжения промышленных предприятий (СТЭС ПП) является важной задачей общеинженерного образования. Для промышленных теплоэнергетиков СТЭС ПП являются основным техническим объектом деятельности, а для студентов – основным объектом изучения. Для специалистов-технологов изучение СТЭС ПП имеет важное общетехническое значение.

Формирование СТЭС ПП как самостоятельного объекта изучения, исследования, проектирования и эксплуатации потребовало многолетнего развития научной и технической областей промышленной теплоэнергетики и завершилось выходом на системный уровень примерно к 1990-91 г., когда трудами кафедры промышленных теплоэнергетических систем Московского энергетического института были опубликованы первые две крупные и цельные работы по СТЭС ПП.

За последующие 10 лет актуальность подготовки промышленных теплоэнергетиков не уменьшилась, а выпуск технической литературы был практически прекращен. Это явилось одной из причин подготовки данного издания – необходимость обеспечения учебного процесса технической литературой по основному профессиональному объекту промышленной теплоэнергетики. Но были и другие причины, вызванные научным развитием промышленной энергетики.

Выход промышленной теплоэнергетики на системный уровень поставил целый ряд новых научных и технических задач, не находивших прежде места в досистемном взгляде на промышленное энергоснабжение и не отраженных в достаточной мере в первых работах по СТЭС ПП. Особенно это касается создания новых и коренной модернизации действующих СТЭС ПП. Сюда относятся задачи выбора количества и местоположения источников энергии, конфигурации сетей, стохастического моделирования энергоснабжения, динамического программирования развития и реконструкции СТЭС ПП. Некоторые из этих задач, в порядке постановки, нашли отражение в данном пособии.

Далее, в последнее десятилетие резко обострилась проблема энергосбережения, в том числе - для промышленных предприятий. Соответственно, задачи энергосбережения ставятся перед про-

мышленными энергетиками. Однако поставки энергии СТЭС ПП в технологические комплексы предприятий в значительной степени обесцениваются огромными *потерями* произведенной в СТЭС ПП энергии в технологических комплексах предприятий, составляющими в среднем по промышленности 70%.

Одновременное требование энергоснабжения по технологическим заказам и энергосбережения в СТЭС ПП может дать не более 30% резерва энергосбережения, так как основная часть резерва лежит в технологии (об этом, кстати, необходимо знать и технологам). Поэтому пассивное изучение СТЭС ПП для энергоснабжения технологий необходимо дополнить сведениями об активных способах решения проблем энергосбережения. В последнее время такие возможности появились.

За последние 20 лет произошло бурное развитие новой, третьей по счету, области промышленной энергетики – энергетики теплотехнологии, которая очень тесно связана с классической областью промышленной теплоэнергетики: а именно – в ее задачи входит разыскание и реализация высокоэффективного использования энергии именно в технологических установках, системах и комплексах, как действующих, так и вновь создаваемых. Это работы соседней кафедры МЭИ – энергетики высокотемпературной технологии под руководством профессора, д.т.н. А.Д. Ключникова.

Функциональную связь производства и распределения энергии в СТЭС ПП, энергоиспользования в технологических комплексах и основные постановки задач энергосбережения необходимо знать каждому изучающему СТЭС ПП или действующему в них.

Далее, за последние 10 лет, со времени выхода двух основных работ по СТЭС ПП, произошло бурное развитие вычислительной техники и программного обеспечения. Прямое использование программ 1990 г. на языке FORTRAN с применением стандартного математического обеспечения ЕС ЭВМ хотя и возможно теоретически, но уже принадлежит истории.

Программирование на языках высокого уровня практически ушло из инженерной, и в значительной степени – из научной пользовательской практики. Появились совершенно новые компьютеры и программное обеспечение к ним: Windows 95/98/2000 и мощные математические пакеты MATHCAD, MAPPLE, MATLAB, MATHEMATICA с чрезвычайно удобным интерфейсом, не требующим программирования в смысле 1990 г. Современная подготовка специалистов немыслима без применения в их профессиональной деятельности этих мощных инструментов.

Изучению СТЭС ПП посвящен целый блок учебных дисциплин, которые рассматривают их в разных аспектах: описание, общие

свойства, построение, проектирование, моделирование, эксплуатация. В данном пособии отражены вопросы описания, построения, отчасти – моделирования и оптимизации.

В описательном плане пособие содержит известные сведения из использованной литературы.

Системное изучение СТЭС ПП в основном – впереди, но по системным исследованиям в большой энергетике существует серьезная литература, которая приводится в порядке рекомендации. Таким образом, пособие может служить исходной точкой не только изучения СТЭС ПП, но и научного исследования их. По убеждениям автора, учебное пособие должно не только излагать известный материал, но и выводить студентов на передний край научных исследований.

Основной целью данного пособия было дать сводку материалов, в наибольшей степени отвечающих содержанию курса “Теплоэнергетические системы и энергетические балансы промышленных предприятий” по Государственному образовательному стандарту для специальности 10.07 Промышленная теплоэнергетика.

Второй, очень важной целью пособия было стремление дать компактное описание теплоэнергетических систем промышленных предприятий для первичного ознакомления большой группы инженерных специальностей.

Хотелось бы, чтобы книга служила не только пособием по пассивному изучению теплоэнергетических систем, но и руководством к активному научно-техническому исследованию этого центрального объекта промышленной энергетики. С этой целью в книге поставлены некоторые научные задачи и приведена соответствующая научная литература. В этой части пособие может быть полезно аспирантам и соискателям.

Кроме того, чрезвычайно важно было установить связь двух родственных областей промышленной энергетики: промышленной теплоэнергетики и энергетики теплотехнологии, что и сделано в разделе об энергосбережении.

Автор прекрасно сознает, что пособие не свободно от недостатков и с благодарностью примет все конструктивные замечания.

А системное изучение СТЭС ПП ждет новых исследователей.

Автор

Магнитогорск, Ноябрь 2000.

Введение

Промышленное производство и промышленная энергетика

Промышленные предприятия производят все виды продукции, используя при этом многочисленные виды сырья и энергии. Предприятия сгруппированы по отраслям и внутри каждой отрасли производят группы продукции, объединенные общими свойствами.

В числе крупнейших отраслей следует назвать такие, как:

- черная металлургия;
- цветная металлургия;
- машиностроение;
- химия и нефтехимия;
- промышленность строительных материалов;
- целлюлозно-бумажная и деревообрабатывающая;
- легкая промышленность;
- пищевая промышленность.

Для производства заданной продукции промышленные предприятия имеют установки, системы и комплексы для переработки сырья и материалов в товарную продукцию. Совокупность всех этих устройств образует *технологический комплекс* промышленного предприятия. В технологический комплекс предприятия входят различные печи, реакторы, конвертеры, теплообменное, электротермическое, механическое и транспортное оборудование.

Для переработки сырья и материалов в товарную продукцию требуется *энергия* всех видов, и промышленные предприятия имеют соответствующие установки, системы и комплексы. Их совокупность образует *энергетический комплекс* промышленного предприятия. В энергетический комплекс предприятия входят энергетические *станции* (электрические, тепловые, сжатого воздуха, водные, разделения воздуха, газогенераторные, защитного газа, газорегуляторные, производства холода и другие), *трубопроводы* и их оборудование, *электрические сети* и их оборудование, *приемники, трансформаторы* и распределительное оборудование.

Технологические комплексы промышленных предприятий разных отраслей существенно отличаются друг от друга по составу технологического оборудования, перерабатываемому сырью и производимой продукции.

Энергетические комплексы любых промышленных предприятий, независимо от отраслевой принадлежности и производимой продукции, схожи между собой качественно и различаются лишь количеством и видами производимых энергоносителей.

Технологические комплексы промышленных предприятий есть

Введение

то *особенное*, что их отличает. Энергетические комплексы промышленных предприятий есть то *общее*, что их объединяет.

Эта качественная аналогия энергетических комплексов различных промышленных предприятий и дает основание для выделения их в самостоятельный объект инженерного изучения.

Структура промышленной энергетики

Три компонента промышленной энергетики

Энергетические комплексы промышленных предприятий являются предметом изучения, исследования, проектирования и эксплуатации для научно-технической области промышленная энергетика. В промышленной энергетике традиционно разделяют электрическую и тепловую части в виде промышленной электроэнергетики и промышленной теплоэнергетики.

Промышленная электроэнергетика занимается поставками только электрической энергии и имеет своим объектом электроэнергетические комплексы промышленных предприятий.

Все остальные виды энергоносителей поставляют промышленные теплоэнергетические комплексы, являющиеся предметом *промышленной теплоэнергетики*.

В последние годы в структуре промышленной энергетики выделяют энергетику технологии, непосредственно занимающуюся эффективным использованием всех видов энергоносителей в технологических комплексах промышленных предприятий.

Структура энергетических комплексов

Электроэнергетический и теплоэнергетический комплекс имеют общие и отличительные структурные признаки.

Общим для комплексов является то, что в их структурах достоверно выделяются три основных последовательно связанных элемента: источники, сети и приемники. Этой структурой могут быть описаны все энергетические системы промышленных предприятий.

Отличительным признаком для электроэнергетического и теплоэнергетического комплексов является то, что структура электроэнергетического комплекса на данном промышленном предприятии *едина* (для единственного энергоносителя - электрической энергии), а структура Теплоэнергетического комплекса - *множественна* (для многих энергоносителей - теплоты и пара, воды, воздуха, горючих газов и других). Поэтому отличительным признаком теплоэнергетического комплекса промышленного предприятия является

Введение

то, что в его состав входят *множество* систем энергоснабжения, в общем случае, взаимосвязанных.

Количество теплоэнергетических систем на крупных промышленных предприятиях может достигать 10 и более. Таким образом, в структурном отношении, теплоэнергетический комплекс *на порядок сложнее* электроэнергетического комплекса, так как представляет собой сумму взаимосвязанных аналогичных систем. Каждая из теплоэнергетических систем может быть описана общей структурой последовательно связанных источников, сетей и приемников (потребителей).

Электроэнергетические и теплоэнергетические системы также связаны между собой.

Таким образом, энергетический комплекс промышленного предприятия представляет собой сложную систему.

Связь электроэнергетического и теплоэнергетического комплексов промышленного предприятия

Важным обстоятельством является то, что электроэнергетический и теплоэнергетический комплексы предприятий связаны друг с другом через источники электроэнергии таким образом, что теплоэнергетические комплексы являются непосредственными источниками электроэнергии для электроэнергетических комплексов и степень этой связи зависит, в первую очередь, от доли электроэнергии, производимой в энергетическом комплексе промышленного предприятия.

Крупные промышленные предприятия, имеющие собственные электрические станции могут производить 50 - 70% электроэнергии для собственных нужд предприятия, добирая оставшиеся 30 - 50% из внешних электрических сетей. Практически все производство электроэнергии на промышленных предприятиях осуществляется на тепловых электрических станциях с одновременным производством теплоты и пара (ТЭЦ), входящих в теплоэнергетический комплекс предприятия. Таким образом, теплоэнергетический комплекс промышленного предприятия является непосредственным источником электроэнергии для электроэнергетического комплекса данного промышленного предприятия.

Мелкие промышленные предприятия не имеют собственных электростанций и всю электрическую энергию берут из внешних электросетей. В среднем по территории России 80 - 85% электроэнергии в единой системе электроснабжения производится на государственных районных (тепловых) электрических станциях ГРЭС, входящих в мощный общегосударственный топливно-

Введение

энергетический комплекс (ТЭК), являющийся внешним по отношению ко всем промышленным предприятиям. В этом случае на мелких предприятиях непосредственным источником электроэнергии служат электрические сети, а первичным источником для сетей - теплоэнергетические системы ТЭК.

Таким образом, теплоэнергетические комплексы обеспечивают электроэнергией электроэнергетические комплексы промышленных предприятий непосредственно (на крупных предприятиях) или опосредованно через внешние теплоэнергетические системы (на мелких промышленных предприятиях). Граница между двумя комплексами проходит между электрогенераторами и паровыми турбинами тепловых и атомных электростанций. На каждой станции выделяется электрическая и тепловая часть электростанции.

Изучение энергетических комплексов промышленных предприятий

Профессиональная направленность

Энергетический комплекс промышленных предприятий является для них жизнеобеспечивающим, без его работы *невозможно* функционирование предприятия. Важность энергетических комплексов для жизнеобеспечения промышленных предприятий подчеркивается тем обстоятельством, что в структуре управления подавляющего большинства промышленных предприятий (независимо от отраслевой принадлежности) предусмотрена служба и должность главного энергетика, в ведении которого находится энергетический комплекс предприятия.

Для эксплуатации, проектирования и исследования энергетических комплексов промышленных предприятий готовятся специалисты с высшим образованием по специальностям 10.04 Электрообеспечение промышленных предприятий и 10.07 Промышленная теплоэнергетика. Основным объектом изучения при подготовке этих специалистов являются энергетические системы промышленных предприятий: для электроэнергетиков - электроэнергетические системы, для промтеплоэнергетиков - теплоэнергетические системы промышленных предприятий. Дополнительно программы подготовки предусматривают также для теплоэнергетиков - изучение электроэнергетических систем, для электроэнергетиков - изучение теплоэнергетических систем промышленных предприятий. Это тем более оправдано, что на большинстве предприятий специалист по промышленной энергетике управляет всеми энергетическим ком-

Введение

плексами без разделения. Иногда, на крупных предприятиях в службах главного энергетика имеются заместители по электрической и тепловой частям единого энергетического комплекса промышленного предприятия.

Таким образом, теплоэнергетические системы промышленного предприятия являются не только основным предметом изучения для промышленных теплоэнергетиков, но и дополнительным предметом для студентов специальности "Электроснабжение промышленных предприятий". В будущей профессиональной деятельности каждый специалист промышленной энергетики в той или иной степени будет иметь дело с теплоэнергетическими системами промышленных предприятий.

В первую очередь изучение теплоэнергетических систем промышленных предприятий предназначено для студентов промышленной энергетики по специальностям «Промышленная теплоэнергетика» и «Электроснабжение промышленных предприятий».

Кроме этого, имеются еще группы специальностей, для которых ознакомление с теплоэнергетическими системами промышленных предприятий весьма целесообразно.

Часть теплоэнергетических систем промышленных предприятий аналогична объектам профессиональной деятельности специалистов «Теплогазоснабжение и вентиляция» (направление «Строительство»). Это системы тепло- и пароснабжения, водоснабжения, снабжения природным газом, вентиляции и кондиционирования воздуха. Эти специалисты работают, в том числе на промышленных предприятиях по эксплуатации названных систем.

Студенты специальностей «Экономика и управление в Энергетике» и «Экономика и управление (по отраслям)» также изучают энергетику промышленных предприятий в описательном плане. Для экономики характерен общий системный взгляд на промышленное производство, так что этот интерес не случаен.

Наконец, очень большая группа технологических специальностей (по отраслям) нуждается в общем знакомстве с системами жизнеобеспечения каждой данной технологии, так как в практической деятельности специалистов-технологов на промышленных предприятиях функционирование технологического комплекса зависит от энергетического обеспечения. В энергетической подготовке технологических специалистов предусмотрена дисциплина Общая теплотехника.

Общая теплотехника и теплоэнергетические системы

Общая теплотехника и общая электротехника являются обще-

Введение

образовательными курсами, которые включаются в подготовку практически всех инженерных и некоторых экономических специальностей. По своему содержанию эти курсы включают:

изучение теоретических основ, то есть *анализ* энергетических процессов, тепло- и электротехники;

устройства, машины и агрегаты, функционирующие на основе этих энергетических процессов, то есть *синтез* технических решений на уровне устройств. На этом этапе курсы общей теплотехники заканчиваются.

Между тем, в практике промышленных предприятий отдельные устройства энергетической техники в подавляющем большинстве связаны в энергетические системы и только в *системном* смысле непосредственно обеспечивают функционирование технологических комплексов промышленных предприятий.

Очевидно, что курсы Общей теплотехники не дают представления о теплоэнергетическом комплексе промышленного предприятия, непосредственно обеспечивающем производство на всех реальных промышленных предприятиях по отраслям, то есть не решают поставленную общеобразовательную задачу. Общая теплотехника в существующем виде не достигает поставленных учебных целей.

Устранить этот недостаток можно включением в общеобразовательный курс предмета Энергетические системы промышленных предприятий с целью повышения качества теоретической инженерной подготовки к практической инженерной деятельности на промышленных предприятиях всех отраслей.

Возможны два варианта такого включения. Механическое включение курса энергетических систем в существующие курсы Общей теплотехники в качестве третьей составной части:

- теоретические основы теплотехники;
- устройства, машины и агрегаты;
- теплоэнергетические системы промышленных предприятий.

Второй вариант предполагает качественную перестройку курсов общей энергетики, которая включает в себя изменения формы и содержания существующего общеобразовательного курса «Общей теплотехники». Изучению устройств, машин и агрегатов, а также другого оборудования источников, сетей и приемников энергетических систем необходимо оформить как изучение элементной базы энергетических систем. Это позволит придать курсу большую системную направленность.

Далее следует признать, что функционирование реальных промышленных предприятий обеспечивается реальными энергетическими системами, а не отдельными устройствами, машинами и

Введение

агрегатами, и в соответствии с содержанием целесообразно изменить название курса с «Общей теплотехники» на «Общую энергетику» или «Промышленные энергетические системы». Это позволило бы устранить досадный разрыв между теорией и практикой инженерного дела и значительно повысить качество теоретической подготовки инженеров к практической деятельности на промышленных предприятиях. Изучение энергетики промышленных предприятий необходимо поднимать с элементарного уровня общей теплотехники на системный уровень промышленной энергетики для всех инженерных специальностей.

Все сказанное о теплоэнергетической части может быть отнесено к электрической, с соответствующими поправками.

Литература по теплоэнергетическим системам промышленных предприятий

По всем отдельным теплоэнергетическим системам промышленных предприятий имеется достаточно большое количество специальной литературы: учебников и пособий, справочников, монографий, строительных норм и правил, инструкций по эксплуатации. Вся эта литература обеспечивает изучение, проектирование, строительство, пусконаладку и эксплуатацию каждой из теплоэнергетических систем и адресована специалистам по тем или иным системам, или группам систем.

Однако, как указывалось выше, существует объективная потребность первичного ознакомления с теплоэнергетическим комплексом промышленных предприятий *в целом* как для специалистов по промышленной энергетике, так и для всех инженерных специальностей. Анализ публикаций и практики промышленного производства показывает, что эта потребность существует объективно. Литературы здесь гораздо меньше, но последовательность и содержание публикаций указывает на развитие науки о промышленной энергетике в сторону системного изучения теплоэнергетического комплекса промышленных предприятий. Укажем, как на основные из них, на работы [1 - 4].

В работе К.В.Булгакова “Энергоснабжение промышленных предприятий” ([4], 1966 г., 12000 экз.) сделана одна из первых попыток системно подойти к промышленной энергетике: ставится задача и приводится общая часть системного подхода к энергетике промышленного предприятия, содержатся сведения как по электрической, так и по теплоэнергетической составляющим энергетического комплекса, приводятся данные по электрическим, тепловым и воздушным сетям, по системам водоснабжения и топливо-

Введение

снабжения. Большая часть пособия посвящена не системам, а отдельным энергоустановкам, энергетическим балансам, вторичным ресурсам и другим общим вопросам энергетических систем.

В работе С.Б.Старка «Теплоэнергетическое хозяйство металлургических заводов» ([14], 1966 г., 2200 экз.) достаточно полно рассмотрены элементная база и теплоэнергетические системы металлургических заводов, кроме систем водоснабжения. К сожалению, книга вышла малым тиражом и достаточно давно.

В работе Ю.И.Розенгарта с соавторами (кафедра промышленной теплоэнергетики Днепропетровского металлургического института) «Теплоэнергетика металлургических заводов» ([3], 1985 г., 4500 экз.) системный подход, хотя и не заявлен прямо, обеспечен отраслевой заданностью на предприятия черной металлургии. Крупные предприятия этой отрасли имеют богатый набор теплоэнергетических систем, что позволяет описать большинство из них на типовом промышленном предприятии и рекомендовать этот материал для других промышленных предприятий с меньшим набором систем. Приведены принципиальная схема энергоснабжения металлургического завода, схема снабжения природным газом, теоретические основы и оборудование систем Теплоснабжения, воздухоснабжения, кислородоснабжения, водоснабжения. Однако сами эти системы как целостные технические объекты не выделены ни текстуально, ни графически, что затрудняет их изучение.

Большая часть книги посвящена тому, что авторы называют «теплоэнергетикой (отдельного металлургического передела)»: доменного, коксового, сталеплавильного и других производств. С таким употреблением термина трудно согласиться, ибо теплоэнергетика есть то *общее*, что объединяет текстильное, хлебопекарное или металлургическое производство, а специальное в данном случае относится к технологии тепловой обработки различных материалов (зачастую в производстве даже не продуктов, а полупродуктов), к теплотехнике отдельного передела. Эти же данные можно эффективно использовать в третьей части промышленной энергетики - энергетики технологии.

В целом же популярный учебник широко используется для подготовки металлургов и теплоэнергетиков.

Работа Б.В.Сазанова и В.И.Ситаса (кафедра промышленных теплоэнергетических систем Московского энергетического института (технического университета)) «Теплоэнергетические системы промышленных предприятий» ([2], 1990 г., 9000 экз.) своим названием и направленностью впервые наиболее полно отвечает решению поставленной проблемы. Прямо заявлен системный подход к теплоэнергоснабжению промышленных предприятий и рассмотре-

Введение

ны общие вопросы теплоэнергетических систем промышленных предприятий: значение, взаимосвязь отдельных систем, влияние на энергоиспользование на промышленном предприятии, основы построения, компьютерного моделирования и оптимизации, эксплуатации и оперативно-диспетчерского управления паровыми и газовыми системами. Подробно рассмотрены вопросы систем тепло - и пароснабжения, систем доменного и коксового газов. Также имеются сведения по теплотехнологии отдельных процессов черной металлургии, которые могут быть использованы в энергетике теплотехнологии. К сожалению, сведения по остальным системам теплоэнергоснабжения приведены в недостаточном объеме, что затрудняет их изучение.

Наиболее полно и впервые теплоэнергетические системы промышленных предприятий представлены в книге "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" ([1], 1991г., 20000 экз., раздел 7, коллектив авторов кафедры промышленных теплоэнергетических систем Московского энергетического института). Содержание этого раздела справочника и взято за основу содержания (в описательной части) и расположения материала данного пособия.

РАЗДЕЛ 1 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Общие сведения о системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий

Промышленные предприятия выпускают все виды промышленной продукции. Для производства промышленной продукции используются сырье и энергия.

Промышленная теплоэнергетика поставляет промышленным предприятиям все виды энергии и энергоносителей: электроэнергию, теплоту, пар, воду, воздух, кислород и другие.

Для промышленного предприятия источниками энергии и энергоносителей могут быть как внешние системы, так и системы теплоэнергоснабжения самого промышленного предприятия. Небольшие промышленные предприятия (например, хлебозаводы, ремонтные и сервисные предприятия) могут не иметь собственных источников теплоэнергоснабжения и получать все виды энергии из внешних по отношению к предприятию систем. Крупные промышленные предприятия (например, металлургические комбинаты, машиностроительные и нефтеперерабатывающие заводы) могут иметь собственные источники теплоэнергоснабжения и развитые теплоэнергетические системы промышленного предприятия.

Промышленные предприятия имеют в своем составе технологические и энергетические установки. Совместно они образуют производственный комплекс.

Технологические установки – это агрегаты и системы, которые выпускают продукцию промышленных предприятий. Пример технологических установок и систем - доменная печь, прокатные станы, аглофабрика, коксовые батареи.

Энергетические установки – это агрегаты, которые производят, преобразуют, транспортируют, распределяют потоки энергии и энергоносителей, а также обезвреживают выбросы и загрязнения как энергетических, так и технологических установок. Энергетические установки: ТЭЦ, ТЭС, ПВС, системы коммуникаций

Совокупность энергетических установок и систем образуют систему теплоэнергоснабжения промышленного предприятия (СТЭС ПП).

Половина потребляемого промышленностью топлива и более трети электроэнергии *преобразуется* на специальных станциях и установках в энергетический потенциал разнообразных энергоносителей, используемых в технологическом комплексе предприятия:

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

- теплоту пара и горячей воды;
- энергию давления сжатого воздуха;
- холод технической воды, аммиака или искусственных растворов и т.п.

Остальная часть топлива и электроэнергии *используется* в технологическом комплексе *непосредственно*.

Около 30% необходимой теплоты, 95% электроэнергии, 100% природного газа, твердого и жидкого топлива промышленные предприятия получают из мощных общегосударственных (единых) и районных энергетических систем:

- единой системы топливоснабжения ЕСТ;
- единой системы газоснабжения ЕСГ;
- единой системы электроснабжения ЕЭС;
- районной системы теплоснабжения РСТ.

Остальная потребность в теплоте и других необходимых предприятию энергоносителях обеспечивается функционирующим на каждом предприятии набором специальных энергетических станций [1].

Состав систем теплоэнергоснабжения

Система теплоэнергоснабжения промышленного предприятия (СТЭС ПП) - единый, взаимосвязанный технически и экономически комплекс, включающий:

- сооружения и установки, обеспечивающие прием, трансформацию и аккумуляцию энергоресурсов и энергоносителей от общегосударственных или районных энергосистем;
- энергетические станции и установки предприятия для централизованной выработки остальных необходимых потребителям предприятия энергоресурсов и энергоносителей, их трансформации и аккумуляции: ТЭЦ, котельные, насосные, компрессорные, воздухоразделительные станции и т.д.;
- утилизационные установки и станции, производящие энергоносители за счет использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) технологического комплекса предприятия: утилизационные ТЭЦ, котлы-утилизаторы (КУ), установки по очистке и повторному использованию сточных вод, по улавливанию и очистке горючих отходов технологических процессов;
- трубопроводные и иные подсистемы, обеспечивающие транспортировку к потребителям предприятия и распределение между ними энергоносителей и энергоресурсов, произведенных его энер-

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

гетическими станциями и утилизационными установками, а также полученных из общегосударственных или районных энергосистем.

Системы электроснабжения в состав СТЭС ПП не включены, хотя связи с ними учитываются при анализе и оптимизации СТЭС ПП.

Основной целью функционирования СТЭС ПП является обеспечение потребностей технологического комплекса энергией строго определенного качества и с заданным уровнем надежности с помощью набора различных энергоносителей. Система теплоэнергоснабжения промышленного предприятия складывается из набора отдельных *систем энергоснабжения*, каждая из которых производит конкретный вид энергоносителя и является *подсистемой* СТЭС ПП.

На большинстве промышленных предприятий в состав СТЭС ПП в качестве основных подсистем входят:

- система теплоснабжения;
- система пароснабжения;
- системы водоподведения и водоотведения;
- системы воздуховоснабжения;
- система газоснабжения;
- системы снабжения жидким и твердым топливом.

Во многих случаях к ним добавляются:

- системы обеспечения продуктами разделения воздуха;
- системы кондиционирования воздуха;
- системы производства холода;
- системы производства защитных газов.

Энергетические станции и установки СТЭС ПП, производя несколько видов энергоносителей или производя один, а потребляя другие энергоносители, связывают подсистемы друг с другом и оказывают влияние на режимы и показатели работы каждой из них. Связи между подсистемами возникают и через те технологические аппараты и установки, которые потребляют энергоносители из одних подсистем, а произведенные за счет ВЭР в утилизационных установках иные энергоносители направляют к потребителям через другие подсистемы [1].

Обобщенная схема теплоэнергоснабжения промышленного предприятия

Состав систем теплоэнергоснабжения конкретного промышленного предприятия определяется:

- потребностями предприятия для выработки его продукции;

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

- возможностью теплоэнергоснабжения от внешних источников;
- размерами предприятия и объемами производства.

Поэтому составы систем теплоэнергоснабжения на разных промышленных предприятиях различаются в такой же степени, в какой различны сами промышленные предприятия.

Наиболее полный перечень систем теплоэнергоснабжения может быть отражен в обобщенной системе теплоэнергоснабжения. Состав же систем конкретного предприятия может быть более узким, в зависимости от вышеуказанных причин.

На рис.1 изображена обобщенная схема теплоэнергоснабжения промышленного предприятия.

Система электроснабжения обеспечивает потребителей промышленного предприятия электрической энергией. Потребители промышленного предприятия обеспечиваются электроэнергией в общем случае от единой системы электроснабжения ЕСТ. Крупные промышленные предприятия могут иметь собственные электростанции (ТЭЦ). Собственные электростанции покрывают только часть нагрузки (например, 70%), остальную часть (например, 30%) покрывают поставки единой системы электроснабжения. С точки зрения теплоэнергетики важно отметить, что вся собственная электроэнергия промышленных предприятий и свыше 80 - 85% электроэнергии в ЕЭС вырабатывается на тепловых электростанциях.

Система теплоснабжения обеспечивает промышленное предприятие электроэнергией, теплотой (на водяном или паровом теплоносителе), горячей водой и паром. Электроэнергия, произведенная на ТЭЦ или ПВЭС (паровоздуходувных электростанциях), поступает в систему электроснабжения.

В общем случае источником теплоты, горячей воды и пара для промышленных предприятий являются внешние Районные системы теплоснабжения РСТ. В состав РСТ может входить ТЭЦ, паровые или водогрейные котельные, обслуживающие промышленный или городской район электроэнергией, теплотой и паром.

Прием энергоносителей от внешних систем на территорию промышленного предприятия осуществляют центральные тепловые пункты ЦТП. На ЦТП осуществляется прием, измерение, регулирование и поддержание параметров теплоты и пара, поступающих на территорию промышленного предприятия от внешней районной системы теплоснабжения РСТ.

Крупные промышленные предприятия могут иметь собственные источники электроэнергии, теплоты и пара.

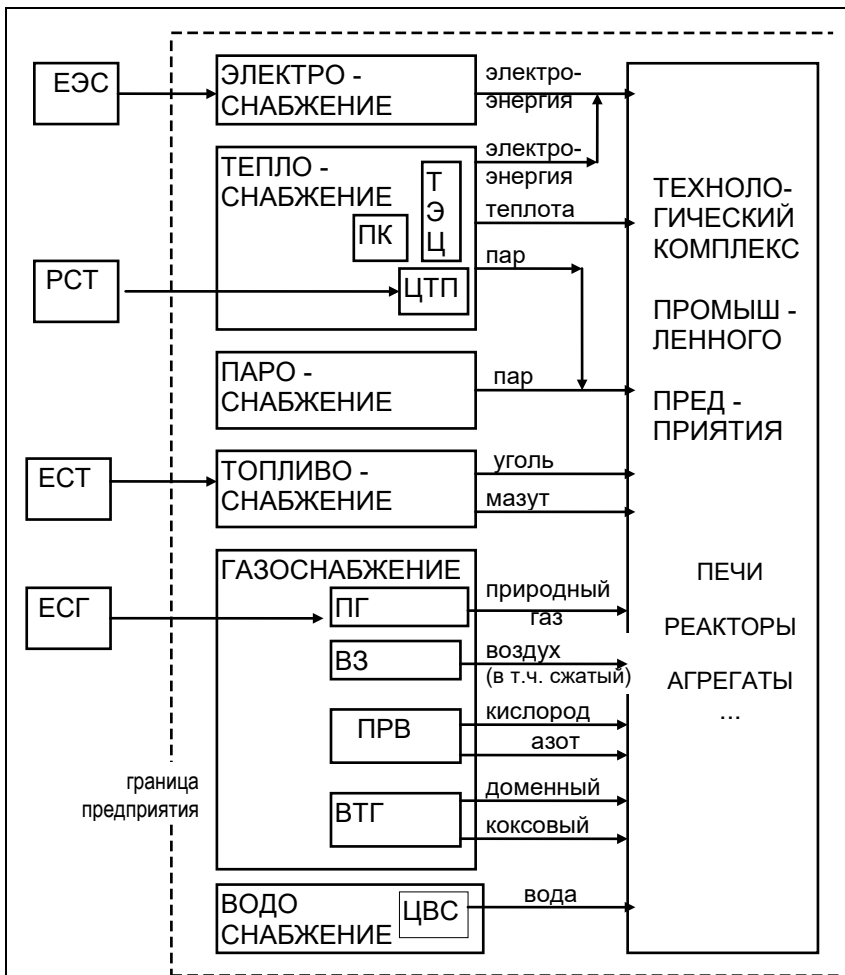


Рис. 1. Обобщенная схема теплоэнергоснабжения предприятия

ЕЭС - единая система электроснабжения; ПК - паровая котельная;
 РСТ - районная система теплоснабжения; ТЭЦ - теплоэлектроцентраль;
 ЕСГ - единая система газоснабжения; ЦТП - центральный тепловой пункт;
 ЕСТ - единая система топливоснабжения; ЦВС - Центральная Водная Станция;
 ПГ - система снабжения природным газом; ВЗ - подсистема снабжения воздухом;
 ПРВ - подсистема снабжения продуктами разделения воздуха;
 ВТГ - подсистема снабжения вторичными топливными газами.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Собственными источниками электроэнергии, теплоты и пара на промышленном предприятии являются теплоэлектроцентрали ТЭЦ, паровоздуховные электростанции ПВЭС, паровые котельные ПК и другие источники пара и горячей воды. На ТЭЦ вырабатывают все виды энергоносителей: электроэнергию, теплоту и пар. Паровые котельные ПК вырабатывают теплоту и пар. Производимый пар используется как в системах теплоснабжения, так и в системах пароснабжения промышленных предприятий.

Системы пароснабжения снабжают потребителей водяным паром. Источниками в системах пароснабжения могут быть теплоэлектроцентрали ТЭЦ, паровые котельные ПК, районные системы теплоснабжения РСТ через центральные тепловые пункты ЦТП. Дополнительно пар могут поставлять утилизационные источники пара, работающие на вторичных энергоресурсах (ВЭР): котлы-утилизаторы и системы испарительного охлаждения (СИО).

Системы топливоснабжения снабжают промышленное предприятие топливом твердым и жидким, как правило, углем и мазутом. Источником топлива для промышленного предприятия является внешняя общепромышленная единая система топливоснабжения ЕСТ, включающая в себя месторождения угля и нефти, транспортные системы, предприятия нефтехимической переработки.

Системы топливоснабжения промышленных предприятий включают в себя хранилища угля или мазута, транспортные устройства, мазутопроводы, системы подготовки углей к сжиганию.

Системы газоснабжения обеспечивают промышленные предприятия различными газами: воздухом, топливными газами, продуктами разделения воздуха, защитными газами.

Большую группу представляют собой топливные газы. Центральное место здесь занимает природный газ ПГ. Кроме того, многие предприятия побочно производят вторичные топливные газы, наибольший объем среди которых занимают доменный газ и коксовый газ. Встречаются также такие топливные газы, как ферросплавный, конвертерный, генераторный и другие.

Среди продуктов разделения воздуха чаще всего потребляют кислород, азот и аргон.

Обеспечение промышленных потребителей каждым из перечисленных газов осуществляют специальные автономные, независимые системы. Крупнейшими системами газоснабжения на промышленных предприятиях являются системы воздухоснабжения, системы снабжения природным газом, системы доменного газа, системы коксового газа. Важными системами являются системы снабжения продуктами разделения воздуха.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Системы обеспечения воздухом представляют собой целую подсистему общей системы газоснабжения и обеспечивает промышленных потребителей сжатым и вентиляторным воздухом.

Системы водоснабжения обеспечивают промышленное предприятие водой. В своем составе системы технического водоснабжения имеют подсистемы водоподведения и водоотведения, водозаборные и насосные станции, очистные сооружения и устройства охлаждения оборотной воды.

Системы промышленного теплоснабжения

Общие сведения

Основная задача систем промышленного теплоснабжения снабжение потребителей промышленного предприятия теплотой и горячей водой.

В состав систем теплоснабжения входят:

- источники тепла (котельная, ТЭЦ);
- тепловые сети и их оборудование (арматура, КИП) ;
- тепловые пункты и вводы;
- инженерные коммуникации, здания, сооружения.

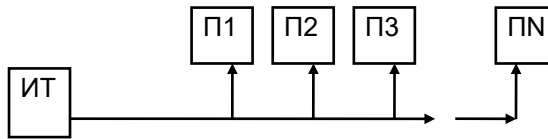
В качестве теплоносителя используют воду и водяной пар. В соответствии с этим системы теплоснабжения делятся на водяные и паровые. Каждые из них имеют свои достоинства и недостатки. На рис. 2 изображены принципиальные схемы систем теплоснабжения.

Основные признаки классификации систем теплоснабжения - вид теплоносителя и схема его движения. По виду теплоносителя схемы теплоснабжения делятся на водяные и паровые. По характеру движения теплоносителя схемы делятся на:

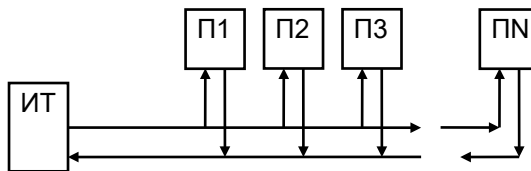
- однотрубные, в которых теплоноситель движется только в одном направлении: от источника теплоты к потребителям;
- двухтрубные, в которых теплоноситель движется не только от источника теплоты к потребителям, но и обратно (к потребителям движется пар, а от потребителей возвращается конденсат).

Следующим важным признаком классификации систем теплоснабжения является схема присоединения тепловой сети к потребителю.

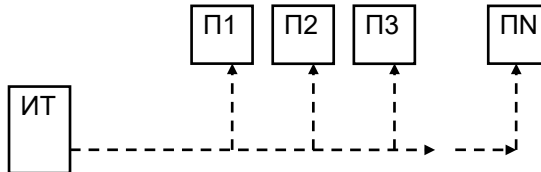
Водяная открытая однотрубная система



Водяная закрытая двухтрубная система



Паровая однотрубная система



Паровая система с возвратом конденсата

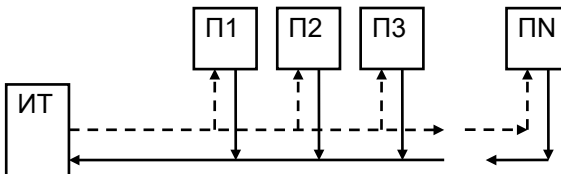


Рис. 2. Принципиальные схемы систем теплоснабжения

ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | |
|--------|-----------------------|
| - вода | ИТ - источник теплоты |
| - пар | ПN - потребители |

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

В двухтрубных водяных системах теплоноситель может частично расходоваться у потребителя для смешивания с холодной водой и получения горячей воды. Это *открытая* схема теплоснабжения потребителей. При *закрытой* схеме теплоноситель сети не расходуется, а только отдает теплоту холодной воде потребителя через поверхностный теплообменник и непрерывно циркулирует по замкнутому контуру от источника теплоты до потребителя.

Имеются и другие системы с более сложными схемами движения теплоносителя.

Водяные системы

Для водяной системы теплоснабжения характерны:

- большая удельная комбинированная выработка электрической энергии на базе теплового потребления;
- сохранение конденсата на электростанции;
- возможность транспортирования теплоты на большие расстояния;
- возможность центрального регулирования основной тепловой нагрузки путем изменения температурного или гидравлического режима;
- более высокий КПД вследствие отсутствия в абонентских установках потерь конденсата и пара, имеющих место в паровых системах;
- повышенная аккумулирующая способность водяной системы.

Основные недостатки водяных систем:

- большой расход электроэнергии на перекачку по сравнению с расходом электроэнергии на перекачку конденсата в паровых системах (этот недостаток имеет существенное значение, когда теплоснабжение ведется непосредственно от котельных, а при теплофикации перерасход электроэнергии на перекачку воды перекрывается выигрышем на комбинированном производстве электроэнергии на электростанции);
- большая чувствительность к авариям;
- утечки теплоносителя из водяных систем в 20 - 40 раз больше, чем в паровых сетях, из-за большей плотности среды;
- большая масса теплоносителя и жесткая гидравлическая связь между всеми точками системы, что сопряжено с опасно-

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

стью превышения допустимых давлений в концевых и пониженных точках системы.

Водяные тепловые сети обычно применяют для удовлетворения отопительно-вентиляционной нагрузки, нагрузки горячего водоснабжения и промышленной технологической нагрузки низкого потенциала (температура ниже 100°C). Паровые сети применяют для покрытия промышленной и технологической нагрузки повышенного потенциала (свыше 100°C).

Водяные системы теплоснабжения делятся на открытые и закрытые.

- в закрытых системах вода, циркулирующая в тепловой сети, используется только как теплоноситель, но из сети не отбирается;
- в открытых системах вода, циркулирующая в тепловой сети, используется как теплоноситель и частично или полностью отбирается из сети для горячего водоснабжения и технологических целей.

Основные достоинства закрытых водяных систем теплоснабжения:

- стабильное качество поступающей в абонентские установки горячей воды, не отличающееся от качества водопроводной воды;
- простота санитарного контроля местных установок горячего водоснабжения и контроля плотности теплофикационной системы.

К недостаткам закрытых водяных систем можно отнести:

- сложность оборудования и эксплуатации абонентских вводов горячего водоснабжения;
- коррозия местных установок горячего водоснабжения из-за поступления в них недеаэрированной водопроводной воды;
- выпадение накипи в водо-водяных подогревателях и трубопроводах местных установок горячего водоснабжения при водопроводной воде с повышенной карбонатной жесткостью.

В закрытых системах теплоснабжения при необходимости приходится принимать меры для повышения антикоррозионной стойкости местных установок горячего водоснабжения или устанавливать на абонентских вводах специальные устройства для обескислороживания или стабилизации водопроводной воды и для защиты от зашламления.

Открытые системы водяного теплоснабжения:
достоинства:

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

- возможность использования для горячего водоснабжения низкопотенциальных (ниже 30 - 40 °С) тепловых ресурсов промышленности;

- упрощение и удешевление абонентских вводов и повышение долговечности местных установок горячего водоснабжения;

- возможность использования для транзитного транспорта теплоты однотрубных линий;

недостатки:

- усложнение и удорожание станционного оборудования из-за необходимости сооружения водоподготовительных установок и подпиточных устройств, рассчитанных на компенсацию расходов воды на горячее водоснабжение (водоподготовка должна обеспечивать осветление, умягчение, деаэрацию и бактериологическую обработку воды) ;

- нестабильность воды, поступающей в водозабор по санитарным показателям;

- усложнение санитарного контроля за системой горячего водоснабжения и увеличение его объема;

- усложнение контроля герметичности системы теплоснабжения.

В зависимости от числа параллельно проложенных трубопроводов, используемых для транспорта теплоты, водяные системы теплоснабжения делятся на однотрубные, двухтрубные и многотрубные. Минимальное число трубопроводов в открытой системе теплоснабжения - один, в закрытой - два.

Выбор системы теплоснабжения (закрытой или открытой) производится на основании технико-экономических расчетов с учетом качества исходной водопроводной воды, степени обеспеченности ею и обязательного условия поддержания требуемого качества горячей воды у потребителей.

При дальнейшем транспорте теплоты в районах с большой нагрузкой горячего водоснабжения при наличии вблизи ТЭЦ или котельной источников воды с низкой окисляемостью экономически оправдывается применение открытой системы теплоснабжения с однотрубным (однаправленным) транзитом и двухтрубной городской тепловой сетью.

Паровые системы

Паровые системы теплоснабжения сооружают двух типов: с возвратом конденсата и без возврата.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

В системах с возвратом конденсата конденсат отводится из тепловых приборов абонентов в сборные баки, откуда подается по конденсатопроводу на электростанцию. В системах без возврата конденсата он отводится из тепловых приборов абонентов и используется в абонентских установках для горячего водоснабжения.

По числу параллельно проложенных трубопроводов паровые системы делятся на однотрубные, двухтрубные и многотрубные.

В однотрубных паровых системах пар подается во все абонентские установки и по одному общему паропроводу. Однотрубные паровые системы применяют и в тех случаях, когда всем потребителям требуется пар одного давления, тепловая нагрузка постоянна в течение круглого года и допустимы перерывы в подаче пара потребителям.

Двухтрубные паровые системы применяют при недопустимости перерывов в подаче пара. Эти системы позволяют:

- обеспечивать круглогодичную подачу пара абонентам, останавливая на ремонт каждый из паропроводов в отдельности;
- подавать потребителям пар разных давлений;
- в периоды малых тепловых нагрузок (например, летом) выключать из работы один из паропроводов и тем самым снижать тепловые потери сети.

Системы сбора конденсата делятся на закрытые и открытые.

В закрытых системах конденсат в конденсатопроводах и сборных баках находится под избыточным давлением и не имеет сообщения с атмосферой. Избыточное давление паровой подушки в сборных баках конденсата принимается в пределах 5 - 10 кПа.

В открытых системах конденсат имеет сообщение с атмосферой. Недостатком открытых систем является коррозия конденсатопроводов, вызываемая кислородом, растворенным в конденсате. Для ослабления процесса аэрации конденсата в открытых системах применяют следующие мероприятия:

- температуру конденсата, поступающего в сборные баки, поддерживают близкой к 100°C;
- конденсат вводят в открытые сборные баки под уровень жидкости;
- в сборном баке помещают поплавки для значительного сокращения поверхности контакта конденсата с воздухом [1].

Паровые системы теплоснабжения отличаются от *систем пароснабжения* тем, что основной своей задачей имеют снабжение потребителей только теплотой, в том числе и без расхода пара из

системы, а системы пароснабжения снабжают потребителей паром, безусловно отдавая его из системы потребителям.

Теплоснабжение промышленных предприятий

При теплоснабжении промышленных предприятий от внешнего источника, что характерно для большинства ПП, не имеющих собственных источников теплоты, на входе в ПП устанавливается целый комплекс оборудования в виде центральных тепловых пунктов (ЦТП).

ЦТП промышленных предприятий (рис.3) сооружаются на вводе магистральных тепловых сетей на промышленную площадку. Схемы присоединения ЦТП зависят от количества потребляемой тепловой энергии, числа и параметров теплоносителей и режимов потребления тепловой энергии. ЦТП небольших предприятий, потребляющих тепловую энергию для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, могут отличаться от ЦТП жилищно-коммунального сектора лишь установкой баков-аккумуляторов горячей воды при 10 и более душевых сетках.

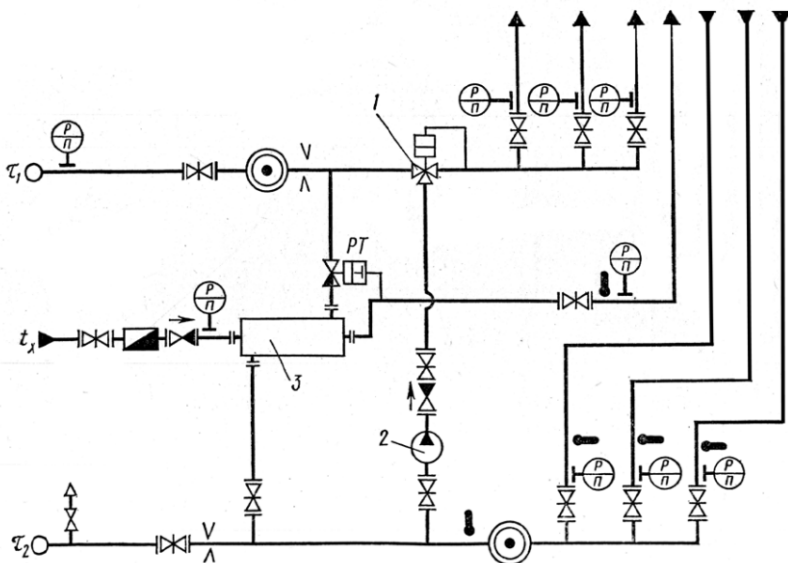


Рис. 3. Схема ЦТП промышленного предприятия с водяным теплоносителем:
1—трехходовой клапан; 2—подмешивающий насос; 3—подогреватель горячего водоснабжения

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

От ЦТП промышленного предприятия тепловая энергия поступает по внутриплощадочным сетям в здания, цехи и сооружения, имеющие, как правило, свои подогревательные установки (вторичные тепловые пункты). При многочисленности цехов, расположенных на территории предприятия, не всегда удается организовать централизованный нагрев воды для горячего водоснабжения в одном пункте. Значительное число крупных предприятий имеет несколько вторичных ТП. В ЦТП рекомендуется устанавливать подмешивающие насосы, позволяющие создать автономный температурный режим для промышленного предприятия. Под центральные тепловые пункты отводятся отдельные помещения или самостоятельные здания. Вторичные тепловые пункты могут размещаться в производственных помещениях.

Часто теплоснабжение зданий в рабочих поселках, расположенных вблизи предприятий, производится от одного источника тепловой энергии. Практика показала, что теплоснабжение поселков необходимо отделять от теплоснабжения предприятий, сооружая для них самостоятельные тепловые пункты [6].

Системы пароснабжения

Назначение, состав и схемы пароснабжения

Система пароснабжения промышленного предприятия является подсистемой общей системы теплоэнергоснабжения промышленного предприятия и включает в свой состав:

- комплекс станций, установок и устройств для генерирования необходимого технологическим и сантехническим потребителям пара требуемых параметров;
- устройства для приема и регулирования количества и параметров пара, получаемого из районных систем теплоснабжения;
- трубопроводы для подачи пара к потребителям и распределения его между ними;
- сооружения и трубопроводы для сбора конденсата пара и возврата его от потребителей к парогенерирующим установкам.

Потребность в паре на технологические нужды определяют на основании испытаний паропотребляющих установок для характерных режимов их работы в течение смены, недели, года [1].

Обобщенная схема системы пароснабжения предприятия

Обобщенная схема системы пароснабжения предприятия изображена на рис.4.

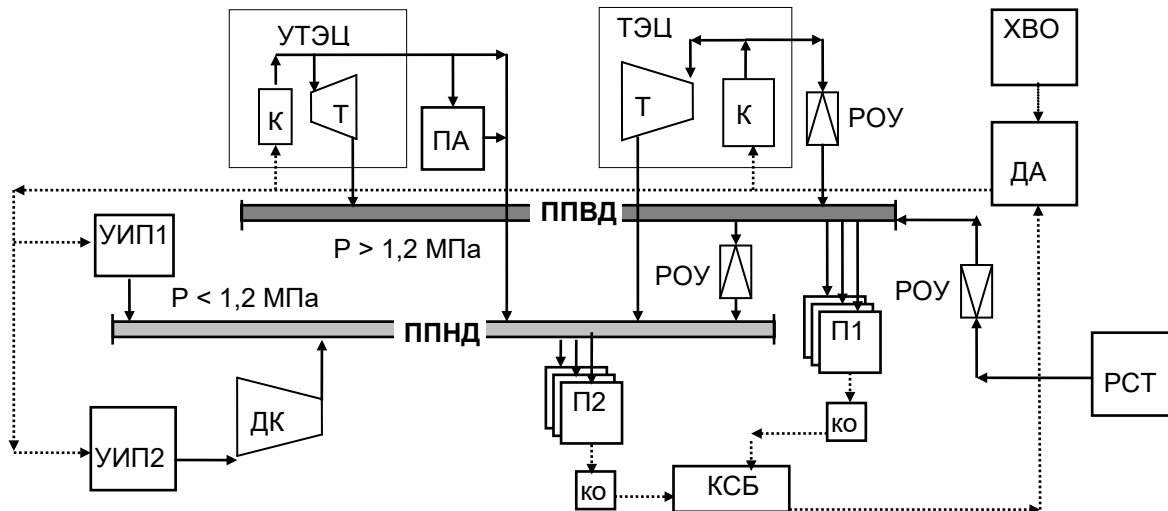


Рис. 4. Обобщенная схема системы пароснабжения промышленного предприятия.

ППВД - паропровод высокого давления;

РОУ - редукционно-охладительная установка;

УТЭЦ - утилизационная ТЭЦ;

П1 - потребители пара высокого давления;

УИП1 - утилизационный источник пара 0,5-2 МПа;

УИП2 - утилизационный источник пара < 0,5 МПа;

ППНД - паропровод низкого давления;

РСТ - районная система теплоснабжения;

ТЭЦ - теплоэлектроцентраль;

П2 - потребители пара низкого давления;

ДК - дожимающий компрессор;

КСБ - конденсатосборный бак;

ХВО - химводоочистка;

ко - конденсатоотводчики;

ДА - деаэрактор;

К - котел;

ПА - паровой аккумулятор;

Т - турбина.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Основу систем пароснабжения промышленных предприятий составляют источники пара и два магистральных трубопровода высокого ($P > 1,2$ МПа) и низкого ($P < 1,2$ МПа) давления.

Источниками пара могут быть котельные агрегаты ПК и ТЭЦ, утилизационные котлы, многочисленные и многообразные испарительные поверхности, элементы испарительных, охлаждающих систем технологических агрегатов.

Вторичным источником пара может быть пар из тепловых отборов турбин.

Еще один источник пара – паровые аккумуляторы. Резервным источником пароснабжения может являться районная система теплоснабжения.

Потребители пара в заводской системе потребляют пар существенно разного давления, поэтому потребители могут быть разделены на 2 категории – потребители низкого и высокого давления. Обеспечение высокого давления обходится дороже в энергетическом и экономическом плане, поэтому обеспечение потребителя низкого давления паром высокого давления невыгодно.

Для потребителей низкого давления организуются свои подсистемы низкого давления. Для паропровода низкого давления резервным источником является паропровод высокого давления, пароснабжение осуществляется через перемычку, на которой установлена редукционно-охладительная установка РОУ.

Потребители пара на промышленном предприятии, как правило используют пар не полностью. Отработавший пар низких параметров (давление и температура) либо сбрасывается в атмосферу, либо конденсируется. Целесообразно собирать этот конденсат и возвращать к источникам пароснабжения для производства химически очищенной воды ХОВ. Для этого в системе пароснабжения имеются системы сбора и возврата промышленного конденсата, которые оборудованы конденсатоотводчиками, конденсатосборными баками.

Парогенерирующие установки и станции

В качестве парогенерирующих установок в системах снабжения паром производственных параметров (0,5 - 0,2 МПа) используются:

- котельные, оборудованные паровыми котлами с рабочим давлением 0,9 - 4,0 МПа, в которых пар генерируется за счет сжигания первичных энергоресурсов (угля, природного газа, мазута и т.п.) или горючих ВЭР, образующихся в технологических агрегатах (доменного и коксового газа, коры и щепы древесины и т.п.);

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

- заводские ТЭЦ, оборудованные паровыми котлами с рабочим давлением 3,5 - 14,0 МПа, отпускающие пар производственных параметров из промышленных отборов или противодавления турбин, а также через РОУ;
- утилизационные ТЭЦ, в которых пар, вырабатываемый в утилизаторах за счет использования теплоты ВЭР (горячих продуктов сгорания топлива в промышленных печах, инертного газа установок сухого тушения кокса и др.), направляется в турбины;
- котлы-утилизаторы;
- системы испарительного охлаждения элементов технологического оборудования (от систем, позволяющих получать пар производственных параметров, пар направляется в систему заводских трубопроводов, а от СИО, вырабатывающих пар низкого давления - в дожимающий компрессор и затем в общезаводскую сеть);
- районные ТЭЦ.

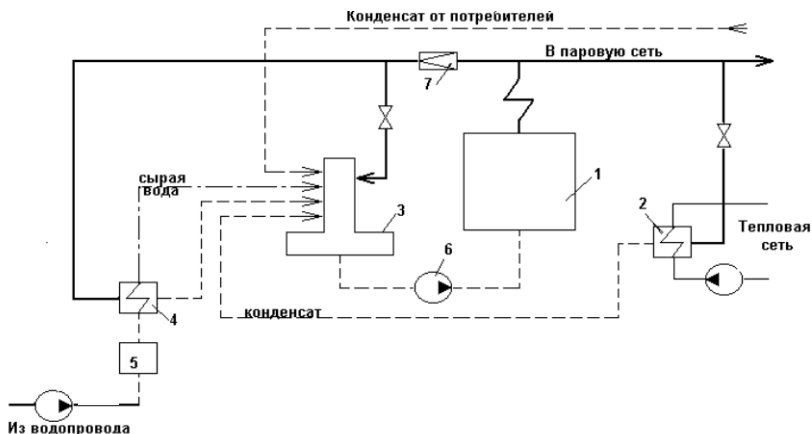


Рис. 5. Принципиальная схема промышленно-отопительной котельной.

1 – паровой котел; 2 – сетевой подогреватель; 3 – деаэрация; 4 – подогреватель химочищенной воды; 5 – блок химической очистки; 6 – питательный насос; 7 – РОУ.

Если по расчетному теплоснабжению сооружение ТЭЦ нецелесообразно, то в качестве основного источника пароснабжения принимается котельная с паровыми котлами низкого или среднего давления. Паропроизводительность и количество котлов котельной выбираются таким образом, чтобы при выходе из строя самого крупного из них оставшиеся, включая резервные, обеспечили покрытие расчетной нагрузки в паре, потребном в технологии, для

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

вентиляции и горячего водоснабжения, а также потребность в паре для отопления при средней нагрузке самого холодного месяца.

При наличии на предприятии горючих или тепловых ВЭР целесообразно и экономически выгодно использовать их в котельных и на ТЭЦ или же частично или полностью осуществлять пароснабжение от утилизационных источников пара, вытесняя при этом пар от котельных и ТЭЦ.

При использовании ВЭР для выработки электроэнергии на УТЭЦ уменьшается количество электроэнергии, получаемой предприятием из энергосистемы.

На выбор оборудования и структуры источника пара в системах пароснабжения промышленных предприятий существенное влияние оказывает характер графиков потребления пара. В большинстве систем пароснабжения сменные, суточные и недельные графики паропотребления характеризуются значительной неравномерностью. Характер годового графика потребления неравномерен и зависит от сезонных колебаний температуры наружного воздуха [1].

Паровые сети

Паровая сеть завода предназначена для транспортировки пара от источников к потребителям и включает в себя:

- разветвленную систему паропроводов, снабженных запорной и регулирующей арматурой;
- дренажными устройствами для отвода конденсата;
- компенсаторами тепловых удлинений;
- опорами;
- тепловой изоляцией.

Для потребителей первой категории, не допускающих перерывов в подаче пара, паровую сеть прокладывают по кольцевой схеме или параллельно с основным паропроводом устанавливают резервный.

При выборе диаметров паропроводов необходимо учитывать изменение удельного объема и температуры пара по длине паропровода.

При пароснабжении от ТЭЦ и УТЭЦ повышение давления отпущаемого пара снижает комбинированную выработку электроэнергии на тепловом потреблении, но обеспечивает требуемое давление пара у потребителя при прокладке паропровода меньшего диаметра. В этом случае для выявления оптимального удельного падения давления в начале паропровода в качестве критерия

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

оптимизации используются годовые приведенные затраты на систему пароснабжения.

Оптимальное удельное падение давления (с учетом местных сопротивлений), отнесенное к 1 км паропровода, зависит в основном от давления пара у потребителя, а оптимальное удельное падение температуры - от его расхода:

Табл. 1 Оптимальные падения давления и температуры.

	Оптимальное падение давления, МПа/км	Оптимальное падение температуры, °С/км
при давлении пара у потребителя, МПа 2,0	0,025 - 0,030	
при давлении пара у потребителя, МПа 0,5	0,065 - 0,080	
при расходе пара, т/ч 100 - 150		4 - 7
при расходе пара, т/ч 600 - 900		1,5 - 2,5

При комплексном обеспечении крупных предприятий и промышленных районов горячей водой с температурой до 150°С и паром давлением 0,5 - 1,5 МПа от ТЭЦ и АТЭЦ, расположенных на расстоянии 15 км и дальше, перспективной является система пароснабжения сетевой водой (ПСВ). Сетевая вода с температурой 170 - 200°С транспортируется от ТЭЦ к потребителям. На месте потребления в испарителях за счет охлаждения сетевой воды до 120 - 150 °С генерируют пар с давлением 0,2 - 0,6 МПа, которое при необходимости увеличивают до требуемого технологическим потребителем значения с помощью компрессоров с электрическим или паротурбинным приводом. После испарителей сетевая вода поступает к потребителям горячей воды. Конденсат пара и охлажденная сетевая вода от потребителей возвращается на ТЭЦ.

Основными факторами, определяющими эффективность схемы ПСВ с единым теплоносителем по сравнению с традиционной схемой непосредственного пароснабжения, является давление пара у потребителя и отношение расчетных значений санитарно-технической (в горячей воде) и паровой технологической нагрузок.

Установки и сооружения для сбора и возврата конденсата технологического пара

Установки и сооружения для сбора и возврата конденсата предназначены для возврата к источникам пароснабжения максимального количества сконденсированного пара при минимальных потерях его теплоты и приемлемых затратах на сооружение и эксплуатацию.

Конденсатоотводчики разных типов используются для вывода конденсата из паропотребляющих аппаратов [1].

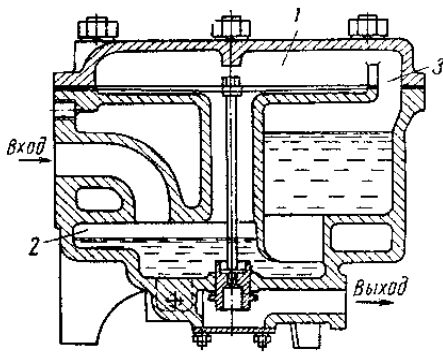
Расширительный бак-сепаратор предназначен для выделения пролетного пара и пара вторичного вскипания из потока конденсата.

Охлаждение и конденсация пара вторичного вскипания осуществляется в поверхностном охладителе конденсата.

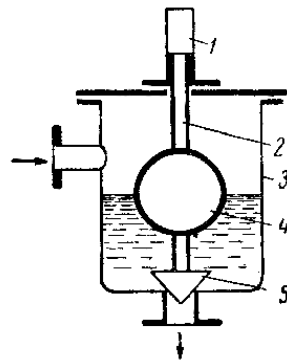
Конденсатный бак предназначен для накопления конденсата, поступающего самотеком от пароиспользующих аппаратов по конденсатопроводам. По конструкции баки разделяются на открытые и закрытые. В закрытых баках поддерживается избыточное давление от 5 до 20 кПа. Они выполняются цилиндрической формы со сферическими днищами и комплектуются запорно-предохранительным клапаном или гидравлическим затвором. Полезный объем конденсатных баков принимается равным 0,8 - 0,85 их геометрического объема.

Вместимость бака должна приниматься из расчета максимального поступления конденсата в течение 20 - 30 минут при отсутствии автоматизации конденсатных насосов и 10 - 15 минут - при ее наличии. Возврат конденсата осуществляют по конденсатопроводу, общему для нескольких точек сбора конденсата. Необходимым условием обеспечения стабильного гидравлического режима системы возврата конденсата является равенство приведенных напоров конденсатных насосов, установленных во всех точках сброса конденсата.

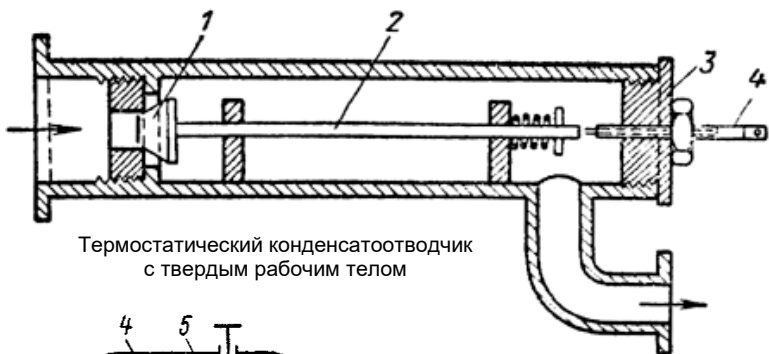
Условием надежной работы системы возврата конденсата является обеспечение бескавитационной работы конденсатного насоса, что достигается размещением конденсатного бака выше насоса на определенную высоту [1].



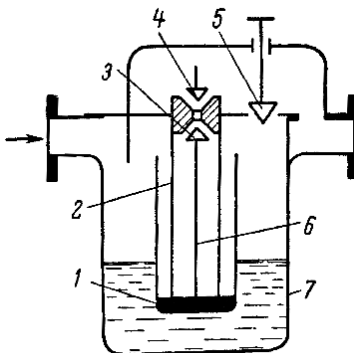
Мембранный конденсатоотводчик



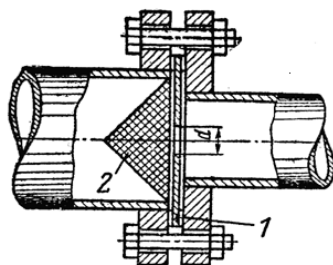
Конденсатоотводчик с закрытым поплавком



Термостатический конденсатоотводчик с твердым рабочим телом



Конденсатоотводчик с открытым поплавком



Подпорная шайба

Рис. 6. Типы конденсатоотводчиков.

Системы технического водоснабжения

Общие сведения

Система технического водоснабжения – комплекс сооружений, оборудования, трубопроводов, обеспечивающий забор природной воды из источника, очистку, охлаждение, специальную обработку, транспортировку, подачу ее потребителю, а также сооружения, необходимые для приема отработавшей воды и подготовки ее для повторного использования.

Для технического водоснабжения используется вода из поверхностных источников. Подземные воды разрешается использовать только при необходимости обеспечения технологических процессов водой с температурой до 15°C и наличии запасов подземных вод, достаточных в первую очередь для хозяйственно-питьевых нужд.

От 70 до 85% воды, поставляемой системами технического водоснабжения, используется на промышленных предприятиях как охлаждающая среда в различных технологических агрегатах. Эта вода при ее использовании только нагревается.

От 10 до 20% технической воды теряется за счет испарения (при охлаждении кокса, грануляции шлака, мокрой очистке горячих запыленных газов и т.п.) или входит в состав производимого продукта (пар, сахар, хлеб, напитки и т.п.), то есть используется потребителями безвозвратно.

От 5 до 12% технической воды используется для промывки рудных и других материалов от примесей, а также для транспорта различных дробленых и зернистых материалов. Эта вода при использовании только загрязняется. Эта вода может нагреваться, если промываемые и транспортируемые материалы имеют повышенную температуру [1].

В соответствии с этими особенностями потребителей технической воды можно разделить на 5 групп.

П1 – вода в процессе использования только нагревается.

П2 – вода только загрязняется.

П3 – вода нагревается и загрязняется.

П4 – вода безвозвратно используется на производство пара.

П5 – вода безвозвратно используется на изготовление другой продукции (грануляции шлака, тушение кокса, пищевое производство).

После потребления воды качество ее изменяется:

1 – вода чистая холодная;

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

- 2 – вода загрязненная холодная;
- 3 – вода чистая горячая;
- 4 – вода загрязненная горячая;
- 5 – продувочная вода оборотных циклов.

По принципу организации использования воды различают схемы:

- прямоточные;
- последовательного использования воды;
- оборотные;
- каскадные бессточные.

Эти схемы представляют собой ряд последовательного развития схем технического водоснабжения с целью уменьшения забора воды из источника, и снижения сброса использованной воды в природный источник.

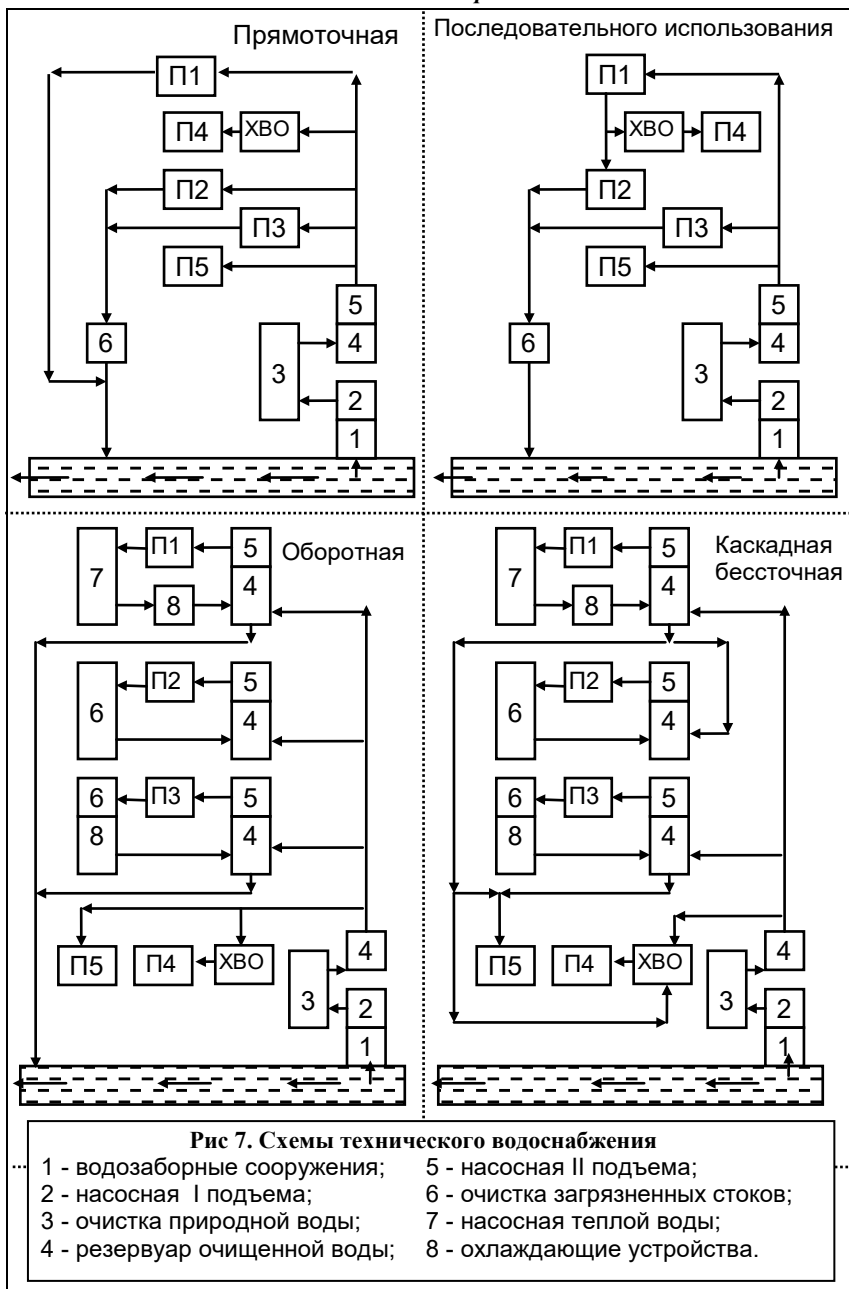
Схемы технического водоснабжения

Последовательное развитие схем технического водоснабжения представлено на рис.4.

Прямоточная схема. В этой схеме каждый потребитель получает необходимое количество воды из магистрального водопровода по отдельному водоводу, независимо от других потребителей. Кроме этого, каждый потребитель имеет независимый, автономный сброс воды в природный источник. Такая организация водоснабжения требует большого водозабора воды, мощного центрального коллектора воды, мощных водозаборных и насосных станций. Схема характеризуется также максимальным водозабором воды из природного источника и максимальным сбросом использованной воды в природный источник. На перекачку большого количества воды требуется большое количество электроэнергии.

Последовательное использование воды. Основная идея этой схемы состоит в уменьшении водозабора из природного источника путем использования чистой (только нагретой) сбросной воды после использования у потребителя П1 на водоснабжение потребителей П2 и П4. В этом случае общее количество забираемой воды уменьшается на величину расходов на потребители П2 и П4.

Оборотная схема. Идея этой схемы состоит в резком снижении водозабора из природного источника путем многократного использования для каждого потребителя его же сбросной воды. Для этого у потребителя П1 воду нужно охладить, у потребителя П2 воду нужно очистить, у потребителя П3 воду нужно охладить и очистить. Каждый из потребителей имеет собственный оборотный контур включая установку очистки, охлаждения.



Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Забор воды из внешнего источника идет только на подпитку контура, что уменьшает водозабор примерно на порядок.

Сброс воды определяется только продувкой контура и промывкой фильтров, что также резко снижает сброс воды в природный источник. Соответственно для всей системы уменьшаются размеры основных сооружений водозабора, устройство очистки, насосных станций, магистрального водопровода.

Каскадная бессточная схема. Основная идея: опираясь на обратную схему, замкнуть все сбросные потоки на потребителей П4 и П5, которые используют воду безвозвратно. Сбросные потоки в каскадной схеме тоже на порядок меньше, чем в прямоточной. Это означает, если потребность воды в П5 и П4 равна или превышает эти сбросы, схема может быть полностью бессточной.

Эта схема может отличаться минимальным водозабором воды из природного источника и минимальным (теоретически нулевым) сбросом использованной воды в природные источники.

Охлаждающие устройства в оборотных системах водоснабжения

В качестве охлаждающих устройств в оборотных системах водоснабжения промышленных предприятий наибольшее распространение получили:

- вентиляторные градирни;
- брызгальные бассейны;
- теплообменные аппараты воздушного охлаждения;
- башенные градирни;
- водохранилища-охладители.

Вентиляторные градирни представляют собой сооружения для охлаждения воды в оборотных системах водоснабжения с принудительной подачей воздуха в оросительное пространство вентиляторами.

Вентиляторные градирни допускают более высокие тепловые нагрузки, обеспечивая более глубокое и устойчивое охлаждение воды, чем в брызгальных бассейнах или башенных градирнях.

При одинаковой производительности сооружение вентиляторных градирен на 50-80% дешевле, чем башенных, и на 30-50% - чем брызгательных бассейнов. Вместе с тем, при их эксплуатации дополнительно расходуется электроэнергия на привод вентиляторов.

Вентиляторные градирни выполняют секционными с индивидуальным вентилятором на каждую секцию или же одновентиляторными. Оптимальное число секций в оборотном цикле: от 4 до

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

8, минимальное 2. Вентиляторные установки в большинстве типов градирен располагаются вверху, просасывая воздух через ороситель со скоростью 4-5 м/с.

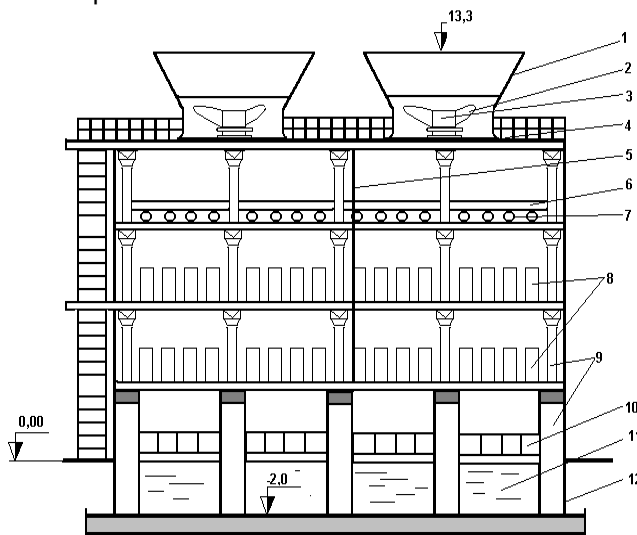


Рис. 8 Вентиляторная многосекционная градирня конструкции Союзводоканал проекта.

1 - диффузор; 2 - вентилятор; 3 - электродвигатель; 5 - межсекционная перегородка; 6 - водоуловитель; 7 - водораспределительная система; 8 - ороситель; 9 - железобетонный каркас; 10 - окна для входа воздуха; 11 - водосборный бассейн; 12 - обшивка.

Оросительное устройство - одно из основных элементов градирни, предназначенное для увеличения поверхности соприкосновения между охлаждаемой водой и охлаждающим воздухом.

Секционные градирни проектируются с площадью оросителя от 2 до 200 м² в каждой секции, а одновентиляторные - от 400 до 1200 м².

В градирнях с брызгальным оросителем вода из расположенных в водораспределителе сопел разбрызгивается ими и падает вниз, омываясь отсасываемым вентилятором воздухом, охлаждается за счет частичного испарения и собирается в бассейне. Такие градирни применяют при малых расходах воды или при ее значительном загрязнении.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Плотность орошения - количество воды, проходящей через единицу площади сечения градири в единицу времени, составляет 1,4 - 1,7 кг/(м²*с).

При использовании капельного оросителя вода с содержанием взвешенных частиц не более 200 мг/кг вытекает через отверстия в распределительных лотках и мелко разбрызгивается, ударяясь о специальные отбойные тарелки и расположенные под ними в несколько рядов рейки. В этих оросителях достигается плотность орошения 1,7 - 2,2 кг/(м²*с). Аэродинамическое сопротивление при скорости воздуха $W = 1,6 - 1,8$ м/с составляет 90 -120 Па.

В пленочном оросителе охлаждаемая вода стекает тонкой пленкой (0,3 - 0,5 мм) по системе вертикально расположенных щитов. Плотность орошения достигает величины $g = 2,2 - 4,4$ кг/(м²*с). Затраты на рейки и щиты повышают стоимость капельных и пленочных оросителей, повышается и их аэродинамическое сопротивление.

Выбор типа оросителя производят, исходя из сопоставления его охлаждающей способности со стоимостью оросителя и создаваемого им аэродинамического сопротивления.

Брызгальный бассейн представляет собой открытый резервуар прямоугольной формы из бетона, железобетона, кирпича или камня. Глубина резервуара 1,5-2,0 м.

Над поверхностью резервуара выше уровня воды в нем на высоте 1,5-2,0 м размещается система распределительных труб. На трубах установлены брызгальные устройства с соплами.

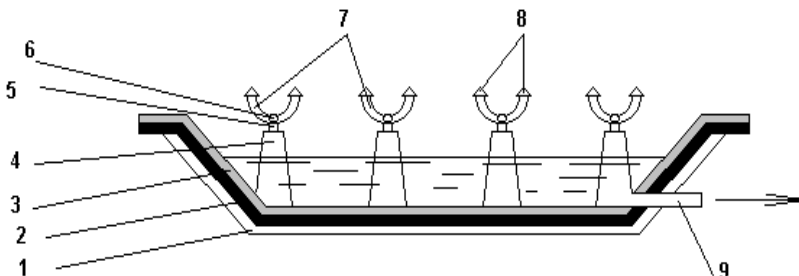


Рис. 9 Брызгальный бассейн

- 1 – крупный песок; 2 – мятая глина; 3 – бетонные плиты;
4 – стальные опорные конструкции; 5 – роликовые опоры;
6 – распределительные трубы; 7 – брызгалки;
8 – сопла; 9 – штуцер отвода охлаждающей воды.

**Сооружения для очистки загрязненных стоков
в оборотных системах водоснабжения**

Разработка бессточных систем водоснабжения промышленных предприятий и комплексов становится основным направлением в решении задач предотвращения загрязнения водоема и экономного расходования свежей воды.

Особое внимание при выборе систем технического водоснабжения на крупных промышленных предприятиях или комплексах необходимо обращать на сочетание локальных и общезаводских систем, на объединение их с целью повторного использования стоков, так как использование очищенных сточных вод в системах оборотного водоснабжения является центральным вопросом общей проблемы перевода предприятий на бессточный режим.

В сточных водах могут содержаться шламы, кислоты, масла, органические и поверхностно-активные вещества и т.п. Наиболее целесообразно проводить локальную очистку стоков от специфических загрязнений данной установки или производства, а затем - централизованную от общих для большинства установок загрязнений.

Очистку от механических примесей природных и сточных вод осуществляют в специальных сооружениях для осветления воды.

Время осаждения различных по составу и размерам взвешенных частиц, содержащихся в воде, существенно различно.

Первая ступень очистки

В системах технического водоснабжения в качестве первой ступени осветления используются горизонтальные и радиальные отстойники, гидроциклоны, крупнозернистые фильтры, очищающие воды от частиц определенной крупности. При необходимости очистки воды и от мелкодисперсной взвеси используются в качестве второй ступени очистки осветлители и фильтры.

Горизонтальные отстойники - железобетонные, прямоугольные в плане (одноэтажные или двухэтажные) бассейны воды. Для выравнивания потоков в бассейнах устанавливают через 3-6 метров вертикальные, продольные перегородки. Удаление осадка со дна отстойника гидравлическое (без остановки работы) или механическое (при опорожнении отстойника или отсека). Глубина горизонтального отстойника $H = 1,5 - 3,0$ м.

Радиальные отстойники - круглые в плане бассейны, снабженные устройством для непрерывного удаления выпадающей взвеси.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

В центре круглого бассейна расположен водораспределитель в виде вертикального полого дырчатого цилиндра радиусом 2 - 4 м. Вода через центральный водораспределитель поступает в бассейн, движется к его периферии и сливается в кольцевой желоб.

Дно бассейна имеет уклон в 5 - 8 ° от периферии к центру. В центре расположен приямок для сбора осадка. Осадок сгребается скребками сгустителя, которые вращаются в круглом бассейне. Из приямка осадок удаляется гидравлическим способом. Глубина отстойника у периферии $H = 1,5 - 5,0$ м.

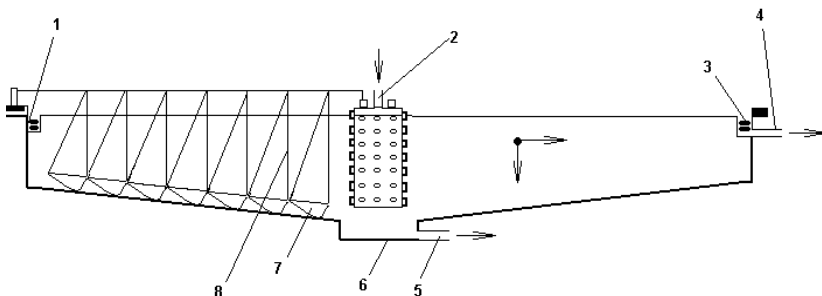


Рис. 10 Радиальный отстойник.

- 1 - железобетонный резервуар; 2 - подвод воды; 3 - водосливный желоб;
4 - водоотводящая труба; 5 - шламоотводящая труба; 6 - приямок;
7 - скребок; 8 - ферма.

Безнапорные гидроциклоны имеют тангенциальный подвод осветляемой воды. Медленное вращение осветляемой воды в гидроциклоне ускоряет коагуляцию и выпадение взвешенных частиц. Высота цилиндрической части гидроциклона равна его диаметру и не превышает 8 м.

Шламовая пульпа отводится через штуцер в нижней конической части гидроциклона, с концентрацией твердого вещества 50 - 100 кг/м³. Небольшие габариты гидроциклонов при значительной производительности, позволяют размещать их вблизи цехов и широко использовать в локальных "грязных" циклах систем оборотного водоснабжения.

При очистке сточных вод после газоочисток мартеновских и конвертерных цехов до необходимой концентрации 0,15 кг/м³ удельный расход очищаемой воды через каждый квадратный метр сечения гидроциклона может достигать $g = 6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, если сточная вода не коагулируется, и $g = 12 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ при коагуляции сточной воды. Таким образом, один гидроциклон диаметром 8 м может обеспечить осветление 600 м³ / ч сточных вод.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Гидроциклон-флокулятор с плоским дном является видоизменением конструкции безнапорного гидроциклона. Отказ от конусного дна позволил без увеличения общей высоты гидроциклона довести диаметр цилиндрического корпуса до 12 м, а производительность - до 1000 м³/ч. Шлам из гидроциклона-флокулятора удаляется механическим скребком через шламовое отверстие в днище. Объемный расход шлаковой пульпы составляет 3-5% объемной производительности гидроциклона-флокулятора.

Вторая ступень очистки

Вторая ступень очистки воды от взвешенных частиц осуществляется пропусканием ее через слой зернистого материала (песка, гравия, антрацита и пр.) в скорых фильтрах. Скорость фильтрования в таких фильтрах $W_p = 5 - 10$ м/ч.

В системах оборотного водоснабжения с большими расходами воды и пониженными требованиями к содержанию взвешенных частиц в очищенной воде применяют крупнозернистые фильтры, используемые для частичного осветления воды, идущей на технические цели, при содержании взвешенных частиц в воде, поступающей на очистку, не более 200 г/м³. Крупность загрузки в них равна 1 - 2 мм при слое высотой более 1,5 - 2 м. Они применяются обычно для осветления воды без предварительной коагуляции и отстаивания и задерживают до 80% взвешенных частиц. Скорость фильтрования в них - до 10 м/с. Дренаж осуществляется через систему дренажных колпачков. Эти фильтры могут быть самотечными, но чаще их выполняют напорными, работающими под давлением. Напорные крупнозернистые фильтры рассчитывают на потерю давления 150 Па.

Напорные фильтры широко используют в системах технического водоснабжения с различным фильтрующим материалом. Они рассчитаны на давление 0,4-0,6 МПа. Расчетная скорость фильтрования в них - до 8 м/ч.

Для очистки сточных вод прокатного производства, содержащих окалину и масло, применяются сверхскоростные фильтры с диаметром корпуса 2 м. Их фильтрующая зона разбита на 8 камер таким образом, что в любой момент времени вода фильтруется через семь камер, а восьмая в это время промывается. Переход каждой камеры с рабочего режима на промывку осуществляется автоматически. Скорость фильтрования 50 м/ч.

В технологии очистки сточных вод находят применение сетчатые фильтры. Скорость фильтрования в них 600-700 м/ч. Однако

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

они задерживают только частицы крупнее 30 мкм. Расход воды на промывку составляет 2,5 - 5 % количества очищенной воды.

Обработка шламов

Работа сооружений для осветления воды в системах оборотного водоснабжения должна сопровождаться правильно организованным процессом удаления, обезвоживания и переработки осажденных шламов.

Для механического обезвоживания отводимую из отстойников шламовую пульпу с концентрацией 80 - 100 кг/м³ направляют в радиальные сгустители, в которых пульпа сгущается до 450 кг/м³, а содержание смеси в отделенной от шлама воде понижается до 1,5 - 2,0 кг/м³ и она возвращается в линию отработанной воды перед отстойником.

Дальнейшее механическое обезвоживание шламов производят на вакуум-фильтрах или фильтр-прессах, в которых выделяется твердая фаза (обезвоженный шлам), а жидкий фильтрат с содержанием взвеси 0,5 - 2 кг/м³ направляется в линию отработанной воды [1].

Системы воздухоснабжения

Общие сведения

Система воздухоснабжения промышленного предприятия предназначена для централизованного обеспечения промышленных потребителей сжатым воздухом требуемых параметров в соответствии с заданным расходом и графиком потребления. Она включает в себя:

- компрессорные и воздуходувные станции;
- трубопроводный и баллонный транспорт;
- воздухохранилища-ресиверы;
- распределительные устройства у потребителя.

В зависимости от потребного расхода и давления воздуха станции оборудуются центробежными компрессорами с избыточным давлением сжатого воздуха 0,35 - 0,9 МПа и единичной производительностью 250 - 7000 м³/мин или поршневыми соответственно с давлением 3 - 20 МПа и единичной производительностью не более 100 м³/мин.

Коммуникации сжатого воздуха имеют радиальные и кольцевые участки. Кольцевые участки применяют при компактном расположении потребителей, а также при повышенных требованиях к

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

надежности обеспечения сжатым воздухом.

Сжатый воздух на промышленных предприятиях используется по двум основным направлениям:

- технологическому - для выплавки стали и чугуна в металлургии, получения кислорода в воздухоразделительных установках и так далее;
- силовому - для привода различных машин и механизмов в машиностроении, горнодобывающей промышленности, кузнечном и других производствах.

На производство сжатого воздуха затрачивается около 5 % общего расхода электроэнергии на металлургических заводах и до 25-30 % на машиностроительных предприятиях и в горнодобывающей промышленности.

При использовании электрического привода компрессоров удельный расход энергии на производство 1000 м^3 сжатого воздуха составляет от 80 до 140 кВт*ч. При паровом приводе компрессоров удельный расход условного топлива на производство сжатого воздуха составляет 17 - 20 кг.

Компрессорные станции включают в свой состав устройства для забора воздуха, очистки его от пыли, компрессоры, приводные двигатели, теплообменники охлаждения, вспомогательное оборудование, предназначенное для дополнительной обработки воздуха (осушки, очистки, изменения давления, аккумуляции).

На компрессорной станции могут размещаться только компрессоры с электроприводом (обычно для машиностроительного предприятия) или компрессоры только с паротурбинным приводом (обычно для агрегатов доменного дутья металлургических предприятий). Находят применение и комбинированные паровоздуховые и электрические станции ТЭЦ-ПВС.

Производительность компрессорной станции определяется потребностью предприятия в сжатом воздухе с учетом его потерь при транспорте и потреблении.

Охлаждение воздуха в компрессорных установках осуществляется в промежуточных и конечных холодильниках. Промежуточное охлаждение позволяет снизить затраты энергии на сжатие воздуха. Охлаждение воздуха в конечных холодильниках применяют в случае обеспечения технологических требований потребителя к температуре сжатого воздуха, а также для его безопасного транспорта по трубопроводу.

Промежуточные и конечные холодильники выполняются преимущественно кожухотрубчатыми и входят в состав компрессорной установки.

Для большинства современных промышленных потребителей

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

лей требуется осушка сжатого воздуха после компрессоров. Осушка необходима для надежного и безопасного транспорта воздуха по трубопроводам. Выбор метода осушки обосновывается технико-экономическим сравнением вариантов.

Для сорбционной осушки воздуха используют в качестве адсорбентов силикагели, алюмогели и цеолиты.

Для осушки больших количеств воздуха используют фреоновые холодильные установки в комбинации с регенеративным воздуховоздушным теплообменником и системой отделения влаги.

Для аккумуляции сжатого воздуха при его неравномерном потреблении и выравнивании давления в магистрали за поршневыми компрессорами устанавливают ресиверы. В системах с турбокомпрессорами роль ресиверов выполняют трубопроводы сжатого воздуха [1].

На компрессорных станциях обычно размещают либо все электроприводные, либо паротурбинные компрессоры.

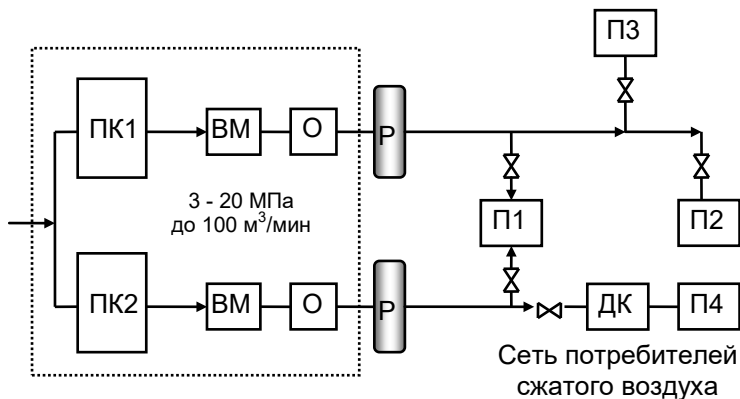
На металлургических предприятиях расположены самые крупные системы воздуховоснабжения, и на станциях этих систем одновременно вырабатывается сжатый воздух и электроэнергия. Они называются паровоздуховые электростанции (ПВЭС).

Обобщенная схема системы воздуховоснабжения

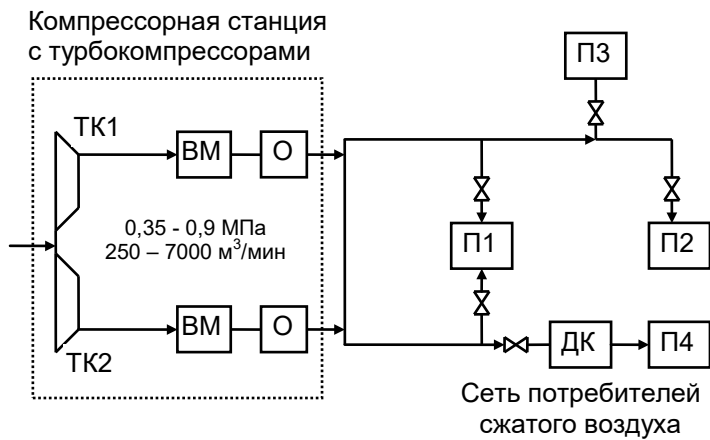
Обобщенная схема системы воздуховоснабжения промышленного предприятия представлена на рис.5.

Воздух сжимается в поршневых компрессорах ПК или турбокомпрессорах ТК, установленных соответственно на поршневых или компрессорных станциях. При этом воздух загрязняется компрессорным маслом и содержит капельную влагу. От масла и капельной влаги сжатый воздух очищается во влагомаслоотделителях ВМ, а затем осушается в устройствах осушки О. На выходе станций поршневых компрессоров устанавливаются ресиверы Р для стабилизации и выравнивания давления воздуха, сглаживания пульсаций после поршневых компрессоров. В системе с турбокомпрессорами ТК пульсации не столь сильны и роль ресиверов выполняет сеть сжатого воздуха. После ресиверов сжатый воздух поступает в разветвленные сети сжатого воздуха.

Потребители обычной категории надежности снабжения П2, П3 обеспечиваются одним подводом воздуха от простой разветвленной тупиковой сети.



Компрессорная станция с поршневыми компрессорами



Компрессорная станция с турбокомпрессорами

Рис.11 Схемы систем снабжения сжатым воздухом

ПК - поршневой компрессор;
ВМ - водо-маслоотделители;
П - потребители воздуха;
Р - ресиверы;

ТК - турбокомпрессор;
О - устройства осушки;
ДК - дожимающий компрессор.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Особенно важные потребители 1 запитываются воздухом с двух сторон.

Если в системе один из потребителей (П4) требует сжатый воздух повышенного давления, то ему устанавливают индивидуальный дожимающий компрессор ДК, который поднимает сетевое давление сжатого воздуха до необходимого для потребителя П4..

воздуходувные и компрессорные установки

Генераторы сжатого воздуха подразделяются в зависимости от развиваемого давления на

- вентиляторы для подачи воздуха давлением до 1000 мм вод. ст.;
- воздуходувки для подачи воздуха давлением 0,3 - 3,0 ати;
- компрессоры развивающие давление 3-12 ати (до 1000 ати).

Вентиляторы применяются, главным образом, в отопительно-вентиляционных системах, в установках искусственной тяги для удаления дымовых газов и для охлаждения рабочих поверхностей производственных агрегатов.

Воздуходувки применяются для обслуживания процессов горения, плавления металлов, для охлаждения рабочих поверхностей производственных агрегатов.

Компрессоры применяются, в основном, для производства механической работы сжатым воздухом и пневматического транспорта.

Вентиляторы, как правило, применяются центробежного типа. Воздуходувки и компрессоры выпускаются, главным образом, двух типов: поршневые для меньшей производительности и центробежные для больших.

При наличии потребностей в сжатом воздухе двух разных давлений возможно применение турбокомпрессоров с промежуточным отбором сжатого воздуха. При значительных расходах сжатого воздуха двух разных давлений применение одного такого компрессора с промежуточным отбором может оказаться более рациональным, особенно, для центральной компрессорной установки, чем применение двух компрессоров с разными давлениями воздуха.

В конструктивном отношении генераторы сжатого воздуха характеризуются способом охлаждения сжимаемого воздуха.

Применяются две системы охлаждения компрессоров:

- охлаждение кожуха (то есть охлаждение цилиндра и крышек), называемое также внутренним охлаждением и применяемое в одноступенчатых поршневых компрессорах сравнительно небольшой производительности (не более 20000 м³/ч);

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

- промежуточное охлаждение, называемое также наружным, которое является основным для современных многоступенчатых компрессоров.

Оборудование воздуходувных и компрессорных установок

Привод генераторов сжатого воздуха

Вентиляторы и воздуходувки имеют электрический привод (за исключением воздуходувок для доменных печей).

Наиболее мощные воздуходувки, применяемые для обслуживания доменных печей, требуют переменной подачи сжатого воздуха при переменном давлении. В качестве привода таких воздуходувок в настоящее время применяются, как правило, паровые турбины, а в отдельных случаях - газовые или ртутные турбины.

По условиям потребления сжатого воздуха для силовых целей компрессоры работают с постоянным давлением сжатого воздуха и с переменной подачей. Поэтому основным приводом компрессоров при постоянной скорости вращения на промышленных предприятиях является электрический. На большинстве промышленных предприятий применяются отдельные компрессорные установки для разных групп потребителей. На предприятиях с большим потреблением сжатого воздуха для силовых целей, например, машиностроительных, устраиваются центральные электрокомпрессорные станции.

Паротурбинный привод компрессоров применяется только для центральных компрессорных станций при наличии более или менее постоянной тепловой нагрузки, которая может быть покрыта отбором пара из теплофикационных турбин этой станции.

Для одной и той же установки выбираются однотипные и одинаковой производительности агрегаты с генераторами сжатого воздуха.

На паровых станциях с генераторами сжатого воздуха устанавливаются резервный турбовоздуходувный или турбокомпрессорный агрегат и резервный котельный агрегат.

Фильтры и охладители воздуха

С целью уменьшения износа генераторов сжатого воздуха и устранения неплотностей в распределительных органах на всасывающем трубопроводе поршневых, а также центробежных воздушных нагнетателей устанавливается фильтр для очистки всасываемого воздуха от пыли.

Наиболее распространены фильтры с цилиндрическими кольцами, смоченными висциновым маслом. Площадь фильтра обыч-

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

но принимается от 0,6 до 1,0 м² на каждые 1000 м³/ч. Сопротивление чистого фильтра не более 15 - 20 мм вод. ст.

В случае влажного атмосферного воздуха, всасываемого компрессором, при охлаждении сжатого воздуха в трубопроводе часть водяных паров, находящихся в воздухе, может сконденсироваться. Поэтому часть работы компрессора, затраченная на сжатие паров, оказывается потерянной.

Кроме того, образующаяся в трубопроводе влага затрудняет эксплуатацию воздухопроводов и воздухоприемников. Зимой такая влага может превратиться в лед или иней, отлагающиеся на внутренней поверхности воздухопровода, что сужает его проходное сечение и увеличивает аэродинамическое сопротивление.

Для частичной осушки сжатого воздуха при наличии длинных воздухопроводов применяются охладители воздуха после компрессора, называемые "концевыми холодильниками".

Централизованное снабжение сжатым воздухом группы промышленных предприятий

Современные промышленные комплексы состоят из нескольких предприятий, примыкающих друг к другу. Каждое из этих предприятий даже при небольшой потребности в сжатом воздухе имеет свою компрессорную станцию. Малая производительность таких компрессорных станций обуславливает высокую стоимость получаемого сжатого воздуха, требует большого количества компрессорных агрегатов, обслуживающего персонала и производственных площадей. Между тем территориальная концентрация предприятий определяет возможность создания системы централизованного снабжения сжатым воздухом. Такая централизация снабжения группы предприятий сжатым воздухом удовлетворяет самым разнообразным требованиям и обеспечивает снижение стоимости его производства, так как чем мощнее компрессорные станции и чем выше их загрузка, тем ниже себестоимость вырабатываемого воздуха.

Целесообразность централизованного воздухоснабжения была показана для трех примыкающих друг к другу предприятий с потребителями, расположенными в зоне с радиусами 1,0 - 1,5 км. На рассматриваемых предприятиях эксплуатируются четыре компрессорных станции, оборудованные поршневыми компрессорами суммарной производительностью более 65 м³/с.

Для снабжения группы предприятий сжатым воздухом была разработана централизованная система с одной компрессорной станцией, расположенной на территории предприятия с наибольшей потребностью в сжатом воздухе. Проведенные расчеты вариантов комплектации станции компрессорными агрегатами опреде-

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

лили наиболее экономичный вариант - пять центробежных компрессоров К - 250 - 61. Применение центробежных компрессорных станций, имеющих по сравнению с поршневыми меньшие габариты, позволяет разместить центральную компрессорную станцию в здании бывшей станции 2 с небольшой его перестройкой. Установленные ранее компрессорные агрегаты демонтируются и передаются в филиалы, а в освободившихся зданиях размещаются цеха основных производств.

Таблица 2. Показатели индивидуального и централизованного воздухообеспечения.

Наименование показателей	индивидуальное воздухообеспечение	централизованное воздухообеспечение
Количество компрессоров, шт.	15	5
Площадь машинного зала, м ²	1361	313
Суммарная мощность приводных электродвигателей, кВт	10580	8970
численность обслуживающего персонала, чел	135	26
расход электроэнергии, млн. кВт*ч/год	35,4	31,8
расход смазочных материалов, т/год	43,4	1,5
удельный расход электроэнергии, кВт*ч/м ³	0,107	0,096

Технико-экономические показатели применения централизованной системы снабжения сжатым воздухом группы предприятий подсчитаны по той же методике, что и для индивидуальных систем. Полученные результаты сравнивались с суммарными показателями по четырем компрессорным станциям рассматриваемых предприятий.

Себестоимость сжатого воздуха снижается на 30%, численность обслуживающего персонала уменьшается более, чем на 100 человек, освобождается более 1000 м² производственных площадей.

Централизованное снабжение сжатым воздухом группы промышленных предприятий оказывается намного эффективнее индивидуального [9].

Назначение, состав и схемы газоснабжения

Система газоснабжения промышленного предприятия - комплекс сооружений, установок, трубопроводов, регулирующих, смешительных, продувочных и других устройств, обеспечивающих:

- приемку природного газа в заводскую газовую сеть - непосредственно из магистрального газопровода, или от газораспределительной станции (ГРС), или от городских распределительных газовых сетей, а также поддержание необходимых параметров газа в межцеховых и внутрицеховых газопроводах природного газа, распределение и подачу его потребителям;
- приемку в автономную систему заводских газопроводов искусственных горючих газов (доменного, коксового, ферросплавного и др.), образовавшихся в технологических процессах, их очистку, приведение параметров полученных газов к уровню параметров, необходимых потребителям, смешение с другими горючими газами, транспортировку, распределение и подачу их к потребителям;
- производство искусственных горючих газов на заводских газогенераторных станциях (ГГС), их очистку, повышение давления и подачу через автономную систему газопроводов потребителям.

Система газоснабжения должна обеспечивать бесперебойную подачу газа к потребителям, безопасные условия эксплуатации, возможность отключения отдельных элементов для производства ремонтов и для перевода потребителя на использование резервного топлива.

На большинстве промышленных предприятий в качестве топлива (а на многих нефтехимических и химических заводах в качестве технологического сырья) используют природные горючие газы.

На предприятиях некоторых отраслей промышленности при выработке технологической продукции побочно получают искусственные горючие газы, объединяемые термином *горючие газовые ВЭР*.

На предприятиях, нуждающихся в газовом сырье и топливе, но расположенных вне зоны действия газопроводов природного газа, искусственные горючие газы вырабатываются из твердого топлива, или нефтепродуктов на ГГС.

Структура системы газоснабжения

Выбирается в зависимости от группы, к которой относится промышленное предприятие:

- предприятия, только потребляющие горючие газы;
- предприятия, которые сами вырабатывают газ, но его количество не покрывает собственные потребности предприятия;
- предприятия, полностью обеспечивающие свои потребности в горючих газах собственной выработкой;
- предприятия, у которых выработка искусственных газов превышает собственную потребность в них.

Одноступенчатая схема снабжения природным газом применяется, когда всем потребителям необходим газ с избыточным давлением ниже 0,005 МПа, который предприятие получает от городской сети низкого давления. (Рис.6)

Двухступенчатая - когда в городской сети поддерживается среднее (0,005 - 0,3 МПа) или высокое (0,3 - 1,2 МПа) избыточное давление, а цехам необходим газ среднего и низкого давления.

Трехступенчатая схема предусматривает получение газа от городской сети высокого давления с обеспечением цеховых потребителей газом высокого, среднего и низкого избыточного давления.

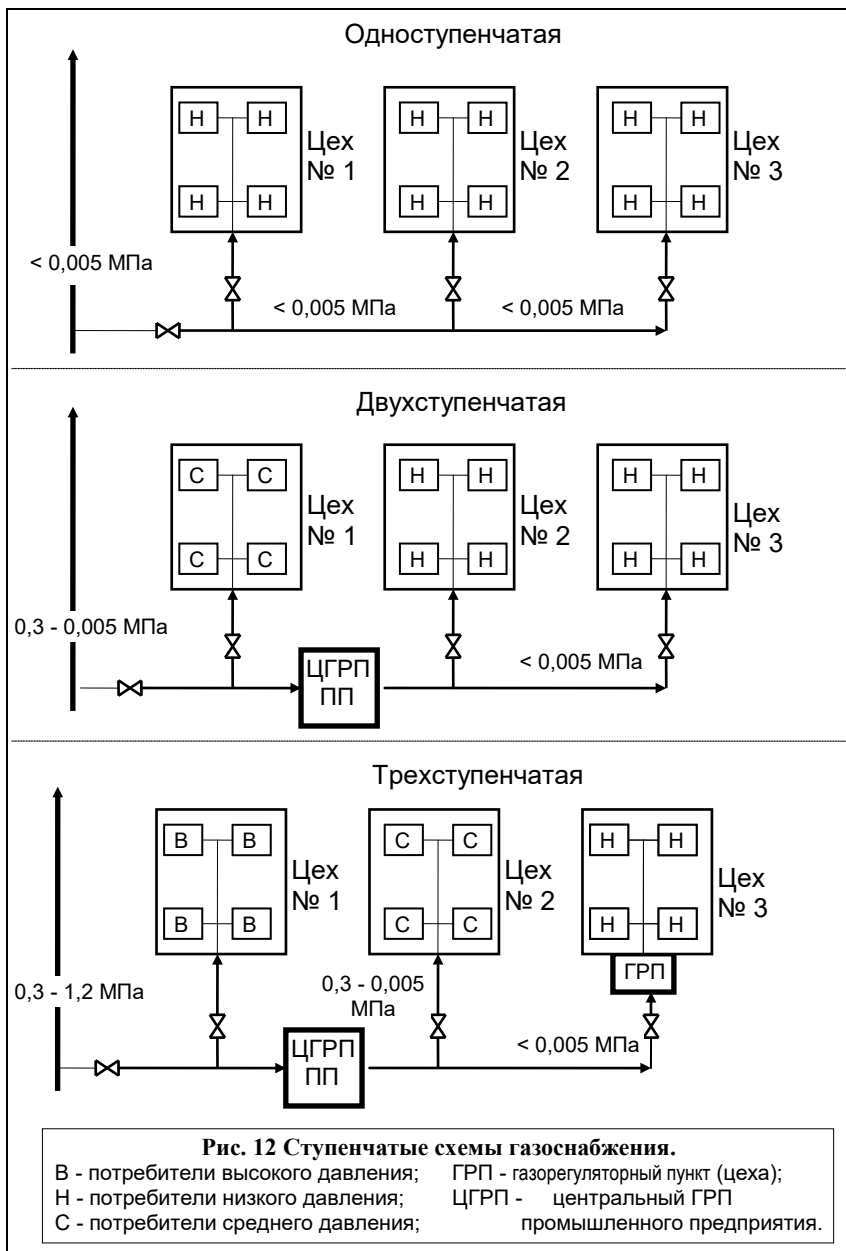
На предприятиях второй, третьей и четвертой групп создается автономная схема снабжения искусственным газом.

Например, на металлургическом предприятии.

Доменный газ с давлением 0,25 - 0,35 МПа очищается от пыли в мокрых газоочистках и направляется в газовую утилизационную бескомпрессорную турбину ГУБТ, в которой расширяется до давления 0,115 МПа и поступает в систему заводских газопроводов доменного газа.

Коксовый газ перед поступлением в заводской газопровод коксового газа проходит очистку, а его давление повышается на газоповысительной станции (ГПС). Потребители, использующие смесь доменного и коксового газов, получают ее от газосмесительной станции (ГСС).

При отсутствии природного газа и дефиците коксового и доменного газов на предприятии сооружаются газогенераторная станция (ГГС) или установки, перерабатывающие нефтепродукты для выработки искусственных газов, которые после повышения давления на ГПС поступают к потребителям по своим газопроводам.



Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Избытки коксового газа направляются на газификацию коммунально-бытового сектора или на соседние предприятия. Для сглаживания неравномерностей выхода и потребления газа устанавливают газгольдеры или используют потребители-регуляторы.

При проектировании межцеховых газопроводов применяют лучевые и кольцевые схемы, выбор которых определяется уровнем требований потребителей к надежности газоснабжения и технико-экономическим сопоставлением вариантов. Внутри цеха чаще используются тупиковые схемы с ответвлением к продувочной свече в конце каждого тупика. Продувку через свечу осуществляют перед пуском участка в эксплуатацию. Связь газопроводов разных давлений осуществляется только через ГРП [1].

Устройства и сооружения систем газоснабжения

Газораспределительные станции

Сооружаются на отводах или в конце магистральных газопроводов природного газа, не входят в состав систем газоснабжения предприятий, но являются для них непосредственными источниками газа. На них снижается и поддерживается на уровне 0,3-1,2 МПа давление газа, отбираемого из магистрального газопровода, а также учитывается его расход и проводится очистка от механических примесей. Оборудование ГРС рассчитывается на давление до 7,5 МПа. Автоматизация позволяет вести безвахтенное обслуживание ГРС. Только при производительности более 200 тыс. м³/ч газа необходим вахтенный персонал. Обычно параллельно с ГРС сооружают хранилища сжиженного или сжатого газа для покрытия пика газопотребления.

Газорегуляторные пункты и газорегуляторные установки

Служат для дополнительной очистки газа от механических примесей, снижения давления газа, получаемого от ГРС, и поддержания его на заданном уровне. Различают ГРП среднего (давление на входе до 0,3 МПа) и высокого (0,3-1,2 МПа) давления. Центральные ГРП обслуживают группу потребителей. Объектовые ГРП обслуживают объекты одного потребителя. Газорегуляторные установки (ГРУ) обслуживают только одного потребителя (котел, печь, и т.п.) и монтируются непосредственно у объекта.

В состав газорегуляторного пункта с одной регулирующей ниткой входит следующее оборудование:

- газопровод, подводящий газ к ГРП;
- фильтр;
- предохранительно-отключающий клапан;
- регулятор давления;
- продувочная газовая свеча;

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

- обводная линия газа;
- запорно-отключающие устройства;
- предохранительно-сбросной клапан;
- газопровод, отводящий газ от ГРП.

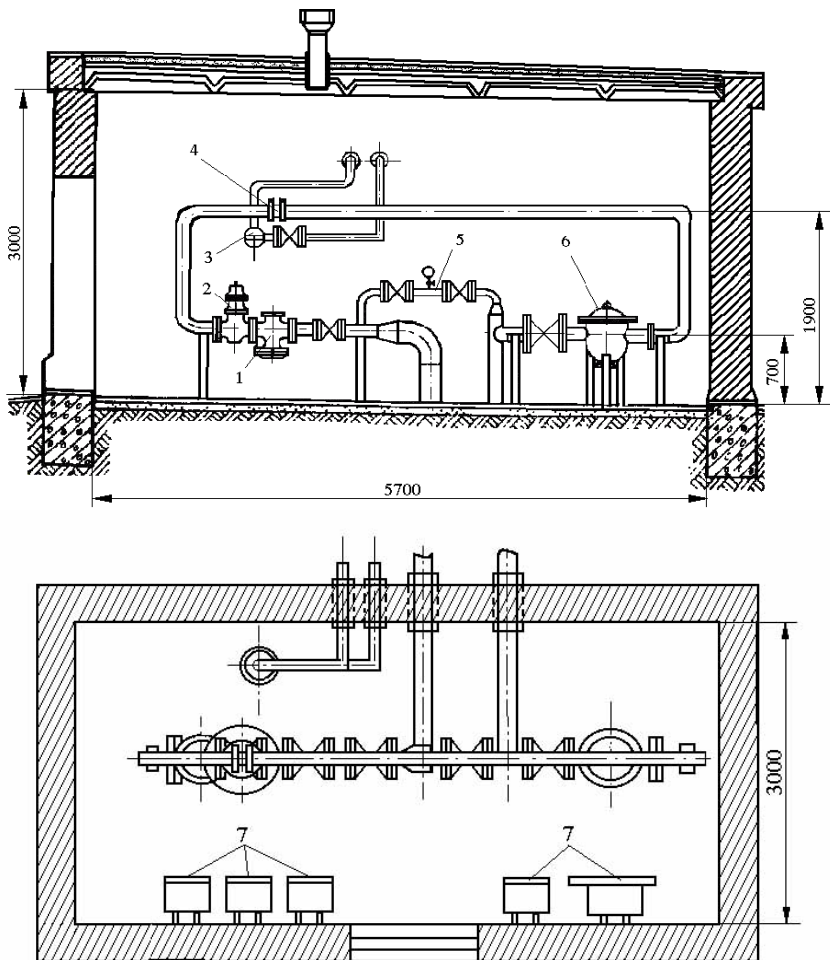


Рис. 13 Газорегуляторный пункт с регулятором РДУК-200 .

1 – регулятор давления; 2 – предохранительно-запорный клапан; 3 – пружинный сбросной клапан; 4 – камерная диафрагма; 5 – обводной газопровод (байпас); 6 – фильтр; 7 – щиты КИП.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Давление газа на выходе из ГРП поддерживается регулятором давления, а при его отказе - с помощью ручного управления запорно-отключающим устройством на обводной линии. При повышении давления за ГРП выше допустимого срабатывает предохранительно-сбросной клапан, а при необходимости - и предохранительно-отключающий запорный клапан.

На ГРП и ГРУ обычно применяют регуляторы прямого действия. У регулятора типа РД импульс от давления газа воздействует на мембрану, а она через рычажный механизм перемещает дроссельный орган. Такие регуляторы устанавливают на вертикальных и горизонтальных участках. Диаметр клапанного отверстия регуляторов можно изменять заменой седла клапана.

Регулятор РДУК-2 состоит из основного регулятора и регулятора управления; импульс от давления газа на входе преобразуется в регуляторе управления и передается на мембрану основного регулятора, управляющего открытием клапана.

Газосмесительные станции (ГСС)

Применяют на предприятиях, располагающих различными видами газообразного топлива. Применение смесей газов в ряде технологических аппаратов приводит к повышению эффективности использования топлива. ГСС работают по схеме, обеспечивающей постоянство теплоты сгорания смешанного газа.

Газы поступают в смесители, для работы которых один из газов (ведущий) должен иметь запас давления в 10 - 50 кПа, обеспечивающий подсос и хорошее перемешивание ведомого газа.

На газопроводах установлены дроссели, измерительные диафрагмы, отключающие и продувочные устройства. При повышении требований со стороны потребителей смешанного газа к точности поддержания давления и качества смешанного газа на ГСС увеличивают количество дроссельных клапанов.

Газоповысительные станции (ГПС)

Применяют для повышения давления газа, подаваемого потребителю или транспортируемого на значительные расстояния. Низкое давление имеют ферросплавный, генераторный, коксовый газы. Давление повышается газодувками или компрессорами. Для сжатия коксового и ферросплавного газов применяют турбогазодувки производительностью 6 - 21 тыс. м³ / ч при повышении избыточного давления газа от 6 - 50 до 50 - 80 кПа. На ГПС устанавливают однотипные газодувки, количество которых определяется характером графика потребления газа.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Газодувки включаются между коллекторами газа низкого и высокого давления. Между коллекторами устанавливают байпас. Если необходимо повышать давление смешанного газа, то строят смешительно-повысительные станции (СПС), в которых на всасывающей стороне газодувок устанавливают смесители.

Межцеховые газопроводы на промышленных предприятиях, как правило, прокладывают над землей. Для обеспечения компенсации температурных удлинений используют компенсирующую способность поворотов или устанавливают линзовые и волнистые компенсаторы.

В газопроводах конденсируются водяные пары и жидкие продукты, выделяющиеся из газов. Для их удаления газопроводы прокладываются с уклоном и в низких местах оборудуются конденсатосборниками [1].

Горючие газы, их классификация и получение

Горючие газы используются в качестве топлива для промышленных предприятий таких отраслей как черная металлургия, машиностроение, промышленности стройматериалов и др.

Горючие газы используются также как исходное сырье в химической промышленности.

Горючие газы подразделяются на:

- естественные или природные газы, выделяемые из газоносных пластов земли;
- искусственные газы, получаемые из твердого или жидкого топлива.

Горючие газы, получаемые из твердого топлива, делятся на:

- газы, получаемые путем сухой перегонки топлива для производственных целей, то есть при разложении топлива от нагревания его без доступа воздуха (коксование или полукоксование);
- газы, получаемые как технологическое топливо при газификации твердого топлива в газогенераторах, когда практически все топливо за исключением негорючей золы превращается в газ.

Полукоксование называется первая стадия сухой перегонки твердого топлива (бурых углей, сланцев), протекающая при температурах до 500 - 550 °С и дающая жидкие продукты (первичную смолу), горючий газ и твердый остаток (полукокс). Получаемый при полукоксовании бурых углей газ имеет низшую теплоту сгорания порядка 25,0 - 33,5 МДж / м³ и используется как энергетическое топливо. Полукоксование используется при энерготехнологическом использовании топлива.

Раздел 1 Описание теплоэнергетических систем

Коксование производится в специальных коксовых печах с целью получения кокса для доменных и других промышленных печей. По выходе из печей коксовый газ подвергается очистке, в результате которой из него удаляется влага, бензол, аммиак, цианистые соединения и сероводород.

Доменный газ получается при выплавке чугуна в доменных печах.

Газификация в газогенераторах может быть центральной, групповой или индивидуальной (местной). Центральная газификация применяется для подачи газа в печи различных цехов, групповая - для снабжения газом только определенной группы печей. При индивидуальной газификации газогенератор располагается непосредственно около печного агрегата.

Центральная газификация целесообразна при большом числе мелких печей, расположенных в различных цехах предприятия.

Применение горючих газов. Промышленные предприятия в подавляющем большинстве работают на горючих газах, получаемых при полукоксовании или коксовании твердого топлива, на доменном газе, газе подземной газификации углей и генераторном газе, а также на природном газе.

Наиболее рационально применение в качестве топлива для промышленных печей коксового и доменного газов в металлургических предприятиях, а также природного. При этом следует иметь в виду, что ряд промышленных печей по своему устройству не может работать на твердом топливе.

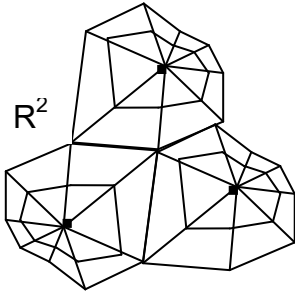
Газификация твердого топлива необходима для использования в качестве технологического топлива низкосортных или влажных топлив (торф, бурые угли, сланцы и др.), так как при непосредственном их сжигании в печах невозможно получить высокие температуры.

Процесс газификации топлив связан с большими потерями тепла (до 30%) и требует значительных капитальных затрат.

Природный газ выделяется из всех видов углеводородных топлив своими чрезвычайно высокими энергетическими характеристиками, что ставит его в особое положение. Природный газ - новейший энергоноситель второй половины 20 века (наряду с ураном) и его уникальные энергетические свойства далеко не всегда используются, особенно в сложных случаях энергоснабжения, например, высокотемпературных плавильно-восстановительных процессов. При использовании специальных видов конверсии СВЧ и ЭХА природный газ может служить мощным рычагом энергосбережения [80], поэтому использование природного газа должно быть всегда под особым контролем промышленных энергетиков.

Общие и отличительные принципы построения подсистем СТЭС ПП

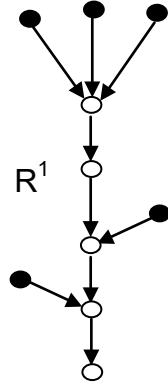
Для построения теплоэнергетических систем промышленных предприятий существенными являются их пространственные свойства, то есть характер взаимосвязи элементов системы, отражающие их характерные функциональные особенности. Эти свойства систем называются *топологическими*.



Кардинальной топологической характеристикой *энергетических систем* является их двухмерность, то есть равная значимость в системе двух независимых (пространственных) переменных. Обозначим двумерные области СТЭС ПП по числу равнозначных переменных R^2 . Кроме того, источники элементы СТЭС ПП в общем случае являются внутренними и связанными с конечными

элементами (приемниками). Эти свойства приводят к образованию характерных структур в виде сетей с внутренними источниками и развитыми локальными и глобальными кольцевыми участками.

Этот очевидный факт становится тем наглядней, что для структур промышленных *технологических систем* основной характеристикой является одномерность R^1 - эти системы представляют собой однонаправленные плоские слаборазветвленные древовидные графы, для которых в системном отношении существенной является только одна координата по направлению. В этих системах кольцевые участки слаборазвиты или несущественны. Кроме того, практически все источники в технологических системах являются только граничными элементами.



В теплофизических установках, которые составляют элементную базу технологических систем, основной топологической характеристикой является трехмерность R^3 - в этом случае равнозначными являются три независимые (пространственные) координаты.

При построении энергетических систем ставится задача покрыть энергоснабжением определенную *площадь* (R^2) промышленного предприятия, тогда как при построении технологических систем ставится задача пространственного размещения определенной

Раздел 1 Общие свойства систем

последовательности технологических операций (R^1), при этом построение может быть как двумерным, так и линейным – это не имеет существенного значения для построения.

Топологические особенности энергетических и технологических систем определяют общие принципы их построения, характер возникающих при этом задач и соответствующие математические средства их решения.

Так, например, для энергетических систем, в связи с их ярко выраженной двумерностью и сетевой структурой, одной из первых задач является выбор количества и местоположения источников энергии (см. далее), а также конфигурации энергетических сетей.

Общие принципы построения подсистем

Предприятие производит промышленную продукцию, для чего требуются сырье, энергия и энергоносители. Поставки энергии и энергоносителей всех видов осуществляет теплоэнергетический комплекс промышленного предприятия.

Промышленный комплекс ПП состоит из отдельных подсистем теплоэнергоснабжения.

В общем случае в состав теплоэнергетического комплекса входят подсистемы:

теплоснабжения,	воздухоснабжения,
пароснабжения,	газоснабжения,
водоснабжения,	топливоснабжения.

Для конкретного ПП состав подсистем может отличаться от полного перечня. Состав подсистем определяется характером промышленного производства.

Например, на металлургическом предприятии представлены все перечисленные системы. А на хлебозаводе могут быть представлены только подсистемы теплоснабжения, природного газа, водоснабжения. Как правило, системы автономны, независимы друг от друга. Исключением являются связанные системы теплоснабжения, пароснабжения, водоснабжения.

Построение подсистем ведется для действующего предприятия и при проектировании нового предприятия. Эти случаи существенно отличаются друг от друга по ограничениям. В условиях действующего предприятия расположение технологических агрегатов и действующих подсистем теплоэнергоснабжения уже определено и не может быть изменено. Это накладывает большие ограничения на построение новых подсистем.

В условиях проектируемого предприятия первичным является

Раздел 1 Общие свойства систем

размещение технологического оборудования, а ограничений по другим подсистемам нет.

В обоих случаях построение теплэнергетических систем является вторичным, зависимым от технологического оборудования.

Исходными данными для проектирования подсистем являются:

- виды потребляемой энергии и энергоносителей;
- территориальное размещение потребителей на каждый вид энергоносителя;
- объемы поставок энергии и энергоносителей по видам и потребителям;
- временной график производства и потребления энергии и энергоносителей по видам и каждому потребителю;
- категория надежности;
- сведения о внешних источниках энергии и энергоносителей.

Расположение потребителей по территории ПП определяется технологической схемой. Это делает невозможным и нецелесообразным снабжение каждого потребителя собственным источником энергии. Общий принцип построения подсистем - обеспечивать максимальное количество потребителей от одного источника энергии. Применение этого принципа приводит к типичной структуре подсистем: источник + сеть. Для конкретного ПП построение всех подсистем приводит к возникновению множества источников энергии и множества сетей.

При построении структуры Источник + сети возникают два основных взаимосвязанных вопроса: месторасположение источника и конфигурация сети.

Для проектируемого предприятия ограничением на выбор месторасположения источника является только размещение технологического оборудования, а для действующего предприятия имеется дополнительное ограничение: действующее энергетическое оборудование.

Критериями построения могут являться:

- минимальная протяженности сети;
- максимальная надежность сети;
- минимальная материалоемкость;
- минимальные потери энергии и энергоносителей;
- группа экономических критериев;
- минимальные капиталовложения;
- минимальные эксплуатационные издержки;
- минимальный срок окупаемости.

Надежность подсистем. Надежность складывается из двух компонентов: надежность источника и надежность сети. Надеж-

Раздел 1 Общие свойства систем

ность сети обратно пропорциональна ее протяженности, так как протяженная сеть подвергается воздействию различных факторов, таких как природно-климатические и техногенные.

Природно-климатические факторы - это подвижность почвы, осадки, обледенение, ветровая нагрузка, температура воздуха.

Техногенные факторы - это транспорт грузов (в том числе, негабаритных), земляные работы, сварочные работы, технические катастрофы и другие.

Все эти факторы воздействуют на сети случайным образом во времени и пространстве и могут повреждать сети (и источники) и нарушать теплоэнергоснабжение потребителей. Поэтому надежность сети обратно пропорциональна ее протяженности и площади промышленного предприятия, на которой сеть строится.

Надежность снабжения потребителей определяется категорией надежности снабжения.

I - потребители, отключение которых не допускается ни при каких условиях;

II - потребители, допускающие кратковременное отключение;

III - прочие потребители.

В зависимости от категории снабжения потребителей подсистемы строятся по-разному. Основной принцип - резервирование снабжения потребителей. Практически это означает, что потребители I категории должны иметь не менее двух подводов энергоносителя из сети. Это приводит к возникновению кольцевых участков сети.

Потребители II и III категории могут обслуживаться простой тупиковой сетью.

Кольцевание сетей и их участков значительно удорожает сеть, так как повышает материалоемкость сети: расход строительных материалов на конструкции и сооружения, расход изоляционных материалов, расход металла труб.

Основы построения ТЭС ПП

Теплоэнергетические системы промышленных предприятий объединяют потоки энергоресурсов на предприятии как поступающих со стороны, так и внутренних с целью их наиболее полного и рационального использования. При этом должны быть обеспечены бесперебойное снабжение энергоресурсами всех потребителей и защита окружающей среды.

Теплоэнергетическая система предприятия определяется характером его производства, а также энергетическими и режимными характеристиками. Энергетическая эффективность и экономичность данного технологического производства зависит от совер-

Раздел 1 Общие свойства систем

шенства теплоэнергетической системы, особенно у энергоемких производств. Оптимизацию ТЭС ПП и технологии производства надо вести совместно, так как при этом существуют обратные взаимодействия. Задача эта многопланова и сложна.

При построении оптимальной ТЭС ПП надо комплексно рассматривать и учитывать следующие факторы:

- * неоднозначность исходной информации;
- * реальные графики потребления различных энергоресурсов технологическими агрегатами и производствами, а также реальные графики выхода ВЭР вплоть до часовых, с учетом режимных характеристик и условий работы технологических агрегатов;
- * нештатные ситуации, когда, например, крупные источники ВЭР прекращают их выдачу на период от 10-20 минут до нескольких часов (например, доменная печь прекращает выдачу доменного газа), а также перерывы в потреблении ВЭР крупными потребителями;
- * возможную многовариантность в выборе направления и способов использования различных ВЭР, а также их параметров;
- * влияние возможных в обозримом будущем изменений технологических процессов на размеры выхода ВЭР;
- * возможную мультипликацию погрешностей в расчетах;
- * условность и временность различных цен, искажающих народнохозяйственную эффективность того или иного мероприятия.

Инженеры-протеплоэнергетики должны изучать и знать энергетические и режимные характеристики агрегатов и производств, на которых они работают.

Теплоэнергетическая система промышленного предприятия определяет состав, условия и режимы работы всего энергохозяйства предприятия, в частности, типы и характеристики основного оборудования. Поэтому одним из основных условий качественной разработки системы является оптимальный выбор основного оборудования, режимов его работы, взаимосвязей с другими установками.

Например, в случае проектирования ТЭЦ необходим выбор типов и числа котлов и турбин. Режимы работы котлов и турбин могут устанавливаться и оптимизироваться во время эксплуатации ТЭЦ, однако типы и число турбин уже изменены быть не могут, поэтому энергосберегающие мероприятия могут носить только ограниченный характер. Наряду с этим недостаточный учет реальных условий работы заводской ТЭЦ по тепловым нагрузкам, а также использованию тепловых и горючих ВЭР может приводить к работе ТЭЦ с показателями значительно ниже возможных.

Раздел 1 Общие свойства систем

В связи со сказанным, необходима такая организация проектирования новых ТЭС ПП, которая бы позволяла проводить выбор основного оборудования на базе достаточно проработанных вариантов схем. Разработка ТЭС ПП с вариантными исследованиями должна проводиться в самом начале проектирования промышленных предприятий [2].

В настоящее время нет единого интегрального показателя энергетического и экономического совершенства ТЭС ПП, да и вряд ли он может быть найден в обозримом будущем. Дело в том, что оптимум интегрального показателя совершенства ТЭС ПП должен соответствовать и оптимуму состава ПП по технологическому оборудованию и принятым технологическим процессам. В то же время оптимум построения технологического процесса на предприятии не может определяться без показателей ТЭС ПП. Для достижения экстремальных показателей необходима совместная оптимизация энергетических и технологических систем, что до настоящего времени в широких масштабах не практиковалось.

ТЭС ПП различных отраслей промышленности сильно отличаются друг от друга как по составу и взаимосвязям различных частей, так и по их сложности, поэтому в общем случае требуются различные системы показателей совершенства ТЭС ПП.

Для металлургических заводов можно назвать следующие показатели энергетического совершенства ТЭС ПП:

- * бесперебойное снабжение основных потребителей энергоресурсами требующихся видов и параметров;
- * минимальное потребление топлива и электроэнергии на единицу готовой продукции;
- * степень и эффективность использования внутренних энергоресурсов, в том числе, низкопотенциальных;
- * минимум потерь энергоресурсов из-за дебалансов и наиболее эффективное использование имеющихся энергоресурсов с народнохозяйственной точки зрения;
- * минимум капитальных затрат на ТЭС ПП;
- * минимальное загрязнение окружающей среды;
- * минимум приведенных затрат.

Перечисленные показатели не имеют однозначной связи друг с другом, но позволяют вести более или менее обоснованную сравнительную оценку вариантов ТЭС ПП. Например, полное или почти полное покрытие потребности в теплоте на сантехнические нужды за счет низкопотенциальных ВЭР, которые пока в подавляющем большинстве случаев просто теряются, может быть весомым аргументом в пользу соответствующего варианта ТЭС ПП.

Раздел 1 Общие свойства систем

Отсутствие прямых потерь энергоресурсов не является само по себе бесспорным признаком высокого совершенства построения ТЭС ПП. Например, если отсутствие потерь коксового газа достигается путем сжигания его в котлах низкого давления, то это не может быть признано эффективным.

Таким образом, при разработке ТЭС ПП в целом приходится руководствоваться в значительной степени опытом проектирования и эксплуатации, аналогиями и логическими построениями. Гораздо лучше обстоит дело при построении подсистем ТЭС ПП, для оптимального построения которых имеются соответствующие расчетные методики, расчетные материалы и конкретные рекомендации.

Задача научно обоснованного оптимального построения ТЭС ПП с учетом всех факторов является для большинства энергоемких производств со сложной технологией исключительно трудной. Оптимальное, научно обоснованное построение ТЭС ПП имеет большое значение для энергетических, экономических и экологических показателей работы предприятий [2].

Математическое моделирование и оптимизация ТЭС ПП

Иерархия ТЭС ПП

Теплоэнергетическая система промышленного предприятия представляет собой единый технический комплекс разнородных элементов энергетического оборудования со сложной схемой внутренних и внешних взаимосвязей.

При анализе, построении и оптимизации СТЭС ПП должна использоваться методология системного подхода и математическое моделирование сложных систем.

Одним из основных результатов системного подхода является выделение в СТЭС ПП нескольких уровней иерархии:

1. уровень глобальных, общегосударственных и региональных систем включает в себя:
 - единую систему топливоснабжения;
 - единую систему газоснабжения;
 - единую систему электроснабжения;
 - районную систему теплоснабжения;
 - водный бассейн;
 - воздушный бассейн;
2. уровень систем промышленного предприятия:
 - системы теплоэнергоснабжения промышленного предприятия;
 - технологический комплекс промышленного предприятия;

Раздел 1 Общие свойства систем

3. уровень подсистем СТЭС ПП
 - системы теплоснабжения;
 - системы пароснабжения;
 - системы газоснабжения;
 - системы водоподведения и водоотведения;
 - системы воздухоснабжения;
 - системы обеспечения продуктами разделения воздуха;
 - системы кондиционирования воздуха;
 - системы утилизации вторичных энергоресурсов;
4. уровень энергетических станций, цехов и распределительных сетей:
 - центральные тепловые пункты ЦТП;
 - теплоэлектроцентрали ТЭЦ;
 - котельные;
 - газорегуляторные пункты ГРП;
 - газовые сети;
 - насосные станции;
 - сети технического водоснабжения;
 - станции очистки стоков;
 - компрессорные станции КС;
 - сети воздухоснабжения;
 - воздухоразделительные станции ВРС;
 - сети кислородопроводов, азотопроводов и пр. ;
 - центральные кондиционеры;
 - утилизационные станции УТЭЦ;
5. уровень оборудования и элементов подсистем 4-го уровня:
 - теплообменники и тепломассообменное оборудование;
 - паровые турбины;
 - котельные установки;
 - оборудование газорегуляторных пунктов и установок;
 - насосы;
 - водоочистные сооружения;
 - компрессоры и вентиляторы;
 - блоки разделения воздуха;
 - кондиционеры;
 - двигатели;
 - запорно-регулирующая аппаратура;
 - другое оборудование.

Моделирование осуществляется отдельно на каждом иерархическом уровне, но с учетом связей, ограничений и требований к моделируемому объекту со стороны подсистем, стоящих на более высоком уровне. Такой подход к анализу СТЭС ПП позволяет существенно упростить и снизить размерность решаемой задачи при минимальных потерях в точности [1].

Основные положения моделирования

При проведении анализа СТЭС ПП и оптимизации параметров и структуры ее схемы для стационарных режимов работы используют **статические математические модели** рассматриваемых объектов - совокупность математических соотношений - уравнений, неравенств, констант и логических соотношений, - отражающих физические связи между входными, промежуточными и выходными параметрами реального объекта при установившихся режимах их работы.

Статические математические модели состоят из блоков, предназначенных для расчета параметров отдельных элементов СТЭС ПП (компрессоров, турбин, теплоутилизационных установок и др.). Более полные модели содержат еще и дополнительные блоки расчета теплофизических свойств энергоносителей, эксергетического анализа циклов и процессов, оптимизации и др. Порядок работы блоков задается специальной организующей программой.

В качестве критериев оптимизации СТЭС ПП используют минимумы приведенных затрат, потребляемого предприятием топлива, вредных выбросов в окружающую среду, надежность энергоснабжения и др. Зависимость критериев от параметров носит нелинейный характер и задача оптимизации СТЭС ПП относится к классу задач прикладного нелинейного программирования.

К системам теплоэнергоснабжения промышленных предприятий с переменными режимами работы предъявляются высокие требования по маневренности и надежности. С целью исследования нестационарных режимов их работы осуществляют математическое моделирование динамики переходных процессов, протекающих в элементах системы. В этом случае математическая модель имеет структуру, при которой каждый элемент установки описывается системой дифференциальных уравнений, полученных с использованием основных законов сохранения массы, движения и энергии.

Для математического моделирования СТЭС ПП, параметры которых зависят от случайных факторов и характер изменения которых в течение длительного периода времени непредсказуем, используют методы математической статистики и статистического моделирования.

На первом этапе осуществляют сбор и обработку статистических данных за длительный промежуток времени, на основе которой получают экспериментальные распределения выбранной случайной величины. В результате статистической обработки экспериментальных данных устанавливают закон распределения слу-

Раздел 1 Общие свойства систем

чайной величины и его параметры. Полученные результаты используют при **статистическом моделировании**, состоящем в многократном расчете случайной величины, соответствующей реальным условиям работы СТЭС ПП [2].

Основные этапы математического моделирования

Математическое моделирование ТЭС ПП начинают с формулировки целей и постановки задач, которые требуется решить. В качестве примера формулировки целей могут быть рассмотрены следующие вопросы:

- определение минимально возможной потребности ПП в электрической и тепловой энергии для выпуска заданного количества продукции;
- исследование степени влияния внешних факторов на энергетические и технико-экономические показатели ТЭС ПП;
- оптимизация параметров и вида тепловой схемы ТЭС ПП.

Для оптимизационных задач необходимо выбрать критерии, соответствующие указанной выше цели. Общепринятый критерий экономичности систем теплоэнергоснабжения – минимум суммарных расчетных затрат при заданных тепловых нагрузках.

Следующим этапом моделирования является сбор исходных данных. Наиболее достоверные данные получаются для действующих предприятий в результате экспериментального обследования систем.

После получения исходных данных переходят к выполнению этапа выбора собственно математических моделей. Наиболее удобны модели, реализованные в вычислительных блоках. На начальной стадии моделирования, когда весомость каждого блока оценить сложно, целесообразно применять наиболее простые зависимости, с помощью которых можно быстро получить ряд принципиально важных результатов.

На следующем этапе осуществляют выбор оптимизируемых параметров. На непрерывно меняющиеся в интервале параметры накладывают ограничения в виде двухсторонних неравенств.

Далее разрабатывают алгоритм вычисления значения принятого критерия оптимизации. Этот алгоритм является основой для разработки организующей программы.

На следующем этапе проектируют комплекс моделирующих программ.

Самым ответственным и трудоемким этапом математического моделирования является реализация на ЭВМ.

Заключительным этапом математического моделирования является проведение серии вычислительных экспериментов и проверка адекватности модели (верификация) [2].

По моделированию и оптимизации элементов и СТЭС ПП существует обширная литература, например [20-39].

Некоторые научные задачи промышленной энергетики

Энергетический комплекс промышленного предприятия представляет собой сложную систему и поэтому, для решения задач энергосбережения требует системного подхода - рассмотрения и постановки задач в полных границах всего комплекса. при возможно более полном учете всех существенных связей между элементами системы. Это приводит к формулировке математических задач, как правило, *оптимизационного класса*, с привлечением аппарата математического программирования: линейного, нелинейного, динамического и стохастического, математической теории игр, объединяемых общим математическим разделом исследования операций [40-44]. Системный подход широко применяется при решении задач большой энергетики [45-54]. Значительно меньше работ по промышленной энергетике, в основном, в связи со сравнительно недавним выходом промышленной теплоэнергетики на системный уровень, что достоверно фиксируется первой книгой [2].

К числу основных научных задач промышленного энергоснабжения и энергосбережения на промышленных предприятиях в традиционной области промышленной энергетики следует отнести:

- * оптимальное количество источников энергии;
- * оптимальное размещение источников энергии;
- * оптимальное построение энергосетей;
- * оптимальное управление запасами и ресурсами;
- * оптимальное обслуживание оборудования;
- * оптимальное управление потоками энергоносителей;
- * оптимальная реконструкция и развитие энергосистем.

Оптимальное размещение источников энергии

На территории промышленного предприятия расположены $i=1..N$ потребителей, которым требуется e_i . $j=1..M$ видов энергоносителей. Имеется возможность разместить L источников энергии, каждый из которых может обеспечить разные наборы энергоносителей e_j . Определить оптимальное местоположение каждого из L источников энергии. В качестве целевой функции, как подсказывает практика промышленной энергетики, можно принять минимальную протяженность сетей (и связанную с ней общую материалоем-

Раздел 1 Общие свойства систем

кость). Минимальная протяженность сетей - это минимальные затраты металла и связанных с ним материалов: опор, изоляции, сетевого оборудования, а также - минимальные затраты на транспорт энергоносителей. Кроме того, минимальная протяженность сети обеспечивает наибольшую надежность энергоснабжения, так как сводит к минимуму повреждения сетей от природно-климатических и техногенных воздействий.

Для простейших случаев решение может быть получено сравнительно легко. Например, для случая одного источника, одного вида энергоносителя и шести потребителей равной мощности.

Целевая функция в данном случае – минимальная суммарная длина всех расстояний от искомого местоположения источника до всех потребителей:

$$S(X, Y) := \sum_i m_i \cdot \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2}$$

Где

$S(X, Y)$ – суммарная длина, м;

X, Y – искомые координаты источника энергии, м;

x_i, y_i - координаты потребителей, м;

i – число потребителей (в данном случае – 6), -;

m_i – безразмерный весовой коэффициент мощности потребителей (в данном случае для всех равный 1), -.

Необходимо найти такие значения X и Y , при которых целевая функция имеет минимальное значение.

Целевой функции отвечает некоторая поверхность, имеющая минимум в месте оптимального расположения источника (рис.13).

Контурный график поверхности в проекции на горизонтальную плоскость позволяет визуально определить оптимальное местоположение источника энергии. Из рисунка видно, что оптимум расположен в точке с координатами 200;200 м.

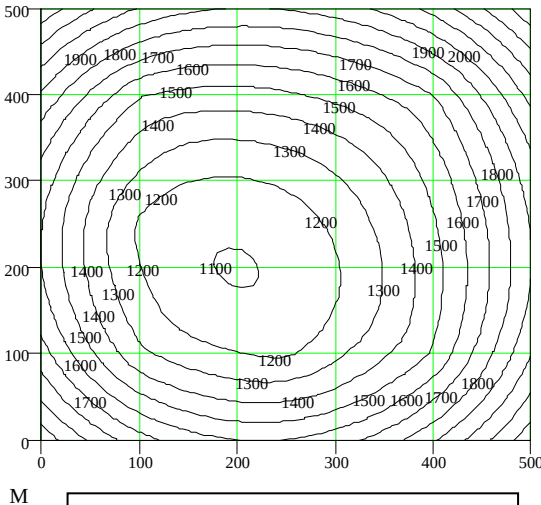
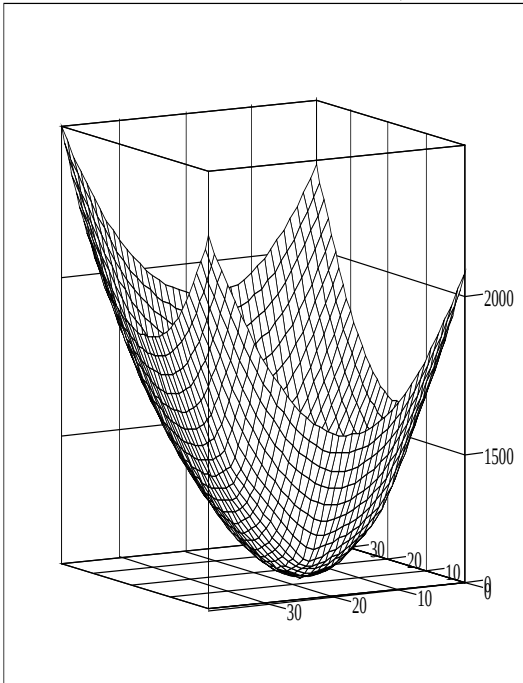


Рис. 14. Поверхность и контурный график целевой функции.

Решение задачи в среде MATHCAD 7 PRO приведено на рис.14. Оптимальное положение отмечено крестиком, а геометрический центр - кружочком.

При размерах промышленного предприятия 300x300 м оптимальное место-положение источника дает общую длину сетей 1095 м, а неоптимальное расположение его, например, в геометрическом центре, дает 1149 м. Таким образом, неоптимальное расположение дает превышение общей длины сетей на 154 м, или 14%.

Учет разной мощности потребителей не представляет труда. Так, например, если потребитель с координатами 400; 400 м в 6 раз мощнее остальных равных 1 (меняем последнюю 1 в матрице на 6), то оптимальное место-положение источника смещается в геометрический центр.

Раздел 1 Общие свойства систем

$$M := \begin{bmatrix} 100 & 100 & 1 \\ 100 & 400 & 1 \\ 100 & 250 & 1 \\ 400 & 100 & 1 \\ 250 & 100 & 1 \\ 400 & 400 & 1 \end{bmatrix} \quad N := 5 \quad i := 0..N \quad TOL := 10^{-15}$$

$$x_i := M_{i,0} \quad y_i := M_{i,1} \quad m_i := \sqrt{M_{i,2}}$$

$$D := (250 \ 250)$$

$$S(X, Y) := \sum_i m_i \cdot \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2}$$

$$X := 0 \quad Y := 0$$

$$\text{Given} \quad S(X, Y) = 0 \quad 1 = 1$$

$$L := \text{minerr}(X, Y) \quad L = \begin{bmatrix} 200 \\ 200 \end{bmatrix}$$

$$S(L_0, L_1) = 1.095 \cdot 10^3$$

$$S(250, 250) = 1.149 \cdot 10^3$$

Рабочий лист
MATHCAD 7 PRO

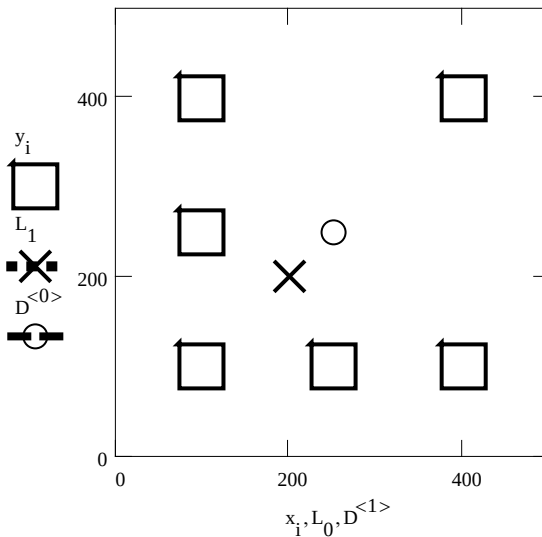


Рис.15 Оптимальное местоположение источника энергии для случая шести потребителей равной мощности.

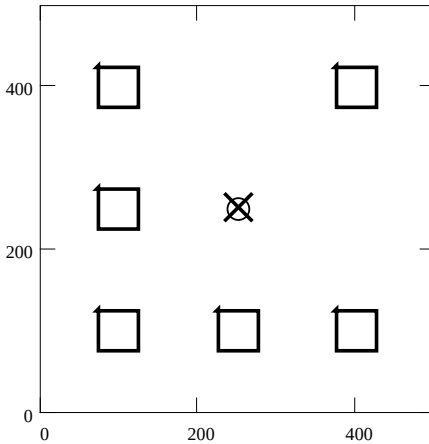


Рис. 16. Оптимальное расположение источника энергии. Правый верхний потребитель в 6 раз мощнее остальных, равных 1.

Следует оговориться, что в случае потребителей разной мощности целевая функция отражает уже не просто минимальную протяженность сетей, но – минимальную металлоемкость и связанную с ней общую материалоемкость сетей.

Эта *простейшая* оптимизационная модель может быть использована для оптимизации общей длины сетей на вновь проектируемых предприятиях и оценки неоптимальности фактического расположения источника на действующем предприятии.

Аналогично могут быть поставлены и решены задачи с произвольным количеством потребителей, источников и энергоносителей. При этом от пользователя, например, MATHCAD 7 PRO, не требуются знания и умения применять математические методы оптимизации – все обеспечивается математическим пакетом.

Оптимальная реконструкция и развитие энергосистем

Исключительный практический интерес представляет научная задача реконструкции и развития энергосистем. Если для данного предприятия уже известна оптимальная модель энергосистемы, то для реализации предельного энергосбережения возникает задача последовательного перехода от действующей к оптимальной энергосистеме, при этом система последовательно переходит от исходного состояния к конечному, на каждом шаге имеется выбор направления, с каждым шагом связаны определенные затраты, а решения о каждом последующем шаге принимаются после завершения предыдущего. Целевая функция может быть сформулирована как в натуральных, так и в экономических показателях. Это – классическая задача динамического программирования. Решение этой задачи базируется на принципе оптимальности Р.Бэллмана и дает кратчайший путь с минимальными затратами [42-44].

Многие результаты системного подхода в большой энергетике [45-54] могут быть применены в промышленной энергетике.

Отличительные принципы построения подсистем

Схемы теплоснабжения

Одна из главных тенденций развития централизованного теплоснабжения заключается в повышении мощности источника теплоты. Дальность действия тепловых сетей в современных крупных системах составляет 10 - 20 км, а в отдельных случаях достигает 30 км. Однако, расширение района теплоснабжения приводит к увеличению разности геодезических отметок отдельных точек сети, что весьма существенно при плотности воды около 1000 кг/м^3 - приходится увеличивать количество теплосилового оборудования и сооружать дополнительные насосные станции для обеспечения работы сети.

Начальные параметры воды 150-170°C не отвечают задачам транспорта теплоты на большие расстояния. Необходимо повышение начальных параметров до 190°C, а в перспективе - до 250°C.

При значительном удалении источника теплоты от снабжаемого района (свыше 10 км) целесообразно применение однотрубного транспорта теплоты.

Снижение стоимости тепловых сетей возможно при бесканальной прокладке с повышенной защитой от наружной коррозии.

При теплоснабжении высоких зданий возможно достижение надежности и экономичности независимым присоединением абонентов к сети, при этом снижается нагрузка на сеть и ее приводные насосы.

Схемы тепловых сетей

Построение сети от источника до потребителя зависит от их взаимного размещения и характера изменения тепловой нагрузки.

Паровые сети строят на промышленных площадках, отличающихся компактностью расположения источников и потребителей. В этом случае возможно построение простой сети, состоящей из магистрального паропровода и ответвлений к отдельным цехам.

Радиальные сети можно сооружать с постепенным уменьшением диаметров трубопровода. Такие сети дешевы и просты в эксплуатации, но имеют низкую надежность, так как в случае аварии на магистрали, пароснабжение последующих потребителей полностью прекращается. Для преодоления этих недостатков можно дублировать трубопроводы при половинной мощности каждой параллельной ветки, но при этом расход металла труб возрастает на 56%.

В случаях, когда прекращение снабжения недопустимо, строят радиально-кольцевые структуры, устраивая перемычки между ра-

Раздел 1 Общие свойства систем

диальными магистралями. Такое резервирование может выручить во время аварийных ситуаций, но для постоянного пароснабжения перемычки не применяют.

Кольцевые сети сооружаются на больших снабжаемых территориях и отличаются дороговизной. Такие сети удобны для подключения к нескольким источникам и хорошо поддаются регулированию и оптимальному распределению нагрузки.

Тепловые сети выполняются, большей частью, двухтрубными, состоящими из подающего и обратного теплопроводов для водяных сетей, и для паровых - из прямого паропровода и обратного конденсатопровода. Протяженность сети должна быть минимальной, так как от этого зависит расход металла труб, а конфигурация сети по возможности простой.

Системы пароснабжения

Предприятия, расположенные в промышленном районе, получают пар от ТЭЦ и центральных котельных, это наиболее экономично. Однако, значительную долю источников пара составляют местные промышленные котельные, что определяется значительной разобщенностью предприятий.

От ТЭЦ и центральной котельной пар поступает к предприятию по магистральному паропроводу большого диаметра. При давлении пара свыше 3 МПа, он поступает на предприятие непосредственно, а ниже 3 МПа - через центральный тепловой пункт, где устанавливается регулирующая арматура, регистрирующая и показывающая контрольно-измерительная аппаратура. На ЦТП собирается, очищается от масла конденсат и отправляется обратно к источнику пароснабжения. На крупных промышленных предприятиях может быть несколько ЦТП.

Крупные предприятия получают пар от ТЭЦ, средние - от ТЭЦ или крупных районных котельных. Мелкие предприятия получают пар от различных источников, в зависимости от возможностей. Если есть возможность - от близкорасположенной ТЭЦ. Если нет внешних источников - от собственной местной котельной, что не очень экономично.

Параметры потребляемого пара зависят от требований потребителей. Для силовых нужд требуется перегретый пар среднего и высокого давлений, для нагрева - перегретый или влажный пар среднего и низкого давлений. Перегретый пар в этом случае требуется в зимний период для компенсации потерь теплоты в паровой сети с большой протяженностью и разветвлением. Такие сети имеют крупные предприятия с большим количеством потребителей, распределенных по значительной территории.

Основные факторы, определяющие целесообразность воз-

Раздел 1 Общие свойства систем

вращения конденсата источнику пароснабжения, - часовое количество возвращаемого конденсата, расстояние до источника пароснабжения, число часов работы потребителя в году, количество и качество сырой воды у источника пароснабжения, рабочие параметры источника, стоимость топлива и электроэнергии, необходимость очистки конденсата от масла и других примесей.

В системах с большим потреблением пара целесообразно возвращать конденсат источнику пароснабжения. Для установок с небольшим паропотреблением может оказаться выгодным безвозвратное использование конденсата на предприятии: на горячее водоснабжение, на технологические нужды и так далее. С возвратом конденсата связаны мощности водоподготовки для источника пароснабжения. Чем больше возврат конденсата, тем меньше требуется мощностей водоподготовки. Оптимум определяется технико-экономическим расчетом.

Принципы приема, распределения и использования ресурса в различных системах

Прием и распределение ресурсов

Промышленное предприятие с большим количеством различных местных систем, разбросанных по территории предприятия, имеет обычно один ввод. На этом вводе сосредоточен учет потребленного тепла, контроль параметров теплоносителя и распределение последнего по отдельным системам или внутренним сетям предприятия. На центральном тепловом пункте промышленного потребителя производится, кроме того, изменение параметров теплоносителя в соответствии с требованиями местных систем.

При обеспечении промышленных предприятий энергоносителями различных видов, следует выбирать энергоносители с минимальными качественными параметрами для обеспечения минимального расхода первичного ресурса.

Транспорт теплоты на промышленных предприятиях осуществляется паром или горячей водой в зависимости от приемного оборудования. Давление пара составляет в среднем 3-10 ат, а температура горячей сетевой воды достигает обычно 150°C. Общей тенденцией технического прогресса является повышение начальных параметров теплоносителей, оправданное энергетически и экономически.

Потери давления в паровых сетях в среднем не превышают 0,7 - 1,0 ат, а потери температуры при нормальном режиме работы не превышают 1-3°C/км. Количественные потери воды и пара в со-

Раздел 1 Общие свойства систем

временных тепловых сетях не превышают 0,5-1% передаваемого количества теплоносителя.

Наряду с энергетическими преимуществами вода выигрывает у пара как теплоносителя по показателю металлоемкости, обеспечивая меньшие затраты металла на сеть для транспорта той же теплоты. Преимуществом пара является более высокая температура, которую не может обеспечить вода.

Системы теплоэнергоснабжения промышленных предприятий включают источники энергоресурсов, распределительные сети и потребителей энергоресурсов.

Прием энергоресурсов в такой структуре осуществляется дважды: от источника в сеть и от сети к потребителям.

Основопологающим принципом приема энергоресурсов является секционирование, разделение источника и приемника энергоресурсов, то есть разделение источника энергоресурсов и сети, сети и потребителей.

Секционирование значительно повышает надежность снабжения и эксплуатации системы теплоэнергоснабжения. Аварийные, эксплуатационные и ремонтные события могут быть локализованы по секциям, что создает защиту сети от аварийных событий и возможность эксплуатационных и ремонтных мероприятий в системе. В общем случае секционирование системы осуществляется с помощью запорно-регулирующей, запорно-предохранительной арматуры с исполнительными механизмами и системами автоматики. В некоторых случаях секционирование может быть дополнено тепломассообменным оборудованием, например, теплообменниками в двухконтурных системах водяного теплоснабжения.

Важным принципом приема энергоресурса является его резервирование, то есть обеспечение не менее двух источников ресурса или накопление резервного количества ресурса.

Например, система теплоснабжения промышленного предприятия может иметь собственный основной источник теплоты (например, паровую котельную) и резервный источник теплоты вне предприятия - районную систему теплоснабжения, подключаемую к распределительной сети предприятия через центральный тепловой пункт (ЦТП).

Накопление резервного количества ресурса применяется в системах снабжения твердым и жидким топливом, в системах технического водоснабжения. Так, на промышленных предприятиях организуются угольные склады, мазутохранилища, водохранилища и приемные резервуары технической воды.

Раздел 1 Общие свойства систем

Резервирование теплоты и пара применяется при приеме ресурсов из сети теплоснабжения непосредственно у конечных потребителей в виде водяных и паровых аккумуляторов.

Резервирование количества ресурса не всегда возможно и целесообразно. Достаточно редко резервируется снабжение природным газом в виде подземных хранилищ газа, или сжиженного газа, но это резервирование скорее районных систем газоснабжения, чем промышленных предприятий. Нецелесообразно резервирование количества воздуха.

Потребление ресурсов

Почти все промышленные предприятия используют для различных технологических процессов тепло в виде пара и горячей воды. Наиболее распространенными технологическими теплопотребляющими установками являются паровые молоты, сушильные, выпарные и ректификационные установки, автоклавы и другие аппараты химической промышленности, паровые двигатели, разнообразные теплообменные аппараты и т.д.

Мелкие и средние промышленные предприятия часто присоединяются к городским тепловым сетям, для которых основной является сезонная нагрузка отопления и горячее водоснабжение. Крупные промышленные предприятия имеют обычно индивидуальные тепловые сети от городской или собственной ТЭЦ, для которых основной является технологическая круглогодичная нагрузка.

Характер потребления тепла промышленными предприятиями зависит от многих конкретных местных условий:

- вида предприятия и выпускаемой ими продукции;
- технологического процесса;
- типа теплопотребляющего технологического оборудования;
- режима работы предприятия в целом.

От температуры наружного воздуха технологическое теплопотребление зависит мало.

Суточные графики расхода тепла технологическими потребителями разнообразны по своему характеру. У предприятий, имеющих непрерывный трехсменный режим потребления тепла, суточный график будет заполнен равномерно, а у предприятий, работающих в одну-две смены, или имеющих периодический режим потребления тепла, и суточный график будет неравномерным.

Нагрузка по дням недели обычно почти не меняется, поэтому годовой график технологического теплопотребления довольно равномерный и число часов использования максимума нагрузки обыч-

Раздел 1 Общие свойства систем

но для разных отраслей промышленности бывает в пределах от 4500-7500 часов в году.

Для большей части процессов с температурой до 150°C наиболее рациональным теплоносителем является горячая вода. Применение горячей воды вместо пара ТЭЦ увеличивает выработку электроэнергии, экономит химически очищенную воду, обеспечивает малые потери температуры и высокие коэффициенты теплоотдачи в теплоприемниках.

Применение пара целесообразно при более высоких температурах и в тех случаях, когда кроме теплоты требуется механическое воздействие на материал, производство механической работы или безвозвратный расход пара в продукты или полупродукты.

Основными потребителями пара для силовых процессов являются турбинные приводы воздуходувных агрегатов, молоты, прессы, а также резервные приводы агрегатов обработки металлов давлением, насосов.

Применяемый для таких процессов пар должен иметь давление перед агрегатами 8 - 9 ат. Конечное давление пара при выходе из машин составляет 1,2 - 1,5 ат.

Удельные расходы пара для механических целей зависят от типов производственных машин, их производительности и режимов работы.

Для современных молотовых и штамповочных цехов со значительным количеством одновременно работающих машин неравномерность паровой нагрузки относительно невелика.

Для прессовых цехов коэффициент неравномерности нагрузки существенно выше, особенно, если агрегатов немного и мощность их велика. В этом случае приходится применять пароводяные аккумуляторы для сглаживания неравномерности потребления пара, более экономичного режима работы потребляющих установок и установок, использующих отработанный пар.

Количественные параметры потребления производственного пара должны определяться для двух основных режимов работы: максимального и среднего часового.

При наличии технологических карт, характеризующих режимы работы агрегатов и потребление ими пара, для расчета характеристик потребления используются методы коэффициентов потребления и спроса.

При отсутствии подробной информации для аналогичных расчетов пользуются средними нормами удельных расходов пара на единицу готовой продукции или на процесс в единицу времени.

В теплообменных аппаратах низко- и среднетемпературных процессов в качестве энергоносителя чаще всего используют пар и

Раздел 1 Общие свойства систем

горячую воду по двум основным схемам: смешивающей и трансформаторной. Соответственно для смешивающей схемы применяют теплообменники смешивающего типа, в которых сетевой энергоноситель смешивается с нагреваемой средой. При трансформаторной схеме сетевой энергоноситель нагревает целевой энергоноситель через разделительную стенку в теплообменниках поверхностного типа, в которых чаще всего применяется противоточная схема теплообмена

В качестве теплоносителя для отопительных и вентиляционных нагрузок применяется, как правило, горячая вода. При теплоснабжении от ТЭЦ следует стремиться к максимальному снижению давления пара, отбираемого от турбин для теплофикационных целей, а также к максимальному снижению температуры воды, подаваемой в тепловые сети. Чем ниже параметры теплоносителя, уходящего от ТЭЦ, тем больше будет выработано экономичной электроэнергии на тепловом потреблении.

На большинстве современных промышленных предприятий применяется ограничение максимальных расходов теплоты на вентиляцию: после снижения температуры наружного воздуха до заранее определенного значения (например, -15°C) расход теплоты на вентиляцию остается неизменным при всех дальнейших снижениях температуры наружного воздуха.

Использование отработанных ресурсов

Паровые двигатели кузнечных молотов, прессов, штамповальных машин и других механизмов, широко применяющихся на современных промышленных предприятиях, работают на выхлоп с противодавлением от 0,12 до 0,3 МПа, при этом потери теплоты весьма значительны.

Утилизация теплоты отработавшего пара возможна по следующим направлениям:

- теплоснабжение потребителей;
- выработка электроэнергии;
- комбинированное использование пара для снабжения потребителей теплотой и электроэнергией.

В настоящее время разработано много различных схем для использования теплоты отработавшего в промышленности пара. Несмотря на разнообразие, они имеют ряд общих принципов. Так, например, пар после паровых двигателей должен обязательно подвергаться очистке от капель масла и хлопьев сальниковой набивки. В паровых системах теплоснабжения отработавший пар после очистки подается непосредственно потребителям. В круп-

Раздел 1 Общие свойства систем

ных, разветвленных и протяженных системах теплоснабжения экономически целесообразнее применять водяную систему теплоснабжения. В этом случае теплоприготовительную установку размещают в непосредственной близости от места выхода отработавшего пара, а потребителям горячая вода подается сетевым насосом. При этом графики выхода отработавшего пара и теплопотребления редко совпадают. В этих случаях необходимо применять паровые аккумуляторы переменного давления.

Целесообразность применения аккумулятора определяется частотой и равномерностью пиков и провалов в графике нагрузки аккумулятора, а также временем его зарядки и разрядки.

Применение аккумуляторов может оказаться целесообразным не только для использования отработавшего пара, но и вообще на промышленных предприятиях с резкоменяющимися графиками потребления пара, например, на заводах сборного железобетона, в маслолочной промышленности. При этом можно ожидать не только уменьшения расхода топлива за счет выравнивания нагрузки котлов, но и уменьшения их числа [8].

Когда давление отработавшего или вторичного пара недостаточно для требований потребителей, его повышение осуществляется за счет использования механических, абсорбционных или струйных насосных установок. Для повышения давления отработавшего пара в настоящее время больше всего применяются пароструйные компрессоры. Их применение позволяет уменьшить расходы пара за счет частичного использования отработавшего пара. К достоинствам пароструйных компрессоров относятся простота конструкции и невысокая стоимость, к недостаткам - относительно низкий КПД (не более 25%), снижающийся по мере увеличения степени сжатия, и большая зависимость от стабильности параметров пара на входе и производительности.

На отработавшем паре могут работать парозжекционные установки для отсоса различных газов или для создания вакуума. Например, такие установки дают возможность применять в производстве сборного железобетона очень эффективный способ вакуумирования при изготовлении железобетонных изделий. Паровые эжекторы могут быть использованы для интенсификации различных технологических процессов, например, для повышения эффективности выпарных установок.

После механической очистки от масла и других примесей, отработавший пар, в первую очередь, следует использовать для соответствующего покрытия отопительно-вентиляционных, бытовых и других тепловых нагрузок.

Раздел 1 Общие свойства систем

Остальной отработавший пар целесообразно использовать для других целей. В некоторых случаях для отопления производственных зданий применяют паровые системы отопления высокого давления (0,1-0,5 МПа).

Пар высокого давления (0,4-0,6 МПа) можно использовать в гражданских зданиях для отопления, с устройством комбинированных пароводяных систем с центральным подогревом воды - в пароводяных скоростных водонагревателях.

Отработавший пар высокого давления используется также для горячего водоснабжения промышленных предприятий. Горячую воду при этом получают в подогревателях.

В промышленности широко применяют воздушные системы отопления и воздушные тепловые завесы, образованные с помощью паровых калориферов.

При использовании для теплоснабжения пара из паровых машин и молотов, работающих на обычной смазке, содержание масла в паре достигает 150 мг/кг и более. Наличие масла в паре в таких больших количествах в несколько раз снижает производительность водонагревателей. Кроме того, конденсат такого пара непригоден для питания котлов ТЭЦ. Поэтому необходима очистка пара от масла и других загрязнений.

Лучший способ обезмасливания конденсата - фильтрация его через слой активированного березового или торфяного угля с размером частиц 0,5-1,5 мм. По данным ВТИ, разработавшего и внедрившего этот метод, 1 кг угля может очистить до 30 тонн конденсата с начальным содержанием масла до 20 мг/кг.

Потребление горячей воды на технологические цели, например, на промывку, принципиально мало чем отличается от рассмотренной. Температурный и гидравлический режим работы подающей линии в этом случае должен соответствовать графику технологической нагрузки [5].

РАЗДЕЛ 2 КОНТРОЛЬ, РЕГИСТРАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Основные задачи контроля, регистрации и регулирования систем теплоэнергоснабжения

Контроль работы систем теплоэнергоснабжения дает необходимую информацию для регулирования режимов работы систем теплоэнергоснабжения при нормальных режимах, а также дает информацию об аварийных режимах и событиях в системах.

Регулирование систем теплоэнергоснабжения обеспечивает номинальные режимы работы систем для энергоснабжения всех потребителей в соответствии с технологическими заказами и временными графиками на основе данных контроля.

Регистрация показателей работы энергосистем имеет задачи:

- фиксацию режимов работы систем теплоэнергоснабжения, включая аварийные режимы и события;
- фиксацию количества и качества произведенных, распределенных и потребленных энергоресурсов всех видов всеми потребителями промышленного предприятия.

Данные регистрации расходов энергоресурсов являются необходимым фактическим исходным материалом для составления энергетических балансов промышленного предприятия.

Основными задачами рациональной эксплуатации систем теплоэнергоснабжения являются:

- надежность энергоснабжения промышленного предприятия, обеспечиваемая бесперебойной и безаварийной работой энергоснабжающих установок и энергетических сетей;
- экономичность энергоснабжения, обеспечиваемая максимальной экономией энергии;
- своевременное выполнение планово-предупредительных ремонтов оборудования;
- правильное ведение эксплуатационного режима систем теплоэнергоснабжения и поддержание номинальных значений качественных параметров энергии.

Осуществление перечисленных мероприятий связано с рациональной постановкой технического контроля, учета и регистрации показателей работы энергоустановок при помощи соответствующих измерительных и контрольных приборов, автоматического управления и регулирования, сигнальных устройств и аппаратуры связи.

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулировании СТЭС ПП

Для экономичности энергоснабжения необходимы следующие условия:

1. минимальные расходы предприятием энергии на основе рациональных норм расхода;
2. регулирование графиков отпуска энергии;
3. оптимальное распределение нагрузок;
4. возможная автоматизация работы установок;
5. поддержание номинальных значений параметров энергоносителей;
6. минимальные удельные расходы топлива на выработку вторичной энергии (электроэнергии, пара, горячей воды, сжатого воздуха) ;
7. минимальные расходы энергии на собственные нужды энергоустановок.

Мероприятие по п.1 требует правильного нормирования энергопотребления. Остальные - надлежащей постановки диспетчеризации, автоуправления и телеуправления на промышленном предприятии. Мероприятия по пп. 4 - 7 осуществимы только при наличии соответствующих измерительных и контрольных приборов и устройств.

Технический контроль работы энергетических установок осуществляется при помощи соответствующих измерительных и контрольных приборов, располагаемых на центральных и местных оперативных щитах, отражающих положение оперативных цепей систем энергоснабжения. Дежурный персонал или приборы автоматического управления производят необходимое регулирование параметров или включение в работу и выключение агрегатов.

Измерения качественных и количественных параметров энергии посредством контрольно-измерительных приборов необходимы для возможности нормирования энергии, постоянного наблюдения за состоянием и эксплуатацией оборудования, составления энергетического баланса предприятия и для текущего оперативного контроля или диспетчерского управления отдельными энергоснабжающими установками и всем энергоснабжением предприятия в целом. В настоящее время для этой цели используются почти исключительно самопишущие и суммирующие приборы.

Контрольно-измерительные приборы должны быть расположены так, чтобы их показания могли наблюдаться дежурным персоналом, обслуживающим соответствующий агрегат. Для этого управление агрегатом централизуется в одном пункте, в котором имеется оперативный щит с указывающими приборами, снабженными передатчиками (электрическими или гидравлическими) а также сигнальной аппаратурой.

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулировании СТЭС ПП

Помимо оперативных щитов, контрольно-измерительная аппаратура устанавливается на распределительных щитах главной и цеховых подстанций и на щитах управления источников энергии.

Измерение и контроль качественных и количественных параметров тепловой энергии производится на местных оперативных щитах тепловых подстанций и на главных тепловых щитах местных теплоснабжающих установок.

На выводах всех трубопроводов на ТЭЦ устанавливаются приборы, показывающие и регистрирующие давление, температуру и расход теплоносителей. Показания приборов выводятся на тепловой щит станции.

На трассе тепловых сетей в основных узлах на трубопроводах применяются приборы, показывающие давление и температуру.

Измерение и контроль параметров сжатого воздуха, воды и других энергоносителей производятся аналогично измерению и контролю параметров тепловой энергии.

Материалы эксплуатационного учета, контроля и регистрации, материалы испытаний, обследований, контрольных замеров служат исходными данными для составления энергобалансов.

Для анализа энергоиспользования и обоснования технического прогресса в энергетике важно иметь энергетический баланс, расходная часть которого составлена по показателям целевых расходов топлива и энергии.

Как правило, непосредственный учет расходов топлива и энергии по статьям целевых расходов оказывается невозможным по двум причинам: в связи с коллективным энергоснабжением отдельных энергопотребляющих процессов, относящихся к различным статьям целевого расхода; из-за отсутствия необходимого количества контрольно-измерительных приборов по учету расходов топлива и энергии.

В этих условиях определение целевых расходов возможно лишь расчетным путем на основе информации, получаемой от эксплуатационных контрольно-измерительных приборов, а также по характеристикам энергетического оборудования и параметрам энергопотребления.

Целевые расходы топлива и энергии на промышленных предприятиях могут быть определены по одному из следующих методов:

1. при наличии счетчиков (расходомеров), установленных на энергопотребляющих объектах;
2. при отсутствии счетчиков, но при наличии комплекта эксплуатационных контрольно-измерительных приборов;

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулировании СТЭС ПП

3. при отсутствии контрольно-измерительных приборов - по установленной мощности.

Метод по п.1 отличается высокой точностью, но в практических условиях имеет ограниченное применение из-за экономической нецелесообразности установки счетчиков на каждой единице энергетического оборудования.

Метод по п.2 дает приближенные результаты, но при большом числе замеров можно получить достаточную точность.

Технические средства систем управления

Структура технических средств

По функциональному назначению технические средства систем управления подразделяются на пять групп:

1. средства получения информации предназначены для обеспечения информацией всех вышерасположенных в иерархии технических средств, непосредственно взаимодействуют с объектом управления и преобразуют измеряемые и регулируемые величины в унифицированные (электрические, пневматические) или естественные электрические выходные сигналы;

2. средства локального контроля и регулирования предназначены для реализации заданного алгоритма регулирования, технические средства этой группы обеспечивают возможность построения как простейших автоматических систем регулирования, так и локальных подсистем автоматического регулирования сложных объектов управления;

3. средства централизованного контроля и управления предназначены для построения систем автоматизации высокой информационной мощности в виде агрегатных комплексов централизованного контроля и управления и информационно-вычислительных комплексов;

4. вычислительные средства автоматизации для выполнения сложных управляющих функций;

5. средства воздействия на процесс осуществляют реализацию управляющих и регулирующих воздействий на объект путем изменения положения регулирующих органов объекта.

Решение простых задач автоматизации (двух- и трехпозиционное регулирование, одноконтурное автоматическое регулирование) обеспечивается средствами локального контроля и регулирования.

Раздел 2 *Контроль. Регистрация и регулирование СТЭС ПП*

Средства локального контроля и регулирования

В состав этой группы входят следующие приборы

1. датчики-реле, показывающие, регистрирующие и регулирующие (универсальные и специализированные) приборы;
2. автоматические регуляторы прямого действия;
3. электронные регуляторы и электрические регулирующие и сигнализирующие устройства;
4. агрегатные комплексы средств автоматизации;
5. регулирующие программируемые микропроцессорные приборы ПРОТАР, ПРОТЕРМ, ТЕПЛАР, ПРОЛОГ;
6. регулирующие микропроцессорные контроллеры;
7. комплексы средств автоматизации простых объектов.

Для автоматического регулирования с применением простейших нелинейных алгоритмов используют

- датчики-реле (бесшкальные) температуры, давления, уровня, разности давлений и расхода, наличия потока;
- показывающие и регистрирующие приборы с контактными устройствами.

Приборы этого типа снабжены электрическим двух- или трехпозиционным контактным устройством и применяются совместно со средствами воздействия на процесс. Заданное значение регулируемой величины устанавливается в пределах диапазона преобразования датчика-реле или шкалы показывающего (регистрирующего) прибора [1].

Регуляторы прямого действия

Работают без вспомогательных источников энергии, реализуют простейшие алгоритмы регулирования и применяются для автоматизации простых объектов с малым числом регулируемых переменных при отсутствии повышенных требований к качеству автоматической системы регулирования. (АСР паровых котлов малой производительности, теплообменников индивидуальных и центральных тепловых пунктов, нагревательных печей, газосмесительных станций и т.п.). Эти регуляторы используют для автоматического поддержания на заданных значениях температуры, давления, перепада давлений, расхода пара, газообразных и жидких сред.

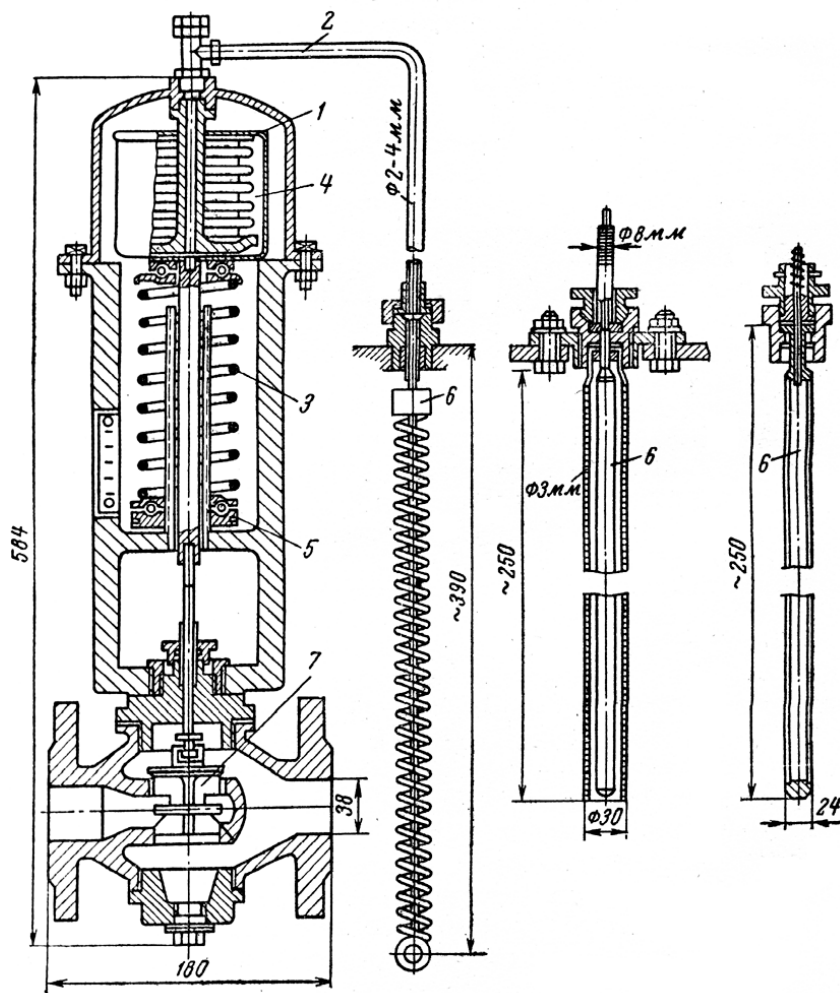


Рис.17 Автоматический регулятор прямого действия [5].

1 – сильфон Томпак, $\delta=0,1 - 0,15$ мм в три-четыре слоя; 2 – латунная трубка, наполненная веществом с низкой температурой кипения, максимальное давление в трубке 0,6 МПа; 3 – стальная пружина, стремящаяся поднять золотник клапана вверх; 4 – сильфонная камера; 5 – гайка и шайба на шариках для натяжения пружины; 6 – чувствительный патрон; 7 – уравновешенный золотник.

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулировании СТЭС ПП

Регуляторы давления прямого действия предназначены для поддержания заданного давления пара, неагрессивных жидкостей и газообразных сред.

На рис.17 показан регулятор РПД [5]. Основной деталью регулятора служит чувствительный патрон 6, вставленный в резервуар, в котором он должен регулировать температуру воды.

Второй главной деталью регулятора является вентиль, монтируемый на трубе, подающей теплоноситель. Вентиль имеет пружину 3, удерживающую в открытом виде золотник 7. Если вода нагревается выше определенного предела, пары легкокипящей жидкости, находящиеся в патроне 6 увеличивают свою температуру и давление, которое передается на клапан, преодолевает усилие пружины 3, давит на седло вентиля сверху и прикрывает его [5].

Назначение дроссельно-регулирующей арматуры

Трубопроводы являются основным местом установки дроссельно-регулирующей арматуры - устройств для управления потоками рабочей среды (воды, пара, газа, воздуха, мазута и т.д.). Эти устройства позволяют поддерживать заданный технологический режим работы оборудования энергоблока с обеспечением его нормальной и безопасной эксплуатации.

Эксплуатационные характеристики арматуры и трубопроводов тесно взаимосвязаны. Так, корпус арматуры испытывает напряжения, возникающие в результате термических расширений трубопровода. Внутренняя конфигурация проточной части арматуры оказывает существенное влияние на суммарные потери давления в трубопроводах.

На тепловых электростанциях, в основном, применяется пароводяная арматура, причем та ее часть, которая работает в среде высоких параметров, существенно отличается от арматуры общепромышленного назначения и выделяется в особую группу энергетической арматуры.

К регулирующей арматуре относятся:

- вентили водяные и паровые;
- клапаны питания котлов;
- клапаны основного, аварийного и пускового впрысков;
- клапаны впрыска в РОУ и БРОУ.

Процессы регулирования всегда сопровождаются дросселированием. На практике дросселирование связывают с паром, а регулирование - с водой. Соответственно паровую арматуру считают условно дросселирующей, а водяную - регулирующей.

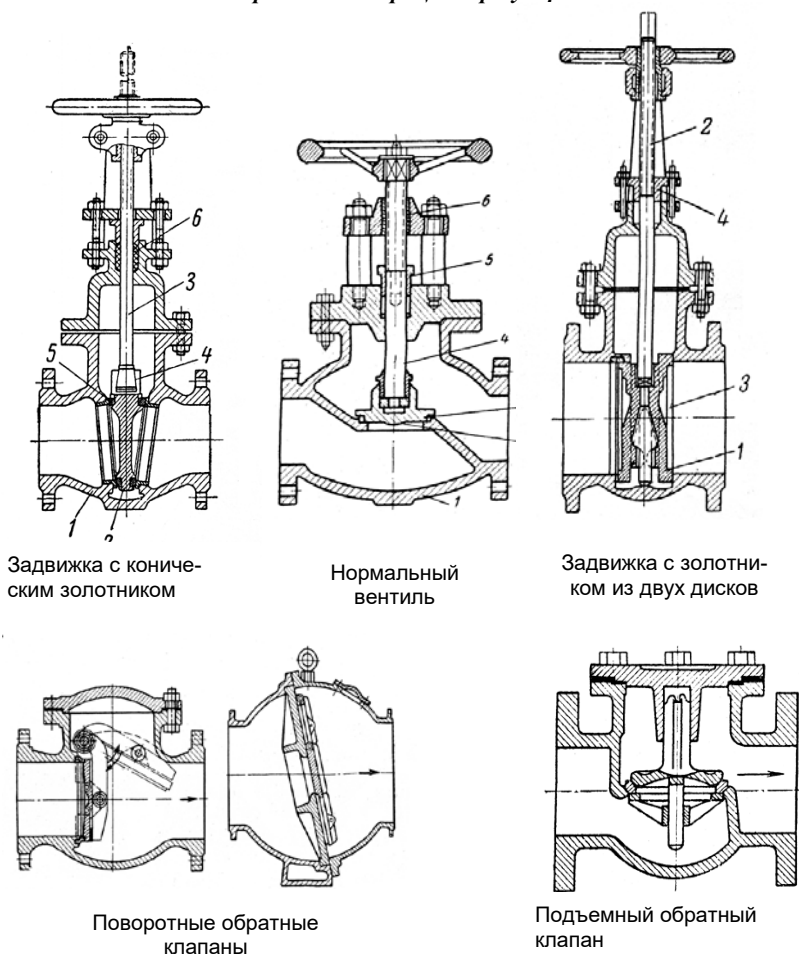


Рис. 18. Арматура трубопроводов.

Собственно под регулированием понимается изменение расхода или энергии вещества, подаваемого в регулируемый объект, а под дросселированием - рассеивание (превращение в тепло) энергии потока рабочей среды при прохождении ее через местное гидравлическое сопротивление, каким, например, является клапан [10].

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулирование СТЭС ПП

Контроль и регулирование систем теплоэнергоснабжения

Контроль и регулирование работы котельных

При ручном регулировании котлов их к.п.д. составляет не более 80%, что является недостаточным, особенно при использовании дефицитного газообразного топлива. Автоматизация регулирования котлов позволяет повысить их к.п.д. до 92 % (при работе на природном газе) и уменьшить количество обслуживающего персонала.

Для паровых котлов предусматривается автоматическое регулирование питания водой. При использовании газообразного и жидкого топлива осуществляется установка регуляторов давления газообразного топлива, температуры и давления жидкого топлива.

Основной задачей автоматического регулирования котла является поддержание постоянного уровня воды в барабане и неизменного давления пара независимо от нагрузки при достаточной экономичности процесса горения.

При изменении нагрузки котла и неизменном режиме работы топки давление пара в котле изменяется: при уменьшении нагрузки повышается, при увеличении - снижается. Изменение давления пара в котле используют в качестве импульса для регулирования подачи топлива и воздуха в топку, а также для создания в топке определенного разрежения. Уменьшение колебания давлений пара повышает к.п.д. котла и увеличивает срок службы отдельных его элементов, а автоматическое регулирование тяги и дутья сокращает расход электроэнергии на собственные нужды котельных.

Контроль и регулирование работы котельных сводится к контролю и регулированию котлов, системы водоподготовки и вспомогательного оборудования.

Для котлов с давлением пара выше 0,17 МПа и производительностью от 4 до 30 т/ч следует предусматривать показывающие приборы для измерения:

1. температуры пара за пароперегревателем до главной паровой задвижки;
2. температуры питательной воды за экономайзером;
3. температуры уходящих газов;
4. температуры воздуха до и после воздухоподогревателя;
5. давления пара в барабане (для котлов производительностью более 10 т/ч указанный прибор должен быть регистрирующим);

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулировании СТЭС ПП

6. давления перегретого пара до главной паровой задвижки;
7. давления пара у мазутных форсунок;
8. давления питательной воды на входе в экономайзер после регулирующего органа;
9. давления воздуха после дутьевого вентилятора;
10. давления жидкого и газообразного топлива перед горелками за регулирующим органом;
11. разрежения в топке;
12. разрежения перед дымососом;
13. расхода пара в общем паропроводе от котлов (самопишущий прибор) ;
14. содержания кислорода в уходящих газах (переносный газоанализатор) ;
15. уровня воды в барабане котла.

При дистанционном контроле нескольких одноименных параметров рекомендуется применение общего показывающего или самопишущего измерительного прибора. Рекомендуется установка приборов с совмещенными функциями: показывание и регистрация, регистрация и суммирование и др [8].

Контроль и регулирование паровой сети

Технический контроль работы систем пароснабжения осуществляется с помощью измерительных и контрольных приборов, располагаемых на центральных, местных оперативных щитах, в контрольных точках, обеспечивающих оперативное руководство эксплуатации системы.

Контроль паровой сети осуществляется по двум направлениям:

1. определяется характеристика изменения давлений пара и его массовые потери, то есть гидравлическая характеристика паровой сети;
2. определяются тепловые потери, то есть характеристика изменения энтальпии пара, которая непосредственно связана с состоянием тепловой изоляции паропроводов.

По результатам измерения давлений строится график по данным о расходах пара потребителями и об избыточных давлениях пара на вводах потребителей. Для нахождения распределения давления паровая сеть разбивается на отдельные участки и в крайних точках каждого участка устанавливаются манометры. Аналогично снимается график давлений в конденсатопроводах. Определение распределения давлений в паровой и конденсатной сетях

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулировании СТЭС ПП
позволяет регулировать гидравлический режим работы.

Контроль теплопотерь в сетях является не менее важной задачей для обеспечения нормальной эксплуатации. Удельные теплопотери не должны превышать установленных норм.

Увеличение теплопотерь происходит из-за нарушения тепловой изоляции при неправильной эксплуатации и воздействия природно-климатических и техногенных факторов. Необходимо осуществлять постоянный контроль состояния тепловой изоляции сетей. Наиболее легко этот контроль осуществляется при надземной прокладке трубопроводов, при подземной - контроль значительно усложняется.

Первоначальная регулировка паровой сети проводится таким образом, что при расчетном расходе пара весь избыточный напор гасится на вводах потребителей. Этому гидравлическому режиму соответствует работа сети с открытыми выходными задвижками у источников теплоты и магистральными задвижками. Такая первоначальная регулировка паровой сети обеспечивает наибольшую гидравлическую устойчивость. Паровые сети обладают по сравнению с водяными тепловыми сетями значительно большей гидравлической устойчивостью и меньшими значениями падения давления во внешних паропроводах. Поэтому колебания расхода пара у одних абонентов не вызывает существенного нарушения нормального режима у других и местное регулирование отпуска пара может обеспечить нормальный режим работы паровых систем промышленного предприятия.

Обслуживание паровой сети заключается в периодическом осмотре оборудования паровой сети, который производится по специальному графику, утверждаемому главным энергетиком предприятия, но не реже 1 раза в неделю. При этом контролируется состояние арматуры, компенсаторов, опор, строительных конструкций, плотность сетей, вводов и местных систем. При надземной прокладке контролируется также состояние тепловой изоляции. Все недостатки устраняются немедленно.

Для уменьшения разрегулирования системы пароснабжения необходимо максимально повышать давление пара на входе в сеть, ограничивая его только пределом прочности трубопроводов.

Для увеличения тепловой устойчивости системы пароснабжения и снижения ее разрегулировки необходимо повышать параметры пара в сети, дросселировать пар непосредственно у потребителей, а не на входе в цеха, полнее использовать пар у потребителей, шире использовать автоматические регуляторы давления [8].

Основные задачи автоматизации и диспетчеризации систем теплоэнергоснабжения

Основной задачей автоматизации в энергоснабжении является обеспечение бесперебойной работы промышленного предприятия.

Автоматизация энергоснабжающих установок увеличивает надежность работы, повышает их к.п.д., производительность труда и качество выпускаемой продукции, способствует в некоторых случаях снижению капитальных затрат, улучшает условия работы обслуживающего персонала и сокращает его количество. Так, например, применение автоматических устройств для доменных и мартеновских печей увеличивает выпуск металла на 7 - 10 % и экономит 4 - 6 % топлива.

Как показывает опыт эксплуатации, автоматические устройства в системах энергоснабжения работают надежно и эффективно. Основное требование, предъявляемое к устройствам автоматизации - простота и надежность. Излишний объем автоматизации усложняет эксплуатацию и понижает надежность энергоснабжения.

Диспетчеризация представляет собой технику централизованного оперативного распоряительства ходом любого технического процесса с включением всех средств дистанционного контроля. Она осуществляет связь человека на командном посту с человеком у машины или с автоматическим исполнительным механизмом.

Современная диспетчеризация требует применения автоуправления и телемеханизации, то есть средств автоматического дистанционного контроля и телеуправления.

Диспетчерская служба должна осуществлять управление энергоснабжающими установками предприятия, обеспечивать надежное и экономичное энергоснабжение, она включает в себя обслуживающий персонал и технические средства. В зависимости от мощности и сложности системы энергоснабжения диспетчеризация выполняется средствами телемеханики или автоуправления или простейшими средствами связи и сигнализации. Энергодиспетчеры, управляющие на расстоянии всей энергетикой завода и контролирующие параметры всех энергоносителей, располагаются в специальном диспетчерском пункте, например, на ТЭЦ или в ряде случаев в общезаводском диспетчерском пункте.

Автоматическое управление является техникой автоматического дистанционного управления или регулирования, производящегося на основании автоматических показаний контрольных при-

Раздел 2 Контроль, Регистрация и регулировании СТЭС ПП

боров и первичных индикаторов. Оно осуществляет связь автоматического управляющего механизма с автоматическим исполнительным механизмом.

Под телемеханикой понимается техника централизованного контроля, распоряительства и управления на расстоянии любым техническим процессом, включая автоматизацию отдельных операций управления или всего управления в целом. Телеуправление осуществляет связь человека на задающем конце с автоматическим устройством управления на приемном конце.

Телеуправление применяется на современных энергоснабжающих установках для дистанционного управления с оперативных щитов, щитов управления и диспетчерских щитов отдельными агрегатами и их вспомогательными механизмами, снабженными автоматическими устройствами управления.

Телемеханизация диспетчерского управления обычно применяется на крупных энергетических предприятиях. Внедрение телемеханизации и автоматического управления в диспетчерскую службу повышает надежность энергоснабжения и позволяет значительно сократить численность обслуживающего персонала [6].

Автоматизация систем теплоэнергоснабжения

Автоматизация современных энергетических установок промышленных предприятий заключается в следующем:

- в автоматическом регулировании работы агрегатов, то есть в автоматическом поддержании величин регулируемых параметров постоянными или изменении их по заданному закону;
- автоматическом пуске или установке основного или вспомогательного оборудования;
- в блокировке, защищающей оборудование от ошибочных действий персонала при авариях с другими элементами оборудования
- в защите тепломеханического оборудования от аварий.

В тепломеханической части станций наиболее сложным является автоматическое регулирование котельного агрегата, так как в этом случае приходится автоматизировать управление рядом одновременно протекающих рабочих процессов (топочный режим, питание, парообразование).

Системы автоматического регулирования применяются также для вспомогательного оборудования станции (РОУ, деаэраторы и паропреобразовательные установки).

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулировании СТЭС ПП

Для остальных агрегатов и участков станции практикуется установка отдельных элементов автоматического регулирования и управления, а также автоматической защиты, например, для теплофикационных сетевых подогревателей, насосов системы золоудаления и так далее.

В настоящее время на промышленных предприятиях в основном осуществляется автоматизация отдельных процессов и агрегатов. Автоматизация элементов систем теплоснабжения состоит в следующем:

- поддержание заданных давлений на обратном коллекторе тепловой сети у источника тепла, в обратной магистрали в точках присоединений высоких или высоко расположенных зданий, на насосных подстанциях;
- поддержание постоянного расхода сетевой воды для систем отопления;
- автоматическая защита тепловой сети и систем потребителей тепла от чрезмерных давлений;
- управление насосами на подстанциях, у источника тепла и в пунктах откачки конденсата;
- поддержание температур воды в водоподогревательной установке источника тепла, на вводах и теплоприемниках систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;
- поддержание давлений пара на вводах потребителей тепла.

Основная задача состоит в том, чтобы на базе внедрения новой техники поднять производительность труда персонала, улучшить оперативно-диспетчерское управление отдельными участками сетей. Предусматривается местное и телеуправление электродвигателями магистральных задвижек, телеизмерение расхода, давлений и температур теплоносителя. На насосных подстанциях решаются задачи телеуправления электродвигателями насосов и измерения расхода и давлений воды.

Вся аппаратура и приборы размещаются на щитах управления, устанавливаемых в помещении насосных подстанций. Телеизмерение предусматривает передачу на районный диспетчерский пункт показаний контрольно-измерительных приборов, установленных в камерах и на насосных подстанциях. В этом случае используются приборы с датчиками, передающими показания по телефонным проводам.

Диспетчеризация систем теплоснабжения

Современное централизованное теплоснабжение требует непрерывного вмешательства человека для регулирования работы оборудования тепловых станций, сетей и абонентских вводов с

Раздел 2 Контроль. Регистрация и регулировании СТЭС ПП

главного поста управления. Такая диспетчеризация основана на автоматической передаче информации из подстанций, контрольно-распределительных и тепловых пунктов в центральный диспетчерский пункт. С этой целью во всех характерных пунктах тепловой сети размещаются автоматические приборы с выводами электрических сигналов о показаниях контрольно-измерительных приборов, состоянии электрооборудования и о положении запорно-регулирующей арматуры на центральный пункт управления.

Дистанционное управление по телевидению подразделяют на оповещательное и исполнительное. Оповещательное телеуправление осуществляется автоматически, по вызову и непрерывно. Автоматическое оповещение оборудуется с целью передачи на пункт управления аварийно-предупредительного сигнала в случае возникновения аварии.

Диспетчеризация открывает широкие перспективы для применения систем автоматического управления с вводом опросной информации от контролируемых объектов на ЭВМ для решения важнейших вопросов эксплуатации:

- выбора оптимального сочетания центрального, группового, местного и индивидуального регулирования тепловой нагрузки с учетом местных метеоусловий и микроклимата в отдельных помещениях;
- выбора оптимального варианта распределения тепловой нагрузки между основными и пиковыми источниками тепла;
- ускоренной локализации аварийных участков и организации оптимального режима теплоснабжения в аварийных ситуациях;
- выбора оптимальных условий технической эксплуатации систем теплоснабжения.

Дистанционное управление на больших расстояниях до объектов регулирования расширяет возможность диспетчерского рапорта, но требует значительных капитальных вложений на прокладку большого количества проводов линий связи. Внедрение телеконтроля и телемеханизации позволяет уменьшить эти затраты и повысить эффективность централизованного управления за счет значительного расширения количества объектов и точек контроля и сокращения времени на сбор информации.

РАЗДЕЛ 3 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Общие сведения об энергобалансах

Топливоно-энергетический баланс предприятий

Энергетические балансы промышленных предприятий предназначены для решения следующих основных задач:

- планирования энергоснабжения предприятий и его подразделений;
- отчетности о потреблении и использовании энергоресурсов на предприятии;
- оценки фактического состояния энергоиспользования на предприятии;
- выявления причин возникновения и определения потерь энергоресурсов и энергоносителей;
- выявления и оценки резервов экономии топлива и энергии и разработки плана мероприятий, направленных на снижение потерь энергоресурсов;
- улучшения режимов работы технологического и энергетического оборудования;
- определения рациональных размеров энергопотребления в производственных процессах и установках;
- совершенствования методики нормирования и разработки норм расхода топлива и энергии на производство продукции;
- определения требований к организации и совершенствованию системы учета и контроля энергоресурсов и энергоносителей;
- получения исходной информации для создания нового оборудования и совершенствования технологических процессов с целью экономии энергетических затрат;
- оптимизации структуры энергетического баланса предприятия путем выбора оптимальных направлений, способов и размеров использования подведенных и вторичных энергоресурсов;
- совершенствования внутрипроизводственного хозяйственного расчета и системы стимулирования экономии энергоресурсов.

Без составления и анализа энергетических балансов невозможна эффективная работа промышленного предприятия и разработка энергосберегающих мероприятий [11].

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Виды и назначение энергетических балансов

В зависимости от назначения на промышленном предприятии применяются различные виды энергобалансов, характеризующиеся следующими признаками:

- временем разработки (отчетные, плановые, перспективные и прогнозные);
- стадией энергетического потока (производство, преобразование, распределение, конечное использование энергоресурсов);
- объектом разработки (предприятие, производство, цех, участок, агрегат, установка);
- целевым назначением (основные и вспомогательные технологические процессы, в том числе, различные виды процессов: силовые, высокотемпературные, санитарно-технические нужды: отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, освещение, коммунально-бытовые нужды);
- видами и задачами потребляемых энергоресурсов и энергоносителей (топливо, теплота и электрическая энергия, холод, сжатый воздух и газ под давлением, вода) и видами используемой энергии (механическая, тепловая, химическая);
- способом разработки (опытный, расчетный и опытно-расчетный);
- качественными признаками, характеризующими уровень энергоиспользования (нормализованный, рациональный и оптимальный энергобалансы);
- формой составления (синтетический и аналитический энергобалансы).

Различные виды энергобалансов должны разрабатываться на промышленном предприятии в определенной последовательности и взаимосвязи.

В качестве основного документа, регламентирующего работу энергохозяйства предприятия, составляется *текущий синтетический энергобаланс* по видам потребляемой энергии, по объектам энергопотребления с разбивкой по целевому назначению и по стадиям энергетического потока.

После окончания отчетного периода (квартала, года) по данным внутризаводских отчетных документов (журналов учета, ведомостей, справок) составляется *отчетный (фактический) синтетический энергобаланс* (по статистическим и другим формам), показывающий распределение подведенных энергоносителей внутри предприятия.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

По данным синтетического баланса, а также с учетом других сведений (полученных путем испытаний, расчетов) составляется с той или иной степенью детализации по объектам, целевому назначению, видам энергии *фактический аналитический энергобаланс*, отражающий разделение общего расхода энергоносителей на полезный расход и потери энергии.

На основе проведенного анализа фактического энергобаланса разрабатывается *перспективный энергобаланс* с учетом проведения работ по нормализации расходов энергоресурсов, мероприятий по рационализации и оптимизации структуры потребления.

При составлении *частных энергетических балансов* (по видам энергоносителей) количественное измерение энергоресурсов и энергоносителей производится в гигаджоулях, киловатт-часах и тоннах условного топлива. При составлении *сводного энергетического баланса* (по суммарному энергопотреблению) измерение различных энергоресурсов и энергоносителей производится в тоннах условного топлива. Пересчет различных видов энергоресурсов и энергоносителей в условное топливо производится с учетом средних коэффициентов.

Первичная информация по разработке и анализу энергетических балансов промышленных предприятий состоит из разделов:

- общие сведения о предприятии;
- отчетный энергетический баланс предприятия;
- технические и энергетические характеристики энергоиспользующего оборудования;
- технико-экономические характеристики энергоносителей.

Основу первичной информации по обследованию уровней и эффективности использования энергии в промышленности составляют действующие формы статистической отчетности. Технические и энергетические характеристики оборудования должны отражать:

- материальные потоки (материальный баланс);
- расходы и параметры сырья, топлива и энергии, количество отходов;
- конструктивные особенности установки (габариты, изоляцию, наличие установок по утилизации вторичных энергоресурсов, наличие контрольно-измерительных приборов и автоматики);
- уровень эксплуатации (периодичность использования, продолжительность нахождения в горячем резерве и т.п.).

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Фактические технические и энергетические характеристики должны быть сопоставлены с проектными или лучшими по данному типу оборудования показателями (эталонами), соответствующими рациональной эксплуатации оборудования и уровню энергоиспользования.

Возможные отклонения должны быть тщательно проанализированы, на их основе должен быть составлен план мероприятий по экономии топлива и энергии и оценен возможный экономический эффект.

Технико-экономические характеристики энергоносителей служат для выявления причин снижения эффективности энергоиспользования в результате отклонения параметров энергоносителей от допустимого (проектного, эталонного) уровня, а также как исходная информация при разработке оптимальных энергетических балансов предприятия. Эти характеристики включают:

- стоимость энергоносителей;
- параметры энергоносителей: для электроэнергии - напряжение, частоту, значение $\cos \varphi$ (фактическое); для теплоты - давление, температуру теплоносителя, возврат конденсата; для топлива - низшую теплоту сгорания, зольность, влажность, сернистость (фактические);
- график годового и суточного потребления энергоносителей (для летнего и зимнего периодов).

Если имеет место собственное производство энергоносителей и поступление со стороны, то данные по обоим потокам следует давать раздельно [11].

Анализ энергетических балансов

Анализ проводится с целью качественной и количественной оценки состояния энергетического хозяйства и энергоиспользования в следующих направлениях:

- исследование структуры поступления и потребления энергоресурсов и энергоносителей на предприятии;
- определение показателей эффективности энергоиспользования;
- расчет обобщенных показателей состояния энергетического хозяйства предприятия;
- получение исходной информации для постановки и решения в дальнейшем задач оптимизации структуры энергетического баланса предприятия.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Анализ структуры приходной и расходной частей энергетического баланса позволяет установить специфику энергопотребления на предприятии, выявить различие в уровнях энергопотребления и эффективности энергоиспользования в отдельных элементах предприятия и на предприятии в целом. При проведении анализа все элементы предприятия, подлежащие специальному обследованию, классифицируются на группы процессов и установок, однородных по виду используемых энергоносителей и сходных по методике анализа энергоиспользования [11].

Топливные балансы

Приходная часть энергетического баланса отражает три основных направления ее формирования:

1. остатки энергетических ресурсов;
2. их добычу или производство;
3. поступление со стороны.

При добыче топлива из недр извлекается горючая часть и балласт. Механические примеси (порода, вода, соль), входящие в балласт, как правило, отделяются от горючей массы на стадиях добычи и облагораживания энергетических ресурсов. В энергетическом балансе должно отражаться все добываемое топливо с удаляемыми на этих стадиях механическими примесями. К добыче следует также относить извлечение и использование геотермальной теплоты в виде пара и горячей воды.

Производство топлива и энергии охватывает стадию переработки и преобразования энергетических ресурсов и утилизации побочных энергетических ресурсов:

- переработку твердого топлива (коксование, газификация);
- переработку жидкого топлива (нефтепереработка);
- переработку газообразного топлива (например, сжижение горючих газов);
- производство электроэнергии на электростанциях и установках разных типов;
- производство теплоэнергии (ТЭЦ, промышленно-производственными и отопительными котельными, утилизационными установками);
- производство сжатого воздуха (ТЭЦ - ПВС, компрессорными станциями и установками);
- производство холода;
- утилизация побочных горючих энергетических ресурсов.

Производство теплоэнергии может характеризоваться выработанной, отпущенной и полезно отпущенной теплотой. Из-за отсут-

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

ствия налаженного учета расхода теплоты на собственные нужды котельных определение выработанной теплоты котельной не представляется возможным. Оценка работы котельной по отпущенной теплоте нецелесообразна, поскольку в этом случае не учитывается возврат теплоты с конденсатом и обратной сетевой водой. Это же не позволяет проводить сопоставление удельных расходов топлива по котельным установкам, работающим в различных условиях. Определение производства теплоэнергии по всем котельным должно вестись по полезно отпущенной теплоте.

Оценка совершенства энергетического баланса в значительной мере определяется уровнем использования побочных энергетических ресурсов. Поэтому в приходной части баланса должны быть выделены ресурсы, поступающие от утилизационных установок, и производственные отходы, используемые в качестве топлива.

В эту группу ресурсов следует включить:

- горючие (топливные) побочные энергетические ресурсы, к которым относятся топливные отходы в процессах переработки технологического сырья (промежуточные продукты, отходы древесины, щелока целлюлозного производства, смола и т.п.);
- горючие газы, образующиеся в процессе производства (доменный, конвертерный и др.); остатки древесных конструкций (зданий, шпал и т.п.);
- теплоэнергию, получаемую в системах охлаждения технологических установок (водяное охлаждение, испарительное охлаждение и т.п.), а также утилизированную теплоту, получаемую при охлаждении отходящих газов технологических агрегатов (мартеновских, обжиговых печей, конвертеров, нагревательных и других устройств), при охлаждении продукции и отходов основного производства (например, сухое тушение кокса); теплоту пара, отработанного в технологических и силовых установках;
- электроэнергию, вырабатываемую за счет использования избыточного давления газов и жидкостей и в турбинах мягкого пара.

Расходная часть энергетического баланса состоит из расхода топлива и энергии энергетическим объектом, отпуска на сторону и остатка на конец отчетного периода. Расход внутри энергетического объекта может быть показан по двум направлениям использования:

- по производственному признаку;
- по целевому назначению.

Распределение энергетических ресурсов по производственному признаку предполагает характеристику расхода топлива и энергии на каждой стадии энергетического потока. При этом на стадии переработки топлива учитываются (помимо расходов топлива в

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

качестве сырья для производства других видов топлива) расходы на производство нетопливных продуктов. Это отвечает технологии комплексного (комбинированного) производства, например, нефтепереработке, коксохимии и т.п.

Собственные нужды энергетических объектов по добыче и переработке топлива и преобразованию энергии должны непосредственно отражаться в энергетическом балансе. Исключение составляет расход теплоты на собственные нужды котельных. Такой подход позволяет оценить коэффициенты преобразования энергетических ресурсов.

Стадия конечного использования топлива и энергии при разработке расходной части энергетического баланса по производственному признаку характеризуется двумя основными составляющими:

1. расходами на производство неэнергетической продукции и оказание услуг;
2. расходами на коммунально-бытовые нужды.

К неэнергетической продукции и услугам относятся все виды продукции и услуг, кроме топлива, электроэнергии, теплоэнергии, сжатого воздуха и холода. В состав расходов на производство неэнергетической продукции необходимо включать топливо на нетопливные нужды (например, уголь и кокс, идущие на производство электродов), бензин, используемый для промывки деталей и т.п.

Выделение расходов топлива и энергии на коммунально-бытовые нужды диктуется необходимостью изучения уровня обеспеченности населения энергетическими ресурсами. Тем самым осуществляется контроль одного из важных показателей жизненного уровня населения.

В процессе разработки энергетических балансов большое внимание следует уделять выявлению и анализу причин возникновения потерь энергии и определению мер по их устранению. При этом в синтетических балансах устанавливаются только потери на стадиях энергетического потока до установки, преобразующей или использующей энергетические ресурсы.

Сюда не относятся потери топлива и энергии, связанные с осуществлением технологического процесса (потери в окружающую среду, с уходящими газам, недожогом, охлаждающей водой и т.п.). Эти потери учитываются при разработке аналитических энергетических балансов. Они включают потери при транспортировке и хранении топлива и энергии внутри предприятия и потери при обогащении, обезвоживании и обессоливании топливных энергетических ресурсов.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Потери, связанные с неполным использованием энергетических ресурсов (например, сжигание в факелах попутного, доменного и других газов, неполный слив жидких топлив из цистерн и т.п.), необходимо рассматривать как потенциальные энергетические резервы. Размеры этих потерь характеризует уровень рационального ведения хозяйства. Поэтому они должны обязательно включаться в энергетический баланс.

Для анализа энергоиспользования и обоснования направлений технического прогресса в энергетике важно иметь энергетический баланс, расходная часть которого составлена по показателям целевых расходов топлива и энергии по следующим статьям:

- рабочие машины, механизмы и их привод (насосные, вентиляционные установки, компрессорные машины, подъемно-транспортное оборудование и другое оборудование производственного назначения, использующее силовой привод всех типов);
- отопление, вентиляция, горячее водоснабжение и кондиционирование воздуха;
- освещение;
- электрохимические процессы;
- средства связи и управления;
- транспортные средства предприятия;
- топливо на нетопливные нужды;
- топливо на переработку в другие виды топлива и нетопливные продукты;
- тепловые технологические процессы.

Суммарные целевые расходы по отдельным видам топлива и энергии на промышленном предприятии, с одной стороны, равны полному потреблению за вычетом потерь при транспортировке, хранении внутри предприятия и переработке, а с другой - сумме отдельных статей целевого расхода. Последние получаются в преобладающем числе случаев путем расчета. Поэтому может возникнуть невязка баланса. По относительной величине невязки баланса можно судить о точности составления расходной части баланса по целевым расходам, правильности построения расчетных формул и значений параметров, принимаемых в расчетах.

Раздел энергетического баланса, содержащий целевые расходы топлива и энергии, позволяет получить обобщенную оценку эффективности энергетического хозяйства - коэффициент полезного использования энергетических ресурсов [11].

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Пароконденсатные балансы

При наладке общего комплекса энергопотребления промышленного предприятия, использующего в качестве теплоносителя пар, важное значение имеет составление пароконденсатных балансов. Их составление позволяет получить четкую картину использования пара и возвращение конденсата на предприятии, что, безусловно, сказывается на общем энергетическом балансе, обеспечивая значительную экономию энергии и топлива.

Однако составление пароконденсатного баланса даже небольшого промышленного предприятия представляет определенные трудности ввиду отсутствия необходимых приборов измерения отдельных параметров. Например, определение содержания пара в конденсате можно осуществить только калориметрическим способом, то же относится к определению энтальпии влажного пара.

Составить пароконденсатный баланс установки потребления пара или предприятия в целом - значит определить количество поступающего потребителям пара и количество возвращаемого от них конденсата.

Эту задачу можно выполнить либо по отдельным цехам и предприятию в целом, рассматривая при этом общее количество пара и возвращаемого конденсата, либо по каждому потребителю отдельно с последующим суммированием по цехам и предприятию в целом.

В первом случае, определяется процент возвращаемого конденсата, но не учитываются причины потерь конденсата, во втором - причины потерь вскрываются, но задача значительно усложняется, так как на предприятии должна быть хорошо налажена информационная служба.

Другим важным показателем работы конденсатных систем является степень использования теплоты конденсата в пароконденсатной системе.

Теплота, поступающая в пароконденсатную систему с паром, расходуется на различные цели.

С достаточной степенью точности использование теплоты конденсата суммарно одной рассматриваемой системой можно определить на основе теплового баланса.

Границы пароконденсатных систем промышленных предприятий устанавливаются администрацией предприятия по согласованию с руководством источника пара.

В соответствии с принятыми границами производится регистрация параметров пара, отпускаемого предприятию, и конденсата, возвращаемого источнику [8].

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Методы сведения балансов производственного пара

Расходы производственного пара потребителями сильно изменяются как по сезонам года, так и в пределах месяцев, суток и даже часов. Изменяются в течение суток (часов) и приходы пара от утилизационных установок (УУ), использующих различные ВЭР.

Например, при нормальной работе установок сухого тушения кокса (УСТК) и котлов-охладителей газов (КОГ) сталеплавильных конвертеров минимальный и максимальный приходы пара от этих двух видов УУ составляют соответственно от 45 до 400 т/ч, а от УСТК - 140-190 т/ч. Такие резкие изменения приходов пара от части установок, использующих ВЭР, сильно сказываются на общезаводском балансе пара.

Приходы пара от УУ прокатных цехов могут сильно колебаться из-за изменений режимов работы нагревательных печей и прокатных станов. Так, если количество нагретого в печах металла в данный момент превышает по тем или иным причинам потребность стана, то резко снижают количество топлива, сжигаемого в печах. Соответственно сильно снижается паропроизводительность КУ, установленных за этими печами.

При текущих ремонтах прокатных станов, которые могут длиться от нескольких часов до нескольких суток, паропроизводительность КУ падает, например, от 300 т/ч практически до нуля. Такое снижение производительности сильно влияет на баланс производственного пара по заводу.

Со снижением производительности уменьшается выход пара из систем испарительного охлаждения (СИО) печей, который у крупных станов составляет до 100 т/ч. Это снижение суммируется с уменьшением поступления пара от КУ этих печей.

Коксовые батареи на многих заводах планово-периодически останавливают примерно на сутки для ремонта обслуживающих печи механизмов.

Аналогичные колебания паропроизводительностей КУ и СИО в пределах суток (часа) наблюдаются и на УУ других технологических агрегатов. Поэтому для обеспечения надежного, бесперебойного пароснабжения потребителей совершенно недостаточно свести баланс завода по средним значениями расходов и приходов за месяц и тем более за год, а надо обязательно учитывать реальные графики расходов пара в течение месяца, суток, часа. Баланс пара должен сходиться в любой, хотя бы и короткий отрезок времени.

Практически на всех предприятиях различных отраслей промышленности есть потребители производственного пара, для которых перерывы в подаче пара или резкое уменьшение его подачи, а

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

также снижение давления недопустимы. У этих потребителей снижение давления пара, а следовательно и температуры в теплообменниках, может резко снизить производительность установки по основному технологическому продукту и даже приостановить течение технологического процесса. При этом может снижаться качество продукции и даже наблюдается ее порча. Снижение давления пара в системе общезаводских паропроводов наблюдается при недостаточном поступлении в него пара. Вспомогательные механизмы, работающие на паре, могут при этом не обеспечивать работу технологического агрегата, который они обслуживают.

Наряду с такими потребителями могут быть агрегаты и установки, которые менее чувствительны к не слишком продолжительным перерывам в подаче пара и снижениям его параметров. Это обстоятельство можно учитывать при сведении балансов пара по заводу, если полное его сведение по каким-либо причинам связано со слишком большими затратами. Для сведения балансов производственного пара по заводу в любой отрезок времени необходимо иметь резервные, мобильные пиковые парогенерирующие мощности или применять другие средства компенсации дебаланса. Необходимо также предусматривать возможности использования периодических избытков пара, во избежание вынужденного их сброса.

На первый взгляд, представляется наиболее простым и целесообразным компенсировать дебалансы производственного пара отборным паром турбин ТЭЦ. Режимы оборудования ТЭЦ не зависят от графиков работы технологических агрегатов, так как ТЭЦ работает на топливе и режимы ее работы могут поэтому устанавливаться в зависимости от потребности пара для покрытия дебаланса в каждый данный отрезок времени. Однако это оказывается далеко не всегда экономически оправданным, так как работа турбины с отбором пара дает экономию топлива (а тем более приведенных затрат) только при достаточной загрузке ее отборов в течение года. При недостаточной годовой загрузке отбора теплофикационная турбина работает с перерасходом топлива и особенно приведенных затрат по сравнению с работой при раздельном варианте КЭС плюс котельная [2].

Аккумуляирование производственного пара

Одним из путей сведения балансов производственного пара является его аккумуляирование в периоды избыточного поступления с отдачей пара во время, когда его не хватает.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Рассмотрим области возможного экономичного применения аккумуляторов пара.

Если в данном производстве дефициты пара невелики по абсолютным размерам (несколько десятков тонн в час) и длятся недолго - доли часа, то возможно применение пароводяных аккумуляторов. Так, если временный дефицит производственного пара равен 50 т/ч и длится 0,5 часа, то аккумулятор должен выдать 25 т/ч пара. Размеры такого аккумулятора могут составить 87,5 м³, что технически вполне допустимо и приемлемо.

В ряде производств, в частности на металлургических заводах, дефициты производственного пара могут составлять сотни тонн в час и длиться многие часы и даже несколько суток. В этих случаях аккумуляторные установки достигают неприемлемых размеров, требуют больших капиталовложений и расходов металла. Поэтому применение только аккумуляторной установки не может решить задачи балансирования расходов и доходов производственного пара для крупного завода. Установка может применяться как вспомогательное устройство для покрытия кратковременных дефицитов пара в сочетании с другими компенсирующими установками.

На металлургических заводах паровые аккумуляторы получили ограниченное распространение, в основном для выравнивания доходов пара от котлов - охладителей сталеплавильных конвертеров, у которых перерывы между продувками составляют обычно 30 -15 мин [2].

Выравнивание паропроизводительности утилизационных установок

Дебалансы производственного пара возникают, в значительной степени, из-за неравномерности выдачи пара утилизационными установками, следовательно, одним из путей поддержания баланса пара по заводу является выравнивание паропроизводительности УУ. Для большинства УУ такое выравнивание может быть достигнуто путем так называемой подтопки, то есть сжиганием в УУ топлива.

Обычно КУ обогревается отходящими газами технологического агрегата, например, нагревательной печи. Когда расход и температура отходящих газов уменьшаются, паропроизводительность КУ соответственно снижается. Повысить ее до нужного значения можно путем сжигания топлива в подтопочном устройстве и подмешивания горячих газов из подтопочного устройства к отходящим газам из печи.

Подтопкой можно обеспечить номинальную паропроизводительность КУ и при остановленной печи и даже превысить ее. В

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

обоих случаях дополнительный пар получается за счет сжигания топлива, как в обычных производственных или пиковых котельных. Соответственно экономичность применения подтопки определяется КПД, с которым используется дополнительное топливо, а также годовым числом часов работы подтопочного устройства [2].

Балансы горючих ВЭР

Общие положения

На многих предприятиях, в том числе на заводах черной и цветной металлургии, нефтеперерабатывающих, химических, а также заводах ряда других отраслей промышленности, в процессе производства выделяются горючие газы, которые, как правило, используются на этих же предприятиях в качестве топлива.

Таблица 3. Годовой топливный баланс действующего металлургического завода с полным циклом производства, годовое потребление условного топлива, тыс. т

Потребители	домен ный газ	Кок- совый газ	При- род- ный газ	тв. Топ- ливо	жидк. топли- во
доменные печи (вдувание)	-	-	1170	-	-
воздухонагреватели доменного цеха	694	10	4	-	-
коксохимическое производство	515	156	-	-	-
конвертерные цехи	-	98	91	-	-
электросталеплавильный цех	8	4		2	
прокатные цехи	172	207	780	-	-
агломерационная фабрика	77	180	-	291	-
известковое и огнеупорное про- изводство	-	80	304	-	-
азотно-туковое производство	-	483	-	-	-
энергетические установки (ТЭЦ, пиковые котельные, и др.)	950	265	186	71	-
прочие потребители	60	50	20	-	305
потери (проектные)	80	8	13	-	-
всего	2556	1541	3170	362	305

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Как видно из таблицы, на металлургических заводах доля технологических горючих газов составляет более 50% общего годового потребления топлива заводом, а по абсолютным цифрам выход горючих газов на одном заводе эквивалентен нескольким миллионам тонн условного топлива в год. Поэтому возможно более полное использование горючих технологических газов имеет большое значение. Однако эффективное их использование связано с целым рядом серьезных трудностей. Эти газы, как правило, токсичны, содержат много пыли и вредных веществ.

Графики выхода газов, а также их химический состав определяются ходом технологического процесса и, в ряде случаев, изменяются по стадиям этого процесса, а иногда их выход вообще периодичен с амплитудой расхода от нуля до 100%. Между тем потребители технологического газа требуют определенного графика его поступления, который, обычно, не синхронен с графиком его выхода. Газ должен быть и возможно более стабильным по составу, очищенным от пыли и некоторых вредных примесей (сернистых соединений и др.).

Из-за этих трудностей некоторые технологические газы используются пока недостаточно (например: газы кислородных конвертеров) [2].

Методы сведения балансов доменного и коксового газов

Общие методы балансирования горючих газов

Наибольший интерес представляют случаи нерегулярных избытков топливных газов в соответствующих сетях доменного или коксового газов, так как они приводят к повышению давления в сетях сверх допустимого и могут вынуждать к сбросу и потерям топливных газов, то есть к ухудшению общей энергоэффективности промышленного предприятия.

В самом общем виде избытки топливных газов могут быть сбалансированы:

- перераспределением потоков газов по потребителям;
- прочностными свойствами сетей трубопроводов коксового или доменного газов (до определенного предела);
- сбросом газов из сети для использования буферными потребителями;
- сбросом и дожиганием газов на свече в атмосфере.

Метод перераспределения потоков газов по потребителям отличается высокой эффективностью, требует только оперативного диспетчерского управления и не требует никаких затрат на соору-

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

жение установок и трубопроводов. Этот метод ограничен только суммарной одновременной потребностью всех потребителей сети и может применяться при несовпадении графиков потребления топливного газа у различных потребителей, особенно мощных. При одновременном достижении максимума потребления у всех потребителей и увеличении выхода топливного газа от источников, метод теряет силу и должен уступить место другим методам балансирования. Метод должен быть обеспечен конфигурацией сети, так как оперативное перераспределение потоков весьма ограничено в простых тупиковых сетях, а наиболее эффективно может быть применено в сетях с кольцевыми участками.

Использование прочностных свойств газопроводов для компенсации избытков газов является кратковременным, вынужденным и крайне нежелательным методом, так как вступает в противоречие с нормами эксплуатации газопроводов и может привести к преждевременному выходу газопровода из строя, уменьшению межремонтных сроков, снижению газоплотности и аварийным ситуациям.

Наиболее эффективно в энергетическом и технологическом отношении применение буферных потребителей избытков топливных газов. Буферные потребители - это установки, способные принимать нерегулярные количества топливных газов в произвольное время и производить энергетическую или технологическую продукцию. Буферными потребителями могут быть основные энергетические или технологические установки предприятия, а в отдельных случаях - специальные установки для приема избытков топливных газов. Высокая эффективность метода буферных потребителей определяется тем, что избытки собственного топлива предприятия используют на производство дополнительной энергетической или технологической продукции и замещают покупное топливо для этих целей.

Наиболее часто применяются энергетические буферные потребители, в качестве которых применяются котельные агрегаты тепловых электростанций промышленных предприятий, котлы паровых и водогрейных котельных, многочисленные цеховые котлы-утилизаторы различных типов. Общая эффективность применения энергетических буферных потребителей снижается тем, что они производят не основную продукцию промышленного предприятия, а дополнительную, которая, как правило, не может быть продана наравне с основной продукцией.

Наиболее эффективно применение технологических буферных потребителей, в качестве которых могут выступать основные технологические установки предприятия, выпускающие товарную про-

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

дукцию (или полупродукты для ее производства): печи, реакторы, конвертеры и так далее.

Метод применения буферных потребителей может требовать больших затрат на их сооружение и эксплуатацию, а также на изменение конфигурации газовой сети для обеспечения подвода топливного газа к буферному потребителю. Без соответствующих подводов газов от топливных газопроводов буферные свойства потребителей не могут быть использованы.

Сброс топливных газов с дожиганием их на свече в атмосфере является вынужденным мероприятием и снижает эффективность энергоиспользования на предприятии.

Особенности балансирования в сетях доменного и коксового газов определяются их топливными свойствами, объемами и графиками их выходов, количеством и мощностью источников.

Доменный газ

Количество доменного газа, образующегося на металлургических заводах, весьма велико. Так, на заводе, топливный баланс которого приведен в таблице, годовой выход доменного газа эквивалентен по теплоте 2250 тыс. т условного топлива. При номинальной теплоте сгорания доменного газа $4186,8 \text{ кДж/м}^3$ такому годовому выходу соответствует расход газа около 2 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$.

При установившейся бесперебойной работе доменных печей график выхода газа в течение суток должен быть практически ровным. Однако и при таком режиме работы ДП в течение подавляющей части суточного времени наблюдается целый ряд кратковременных, но иногда значительных изменений выходов газа, например, из-за смены перегоревших фурм, неполадок в загрузочном устройстве и др. Снижение выходов газа длится при этом от 10-20 минут и более. Обычно несколько доменных печей работают на общую сеть доменного газа.

Размеры кратковременных снижений выходов газа из отдельной печи весьма различны, от 20-30% до практически полного прекращения выхода. На крупных доменных печах размер кратковременных снижений выхода газа составляет сотни тысяч кубических метров. Между тем большинство технологических потребителей доменного газа не допускает даже кратковременных перерывов в подаче топлива, что должно учитываться при сведении заводского баланса доменного газа. Кроме кратковременных изменений выходов газа могут быть и длительные изменения.

Доменные печи и их вспомогательные установки нуждаются в текущих и планово-предупредительных ремонтах. При текущих

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

ремонтах ДП прекращают выдачу доменного газа на многие часы, при капитальных ремонтах выход газа прекращается на 1,5 - 3 месяца.

Теоретически потребление доменного газа должно быть практически ровным, однако и в потреблении наблюдаются значительные колебания. Различные технологические печи постоянно изменяют количество потребляемого газа по разным причинам. Так, режимы работы печей прокатных станов определяются режимами работы станов, которые по различным причинам могут значительно снижать свою производительность и даже останавливаться.

У других печей, например, мартеновских, потребление газа изменяется по периодам плавки. Доменные воздухонагреватели являются аппаратами периодического действия, которые потребляют газ только во время разогрева. Во время переключений доменных воздухонагревателей с разогревов на дутье и обратно на 10 - 15 мин снижается потребление доменного газа воздухонагревателями одной печи на 40 - 60 тыс. м³/ч.

Таким образом, как приход, так и расход доменного газа подвержены кратковременным, а также сравнительно длительным колебаниям, причем, эти колебания происходят нерегулярно и несинхронно, что вызывает разбалансировку в приходе и расходе газа. В связи с этим необходимы мероприятия, позволяющие обеспечить бесперебойное снабжение газом ответственных потребителей в периоды снижения его выхода. В свое время были попытки использовать для этих целей газгольдеры, то есть аккумуляторы газа. Крупные газгольдеры из-за инерционности плохо воспринимают резкие, до 150 - 300 тыс. м³/ч, толчкообразные избытки газа и плохо компенсируют пики его потребления.

В результате установка газгольдеров решает вопрос лишь частично. Сохраняются потери газа, а давление газа в магистральных газопроводах существенно колеблется. Кроме того, газгольдеры нежелательны с точки зрения техники безопасности вследствие токсичности газа и потенциальной возможности его взрыва. Так, например, на одном из заводов были сооружены два газгольдера вместимостью по 100000 м³. Позже они были демонтированы, так как практически все годы не работали. За рубежом газгольдеры доменного газа также распространения не получили.

В настоящее время вопросы балансирования доменного газа решают, как правило, применением буферных потребителей, в качестве которых используют паровые котлы ТЭЦ. Когда приход газа превышает среднее его значение, сброс газа в котлы увеличи-

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

ваются. При нехватке газа сброс его в котлы соответственно уменьшается и компенсируется увеличением количества сжигаемого топлива. При этом способе балансирования между производственными потребителями распределяется только 75 - 85 % среднего выхода газа (так называемый гарантированный выход), а 15 - 25% является постоянными избытками газа, подаваемыми на ТЭЦ.

Недостатком описанного способа является вынужденное использование значительного количества доменного газа в качестве котельного топлива, в то время как он может эффективно использоваться в целом ряде технологических агрегатов, особенно в смеси с коксовым газом, снижая потребность в природном газе или жидком топливе. Из таблицы 3 (стр.112) видно, что примерно 67% топлива, расходуемого нагревательными печами прокатных цехов, составляет природный газ (780 тыс. т условного топлива в год). Известковое и огнеупорное производство потребляют природного газа около 300 тыс. т условного топлива в год, то есть около 80% всей потребности этих цехов в топливе.

Практика показала, что и при большой средней доле сброса доменного газа на ТЭЦ не удастся избежать заметных его потерь, которые составляют от 3 - 5 % на лучших заводах, до 11 - 13 % на некоторых крупных (даже новых) заводах. Объясняется это тем, что совместная работа паровых котлов на газе и угле при постоянных изменениях доли газа и угля в общем расходе топлива связана с рядом следующих трудностей и недостатков:

- доменный газ имеет значительно более низкую температуру сгорания, чем уголь, ниже у него и радиационная способность факела. В результате экранные поверхности нагрева котла воспринимают меньшую долю теплоты топлива, а в современных котлах доля теплоты, воспринимаемой радиационными поверхностями, весьма велика;
- из-за большого содержания в доменном газе азота, количество его продуктов сгорания (на единицу отдаваемой теплоты) значительно больше, чем у угля, что изменяет условия работы конвективных поверхностей нагрева. Растет перегрев пара, причем, при большой доле доменного газа рост настолько велик, что стандартное регулирование перегрева пара оказывается недостаточным;
- перегружаются или не справляются с отсосом дымовых газов дымососы. Часто приходится ограничивать паропроизводительность котла до 70-80% номинальной;

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

- растёт химический недожог угля, особенно при углях с малой реакционной способностью;
- сама процедура значительных изменений долей доменного газа и угля (зажигание одних горелок, гашение других и др.) с подналадкой режимов работы котла требует известного времени.

Поэтому ТЭЦ может эффективно принимать значительные избытки газа лишь через 15 - 20 минут подготовки [2].

Коксовый газ

Выход коксового газа характеризуется большой равномерностью, особенно по сравнению с доменным газом. Это объясняется большим количеством источников газа: до 65 камер в каждой из нескольких коксовых батарей.

Тем не менее, выход коксового газа также подвержен колебаниям расхода из-за снижения производительности, планово-предупредительных и аварийных остановок.

С другой стороны, потребители коксового газа также изменяют потребляемый расход газа, часто очень существенно. Например, нагревательные печи прокатного производства, потребляющие большие количества коксового газа из сети, значительно снижают его потребление при перерывах в подаче металла в прокатной технологической линии.

В результате несоответствия графиков выхода и потребления коксового газа растёт давление в сети коксового газа, что может привести к сбросу и дожиганию газа на свече в атмосфере, то есть к потерям ценного топливного ресурса.

По сравнению с доменным газом выход коксового газа на порядок меньше, а теплота и температура сгорания его значительно выше, то есть в том же объеме коксового газа количество и качество энергии больше. Это делает более оправданным применение газгольдеров, чем в случае доменного газа. В этом случае газгольдеры как накопители коксового газа, могут аккумулировать избыточный газ, предотвращая чрезмерное повышение давления в сети коксового газа. В период падения давления газгольдеры могут достаточно равномерно выдавать коксовый газ в сеть и покрывать отрицательный дебаланс газа. Следует заметить, что применение газгольдеров на практике весьма ограничивается взрывоопасностью больших количеств накопленного газа.

Другим методом сведения балансов коксового газа является применение буферных потребителей как энергетических, так и технологических. К энергетическим буферным потребителям можно отнести все котельные агрегаты предприятия на ТЭЦ, ПВЭС, про-

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

изводственно-отопительных и водогрейных котельных, котлы-утилизаторы. К технологическим буферным потребителям можно отнести основные технологические агрегаты предприятия, выдающие технологические полупродукты и конечные продукты.

Применение коксового газа в энергетических целях оправдано высоким качеством этого топлива, что позволяет добавлять сравнительно небольшие количества коксового газа к основному топливу и практически не изменять тепловой режим работы котла, то есть избежать всех тех проблем, которые существуют для доменного газа. Буферным потребителем коксового газа могут быть котлы-утилизаторы кислородных конвертеров (с дожиганием), работающие с циклом 45 минут, из которых 15 минут через них идут конвертерные газы, а в остальные 30 минут им требуется газовое топливо на подтопку в ожидании очередного выхода конвертерных газов. Подтопка требуется и в методических печах прокатного производства, оборудованных котлами-утилизаторами в периоды перерывов в подаче металла на нагрев, при этом на коксовом газе вырабатывается водяной пар.

Однако высококачественное топливо можно с гораздо большей эффективностью для предприятия использовать на технологические цели. Температура горения коксового газа выше, чем доменного, но главное - выше, чем природного газа, на котором работают все основные технологические агрегаты промышленных предприятий. Это означает, что коксовый газ, который является собственным резервом промышленного предприятия, может весьма эффективно заменять природный газ, который предприятие получает со стороны и за который надо платить.

Так, например, в основных технологических высокотемпературных процессах в требованиях к топливу на первое место выходит как раз температура горения, а не теплота сгорания. Коксовый газ имеет меньшую теплоту сгорания, чем природный газ, но более высокую температуру горения, что и позволяет эффективно заменять им природный газ, получая экономию на покупном топливе.

В качестве буферных технологических потребителей наибольший интерес представляют те из них, которые могут:

- принимать избытки газа в произвольное время и в произвольном количестве;
- имеют минимальный пусковой период;
- производят технологическую продукцию, которая может быть складирована.

На металлургических предприятиях этим требованиям больше всего отвечают процессы и установки нагрева, обжига и отчасти сушки или плавления.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Например, нагрев металлолома для конвертерного процесса требует минимального пускового времени и может работать в произвольное время. Аналогично работают ломоплавильные агрегаты для сталеплавильных конвертеров, использующие нерегулярные выходы конвертерных газов (с той лишь оговоркой, что расплавленный лом должен быть тут же переработан).

На предприятиях черной металлургии широко распространены обжиговые процессы: в значительных количествах обжигается известняк, железорудные материалы, огнеупорные изделия, при этом обожженная продукция может складироваться.

Сушка и обжиг зернистых шихт, огнеупорных кладок и футеровок также могут выступать в качестве буферных потребителей, особенно, если эти процессы требуют высокой температуры. Высокотемпературная сушка оправдывает применение коксового газа.

Разумеется, буферные потребители коксового газа должны быть обеспечены подводами газа от сети, так что сведение балансов коксового газа начинается с обеспечения конфигурации сети.

Основы построения систем мониторинга энергобалансов промышленного предприятия

Основы построения информационной системы

Использование экономико-математических методов и вычислительных средств позволяет создать комплексную человеко-машинную систему управления, в которой автоматизированы расчеты по обработке технико-экономической информации (в том числе и по энергетическим балансам промышленных предприятий), а в ряде случаев и процессы принятия решений.

Процесс управления осуществляется путем непрерывного обмена информацией между элементами системы управления.

Информационные потоки характеризуются следующими признаками:

- источником возникновения - конкретными элементами системы, между которыми существует информационная связь;
- направлением (входная, выходная);
- периодичностью возникновения;
- характером (отчетная, плановая, нормативно-справочная и др.);
- взаимосвязью с другими видами информации;
- носителем информации (бумажные, магнитные и т.п.);
- методом обработки (ручной, компьютерной);

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

- условиями хранения (журнал, магнитная лента, дискеты, другие накопители).

Характерной особенностью информации является ее вероятностный характер.

В общем случае информация должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- направленности - четко указывать источник возникновения и объекты, которые ее используют;
- достаточности - быть исчерпывающей для принятия решений по управлению объектами;
- достоверности - удовлетворять принятым критериям качества, например, иметь доверительные пределы, не превышающие заданного уровня погрешности;
- сопоставимости - позволять проводить сравнение объектов или исследовать их поведение в динамике;
- стабильности - сохранять неизменным содержание основных понятий, характеризующих сущность информации в течение длительного времени;
- своевременности - обеспечить поступление информации к отдельным объектам системы управления с периодичностью и в сроки, которые не нарушают нормального функционирования всей системы;
- доступности - позволять использовать централизованную информацию во всех необходимых случаях.

Принципы организации информационной системы

При построении рациональной информационной системы мониторинга энергетических балансов следует учитывать отмеченные требования. В соответствии с ними можно сформулировать следующие основные принципы организации такой информационной системы.

Первый принцип - минимум первичной информации, максимум производной вторичной информации. Из сравнительно небольшого объема исходной первичной информации по энергобалансам следует стремиться получать все необходимые данные для успешного планирования и управления. Цель создания информационной системы заключается не в том, чтобы загрузить производственный объект разработкой и составлением огромного числа исходящих данных. Напротив, он должен выдавать минимально необходимую информацию, которая способна удовлетворять требованию управления на всех уровнях.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Второй принцип - полное удовлетворение требований, предъявляемых всеми звеньями и уровнями управления. Количество исходной информации должно устанавливаться в соответствии с указанными требованиями.

Третий принцип - организация передачи однородной информации по единому каналу. В соответствии с этим принципом вся отчетная статистическая информация по энергетическим балансам должна быть централизована.

Четвертый принцип - повышение абстрактности информации путем образования синтезированных показателей при переходе на более высокие уровни иерархии планирования и управления (например, к.п.д., удельные расходы и затраты, коэффициенты эффективности и т.д.).

Пятый принцип - единство показателей планирования и отчетности. Нарушение этого принципа затрудняет проведение эффективного контроля и анализа, сопряжено с большими потерями времени и средств. Методология получения отчетных и плановых данных должна быть идентична.

Шестой принцип - сохранение устойчивости показателей в течение длительного времени. Устойчивость и гибкость информационные системы являются взаимно дополняющими требованиями.

Седьмой принцип - периодическое обновление значений показателей и оценка их достоверности. Частота обновления показателей зависит от скорости изменения характеристик наблюдаемого объекта и принятой точности метода их определения. При установлении периодичности информации по энергобалансам и ее достоверности необходимо учитывать также важность данного объекта для эффективного и надежного функционирования всей системы теплоэнергоснабжения промышленного предприятия.

Восьмой принцип - стандартизация информации по энергетическим балансам и методов ее обработки. В настоящее время в форме документа предъявляются возросшие требования в связи с расширением обработки информации при помощи ЭВМ. Эффективность управления связана с совершенством формы документов, которые предназначены для непосредственного ввода данных в машину.

Девятый принцип - автоматизированная обработка информации. Технической базой управления являются системы обработки данных. Они преобразуются в человеко-машинные управляющие системы.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Рассмотренные девять принципов позволяют наметить основные направления, по которым следует проводить последовательную реконструкцию информационной системы энергетического хозяйства.

Информация по энергетическому хозяйству должна включать четыре основных информационных раздела:

1. энергетические балансы;
2. технико-экономические характеристики энергетического оборудования;
3. технико-экономические показатели энергетических ресурсов и энергоносителей;
4. нормативы производства и потребления топлива и энергии.

В общем виде энергетический баланс выражает равенство между количеством подведенной энергии и суммой полезно использованной (произведенной) энергии и энергетических потерь. Энергетический баланс представляет собой систему показателей, отражающих полное количественное соответствие (равенство) между приходом и расходом энергии в данный момент времени и характеризует эффективность использования энергии в энергетическом хозяйстве.

Технико-экономические характеристики энергетического оборудования свойственны всем видам машин, механизмов, аппаратов, установок и объектов, связанных с генерированием, преобразованием, транспортом, хранением и использованием топлива и энергии.

Характеристики энергетических установок должны содержать информацию по следующим вопросам:

- структура мощностей энергетических установок;
- их технический уровень;
- режимы и условия использования;
- экономические показатели работы;
- показатели энергетического совершенства оборудования (удельные расходы топлива и энергии, к.п.д. преобразования и использования энергетических ресурсов и т.п.);
- надежность работы и т.п.

Между энергетическим балансом и технико-экономическими характеристиками энергетического оборудования существуют тесные взаимосвязи, которые должны учитывать при формировании информации о контроле за ее достоверностью.

Информация по технико-экономическим показателям энергетических ресурсов и энергоносителей включает данные о качестве, стоимости, условиях хранения и тому подобные характеристики.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Нормативы производства и потребления энергетических ресурсов и энергоносителей включают показатели удельного выхода и расхода топлива и энергии, отнесенные к готовой продукции или видам услуг.

Эта информация достаточно полно описывает состояние и тенденции развития комплексной системы энергетического хозяйства. Особенность этой системы заключается в том, что отмеченные виды информации могут использоваться при решении различных задач планирования и управления энергетическим хозяйством предприятия [11].

Теплоэнергетические системы, энергетические балансы и энергосбережение

Около 2/3 энергии, произведенной в СТЭС ПП, теряется в технологических комплексах промышленных предприятий. При этом перед промышленными энергетиками постоянно ставятся задачи энергосбережения. Тема энергосбережения на промышленных предприятиях не может быть обойдена, так как СТЭС ПП на 2/3 работают впустую.

Первой задачей промышленной энергетики является энергоснабжение технологических систем, второй – энергосбережение, то есть целенаправленное понижение общего и удельного энергопотребления. Задачи энергосбережения постоянно ставятся перед промышленными энергетиками и их приходится решать в повседневной практической деятельности. При решении задач энергосбережения в СТЭС ПП необходимо учитывать особенности функциональной связи энергопотребления в технологическом комплексе и производства и распределения энергии в энергетическом комплексе промышленного предприятия.

Теплоэнергетические системы промышленных предприятий получают из внешних систем, производят, преобразуют и распределяют энергию для нужд всего промышленного предприятия, но главным потребителем является *технологический комплекс* предприятия, производящий основную технологическую продукцию.

Таким образом, *потребление* энергии в технологическом комплексе и *производство* энергии в теплоэнергетическом комплексе относятся как *аргумент* и *функция* x и $f(x)$.



Рис.19 Возможности энергосбережения в энергетическом и технологическом комплексах промышленного предприятия.

Изменение потребления в технологическом комплексе влечет за собой изменение производства и распределения энергии в теплоэнергетическом комплексе.

Производство энергии в теплоэнергетическом комплексе может быть охарактеризовано эффективностью 70 - 85%, то есть 15 –

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

30% поступившей в СТЭС ПП энергии расходуется на собственные нужды или теряется.

Потребление энергии в технологическом комплексе характеризуется известной величиной: не более 30%. Это означает, что на 1 Дж полезно потребленной энергии общее потребление технологического комплекса составит 3,33 Дж, а потери 2,33 Дж.

При производстве 3,33 Дж энергии, необходимой для общего потребления в технологическом комплексе, в энергетическом комплексе, с учетом его эффективности 70% (по самым пессимистическим оценкам), необходимо произвести 4,76 Дж энергии.

Потери в теплоэнергетическом комплексе составят 1,43 Дж, а в технологическом 2,33 Дж – эти цифры определяют области возможного энергосбережения в обоих комплексах. Очевидно, что возможности энергосбережения в технологическом комплексе значительно больше (видимое соотношение 1,63 раза).

Однако в самом деле, соотношение еще больше, так как произведенные в теплоэнергетическом комплексе 2,33 Дж энергии с затратами 3,33 Дж будут потеряны в технологическом комплексе. Таким образом, резерв энергосбережения в теплоэнергетическом комплексе складывается из 0,43 Дж (потери при производстве 1 Дж полезно использованной теплоты) и 1,00 Дж (при производстве теряемых 2,33 Дж). Сокращение потерь в технологическом комплексе на 2,33 Дж автоматически сокращают потери в теплоэнергетическом комплексе еще на 1 Дж. Экономия 1 Дж энергии в технологическом комплексе дает общую экономию 1,43 Дж в обоих комплексах. Тогда соотношение возможностей энергосбережения достигает 2,33.

Общая картина производства и распределения энергии в теплоэнергетическом комплексе промышленного предприятия при эффективности СТЭС ПП от 70 до 100% и энергоиспользовании в технологическом комплексе от 10 до 80% представлена на рис.20. Цифры на кривых означают количество энергии Дж, которую необходимо произвести в СТЭС ПП для 1 Дж полезно использованной энергии в технологических системах. Видно, что в СТЭС ПП производится в несколько раз больше энергии, чем это необходимо. Наклон кривых показывает, что наиболее быстрое убывание производства энергии лежит в направлении, близком к вертикальному, то есть в направлении повышения эффективности, в первую очередь в технологическом комплексе.

Очевидно, что разработка энергосберегающих мероприятий в связке «СТЭС ПП – Технологический комплекс» должна начинаться с того комплекса, в котором эффективность ниже – это обеспечивает скорейшее снижение производства и потребления энергии.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Таким образом, при постановке и решении задач энергосбережения на промышленных предприятиях необходимо учитывать, по крайней мере, два обстоятельства: производство энергии в СТЭС ПП функционально зависит от технологического потребления

и эффективность технологического потребления в среднем по промышленности составляет 30%.

Далее чрезвычайно важно подчеркнуть, что разработка энергосберегающих мероприятий в технологическом комплексе промышленного предприятия находится в сфере профессиональной деятельности не только специалистов-технологов, но и промышленных энергетиков. Это совершенно новое обстоятельство

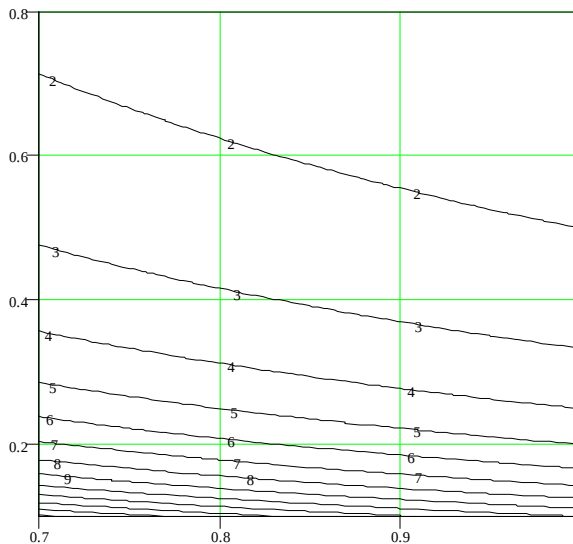


Рис.20 Производство и распределение энергии в теплоэнергетическом комплексе на 1 полезно потребленный Дж в технологическом комплексе.

По горизонтали - эффективность СТЭС ПП,
По вертикали - коэффициент полезного использования энергии в технологическом комплексе

связано с научным развитием промышленной энергетики.

Новая область промышленной энергетики – энергетика теплотехнологии как раз занимается вопросами повышения эффективности энергоиспользования в промышленных технологических комплексах. Наиболее эффективный инструментарий, разработанный в области энергетики теплотехнологии для предельного повышения эффективности действующих и создания новых безотходных энергосберегающих технологических установок, систем и комплексов – методология интенсивного энергосбережения.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Подготовка промышленных энергетиков по специальности 10.08 «Энергетика теплотехнологий» начата в Московском энергетическом институте, на промтеплоэнергетическом факультете с 1982 г., но пока таких специалистов недостаточно для потребностей энергосбережения в промышленности.

До тех пор, пока в промышленности недостаточно специалистов 10.08 «Энергетика теплотехнологий», ответственность за эффективное энергосбережение на научной основе могут нести только специалисты 10.07 «Промышленная теплотехника».

Поскольку задачи энергосбережения ставились и будут неуклонно ставиться на промышленных предприятиях, промышленным теплоэнергетикам необходимо знать следующее.

Одновременно с выходом на системный уровень промышленной теплоэнергетики (примерно к 1990 г.) завершено системное рассмотрение основных вопросов энергетики теплотехнологии.

Энергосбережение в промышленности поставлено на научную основу и может быть эффективным только на этой новой основе [55-64].

В практике промышленных предприятий широко распространена разработка мелких, случайных, не скоординированных энергосберегающих мероприятий, общее число которых не может быть определено, и с практической точки зрения может считаться бесконечным. Сумма всех случайных энергосберегающих мероприятий не равна резерву энергосбережения в данном производстве, то есть мероприятия не аддитивны. Срок выполнения всех таких мероприятий также неопределен и практически бесконечен. Конечным итогом выполнения всех мероприятий не будет возможный минимум энергопотребления.

Методология интенсивного энергосбережения позволяет разрабатывать целостные скоординированные программы энергосбережения для промышленных предприятий любых отраслей в виде концепции интенсивного энергосбережения. Концепция включает, в том числе, и ранжированный список наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий, который может служить основой как оперативных, так и стратегических планов технического перевооружения предприятия. Мероприятия характеризуются крупными энергосберегающими эффектами, которые в сумме составляют полный резерв энергосбережения в данном производстве. Время исполнения конечного числа энергосберегающих мероприятий *конечно* и энергопотребление может быть понижено до практического минимума для данного производства.

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

Можно показать, что концептуальная разработка энергосбережения в целом менее затратна, чем бессистемная разработка энергосберегающих мероприятий.

Можно рекомендовать на первом этапе дополнять обычные разработки концептуальными с дальнейшим переходом в перспективе на научные основы энергосбережения на промышленных предприятиях.

При решении задач энергосбережения на промышленных предприятиях используется определенная энергетическая база наиболее эффективных мероприятий, которая находится в ведении промышленных энергетиков.

Среди наиболее мощных средств энергосбережения в промышленности следует назвать технологическую регенерацию и природный газ.

Технологическая регенерация, как общий прием, предполагает использование потоков энергии охлаждающихся технологических полупродуктов и продуктов, в первую очередь, на технологические нужды, преимущественно – на нагрев исходных материалов. Так, например, в черной металлургии, использование теплоты жидкой стали на нагрев и плавление лома практически решает очень тяжелый вопрос о бестопливном увеличении доли лома в шихте сталеплавильных конвертеров и снижении энергоемкости кислородно-конвертерной стали. Или, например, использование теплоты охлаждающихся длинномерных изделий после нагревов на нагрев вновь поступающих сокращает расходы топлива на порядок и более.

Природный газ является мощным рычагом энергосбережения, особенно в наиболее сложных случаях энергоснабжения высокотемпературных плавильных и восстановительных процессов, что связано с его сравнительно малоизвестными свойствами [80].

Природный газ является особой, транспортной формой углевода на базе молекулярной связи с водородом.

Природный газ является источником чрезвычайно чистого углерода (75% массы) и достаточно чистого водорода (25% массы), которые могут быть получены нагреванием природного газа до 1000°C и более. Чистый углерод природного газа может вытеснять угли и их продукты из технологических процессов, освобождаясь при этом водород является совершенным топливом, превосходящим природный газ по температуре горения и экологически идеальным. Горячая сажеводородная смесь (СВС) обладает чрезвычайно высокими топливно-восстановительными свойствами, которые позволяют ей вытеснять электроэнергию из технологических

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

процессов в область температур выше 3000°C , что дает значительный энергосберегающий эффект [80].

Известная тяжелая проблема высокотемпературных отходящих газов эффективно решается энергохимической аккумуляцией (ЭХА) на основе природного газа. При этом температура отходящих технологических газов может быть быстро адиабатно понижена с $1600 - 2000^{\circ}\text{C}$ до $800 - 1000^{\circ}\text{C}$, что существенно понижает температуру отвода энергии и повышает термический к.п.д. технологического процесса. При ЭХА из отходящих газов может быть получено топливо, сравнимое по жаропроизводительности с природным газом, что снижает приведенный расход топлива на высокотемпературный технологический процесс в несколько раз [80].

Однако наибольший энергосберегающий эффект СВС и ЭХА могут дать при совместном применении.

Эти и другие методы из энергетической базы энергетики теплотехнологии могут быть использованы для эффективного энергосбережения на промышленных предприятиях, что может позволить сократить 2/3 существующего производства энергии в СТЭС ПП, то есть получить крупный энергосберегающий эффект.

Важно заметить, что полный резерв энергосбережения в теплотехнологии данного промышленного предприятия не может быть разработан отдельными усилиями только промышленных энергетиков или только промышленных технологов. Это связано с существованием качественно разных областей резерва энергосбережения, одна из которых доступна только для совместной разработки энергетиков и технологов.

В качестве иллюстрации сказанного рассмотрим структуру резерва энергосбережения в черной металлургии [79], основные черты которой качественно аналогичны структурам резерва энергосбережения произвольных промышленных теплотехнологий (рис.21).

Величина общего резерва энергосбережения в черной металлургии определяется верхним, текущим уровнем энергопотребления $1350 \text{ кг у.т./т проката}$ и нижним теоретическим минимумом энергопотребления $240 \text{ кг у.т./т проката}$ и составляет, следовательно, $1110 \text{ кг у.т./т проката}$.

При условии использования всех резервов действующей технологии уровень энергопотребления может быть понижен до $682 \text{ кг у.т./т проката}$. Этот уровень делит область общего резерва энергосбережения на две качественно разные области.

В I области предельный объем энергосбережения составляет $668 \text{ кг у.т./т проката}$ и может быть достигнут обычными энергетическими мероприятиями: использованием энергии различных газов

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

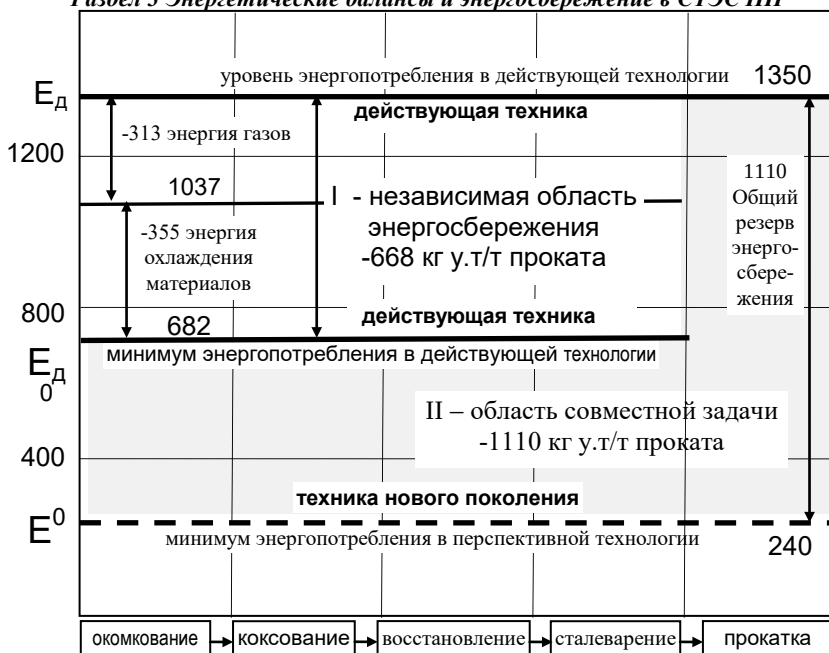


Рис. 21 Структура резерва энергосбережения в теплотехнологическом комплексе черной металлургии.

313 кг у.т./т проката, использованием энергии охлаждения материалов 355 кг у.т./т проката – то есть, использованием всего того, что объединяется понятием «вторичные энергетические ресурсы» (ВЭР). В этой области могут осуществляться независимые от технологии энергетические мероприятия энергосбережения.

Однако они имеют естественным пределом уровень энергопотребления 682 кг у.т./т проката, который не может быть преодолен никакими независимыми энергетическими мероприятиями энергосбережения, так как определяется действующей техникой черной металлургии.

Преодоление этого барьера возможно путем перехода к новой, перспективной технологии и технике черной металлургии, причем этот переход включает в себя не только чисто технологические мероприятия, но и новые, энергосберегающие источники энергии, тепловые схемы и теплотехнические принципы. То есть разработка этой части резерва может быть осуществлена только *совместны-*

Раздел 3 Энергетические балансы и энергосбережение в СТЭС ПП

ми усилиями энергетиков и технологов, поэтому ее можно назвать областью *совместной задачи энергосбережения* (II область).

Не следует думать, что разработка II области может начаться только после завершения разработки I области. Такая постановка задачи означает предварительное оборудование котлами-утилизаторами и другими утилизационными устройствами буквально всех старых технологических установок, систем и комплексов. В конце такого пути находится устаревшая техника с почти совершенным теплоиспользованием. Однако минимум энергопотребления при этом не достигается. Очевидно, что это очень ресурсозатратный путь.

Постановка задач энергосбережения возможна сразу на всю глубину 1110 кг у.т./т проката непосредственно от действующего уровня 1350 кг у.т./т проката. Для этого необходимы не только новейшие технологические достижения, но и новейшие энергетические достижения, в том числе, и технологическая регенерация и СВС и ЭХА и другие энергетические разработки. В конце этого пути находится технологическая техника нового поколения, отличающаяся безотходностью и высокими энергосберегающими характеристиками. Решение этой задачи энергосбережения представляет совместный интерес и может быть осуществлено только *совместными* усилиями энергетиков и технологов [79].

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что пока уровень энергоиспользования в промышленных теплотехнологиях не будет поднят с современных 30% до уровня эффективности СТЭС ПП – около 80%, для промышленной теплоэнергетики первоочередными остаются задачи энергосбережения в технологических комплексах промышленных предприятий, то есть задачи энергетики теплотехнологий.

Все постановки задач энергосбережения в традиционной области промышленной теплоэнергетики принципиально ограничены величиной 15-30% имеющегося резерва энергосбережения, а основные резервы энергосбережения (около 70-85%) лежат в промышленных технологиях.

В библиографическом списке приведены основные работы по энергосбережению [55-64], методологии интенсивного энергосбережения [65-73] и разработке первых концепций интенсивного энергосбережения на промышленных предприятиях [74-80].

Список использованных источников

1. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / Под общ. ред. В.А.Григорьева, В.М.Зорина. - 2-е изд., перераб.- М.: Энергоатомиздат, 1991. - 588 с.: илл.
2. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 304 с.: илл.
3. Теплоэнергетика металлургических заводов : Учебник для вузов / Розенгарт Ю.И., Мурадова З.А., Теверовский Б.З. и др. - М.: Металлургия, 1985. - 303 с.
4. Булгаков К.В. Энергоснабжение промышленных предприятий.- М-Л.: Энергия, 1966.- 318 с.
5. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий / Б.Н.Голубков, О.Л.Данилов, Л.В.Зосимовский. - М.: Энергия, 1972. - 424 с.: илл.
6. Теплоснабжение: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1980. - 408 с.
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. - 5-е изд., перераб. - М.: Энергоиздат, 1982. - 360 с.: илл.
8. Цветков В.В. Организация пароснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1980. - 208 с.
9. Стогней В.Г., Крук А.Т. Экономия теплоэнергетических ресурсов на промышленных предприятиях. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 112 с. (Экономия топлива и электроэнергии).
10. Благоев Э.Е., Ивницкий Б.Я. Дроссельно-регулирующая арматура в энергетике. - М.: Энергия, 1974. - 264 с.
11. Некрасов А.С., Синяк Ю.В. Управление энергетикой предприятия. - М.: Энергия, 1979. - 296 с.
12. Скафтымов Н.А. Основы газоснабжения. - Л.: Недра, 1975. - 343 с.

Рекомендуемая дополнительная литература

13. Ляховский А.И. Вопросы теплоэнергетики металлургических заводов. - М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1951. - 406 с.
14. Старк С.Б. Теплоэнергетическое хозяйство металлургических заводов. - М.: Металлургия, 1966. - 311 с.
15. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей/ Министерство энергетики и электрификации СССР. 14-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 288 с.

Библиографические материалы

16. Тепловое оборудование и тепловые сети: Учебник для вузов / Г.В.Арсеньев, В.П.Белоусов, А.А.Дранченко и др. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 400 с.: илл.
17. Немцев З.Ф., Арсеньев Г.В. Теплоэнергетические установки и теплоснабжение: Учебное пособие для втузов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 400 с.
18. Справочное пособие по теплотехнологическому оборудованию промышленных предприятий / В.Ф.Степанчук, А.П.Несенчук, В.А.Седин и др.; под ред. В.Ф.Степанчука. - Минск, Вышэйшая школа, 1983. - 256 с.
19. Жарковский Б.И., Шапкин В.В. Справочник молодого слесаря по контрольно-измерительным приборам и автоматике. - М.: Высшая школа, 1991. - 159 с.

Моделирование и оптимизация в энергетике

20. Арзамасцев Д.А. Модели и методы оптимизации развития энергосистем. – Свердловск: МВ и ССО РСФСР, 1976.
21. Таубман Е.И. Анализ и синтез теплотехнических схем. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 176 с.
22. Макаров А.А., Мелентьев Л.А. Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства. – М.: Наука, 1973.
23. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. – М.: Высшая школа, 1982. – 319 с.
24. Методы математического моделирования в энергетике. – Иркутск: Вост.-Сиб. Изд-во, 1977.
25. Методические положения по выполнению оптимизационных расчетов в энергетике при неоднозначности исходной информации. – М.- Иркутск: Вост.-Сиб. Изд-во, 1977.
26. Методические положения оптимизации развития топливно-энергетического комплекса. – М.: Наука, 1975.
27. Методы математического моделирования и оптимизации теплоэнергетических установок. – М.: Наука, 1973.
28. Оптимизация и управление в больших системах энергетики. – Иркутск: Вост.-Сиб. Изд-во, 1977.
29. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. – М.: Энергия, 1978. – 415 с.
30. Хрилев Л.С., Смирнов И.А. Оптимизация систем теплофикации и централизованного теплоснабжения. – М.: Энергия, 1978. – 264 с.
31. Оптимизация разветвленных тепловых сетей с несколькими источниками / Б.М. Каганович, А.П. Меренков, Т.Б.Ощепкова, В.Я.Хасилев. – М.: ВИНТИ, 1965. – 65 с.

Библиографические материалы

32. Левенталь Г.Б., Попырин Л.С. Оптимизация теплоэнергетических установок. – М.: Энергия, 1970. – 350 с.
33. Методы математического моделирования и оптимизации теплоэнергетических установок / Под ред. Г.Б.Левенталья и Л.С.Попырина. – М.: Наука, 1972. – 223 с.
34. Методы математического моделирования в энергетике / Под ред. Л.А.Мелентьева, и Л.С.Беляева. – Иркутск: Вост.-Сиб. Кн. Изд-во, 1966. – 432 с.
35. Оптимизация и управление в больших системах энергетики / Под ред. Л.А.Мелентьева и Л.С.Беляева. – Т. 1-2. – Иркутск, изд-во Сибирского энергетического института СО АН СССР, 1970. – 450 с., 144 с.
36. Применение математического моделирования при выборе параметров теплоэнергетических установок / Под. Ред. Г.Б. Левенталья, Л.С.Попырина. – М.: Наука, 1966. – 175 с.
37. Соколов Е.Я., Любарская А.И. Оптимизация параметров теплоносителя в тепловых сетях от мощных ТЭЦ. – М.: Энергия, 1974. (Труды ВТИ).
38. Методы математического моделирования теплосиловых систем / Под ред. Л.С.Попырина. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976. – 318 с.
39. Методы математического моделирования и оптимизации параметров, вида технологической схемы и профиля оборудования атомных электростанций / Под ред. Л.С.Попырина. – Иркутск, изд-во Сибирского энергетического института СО АН СССР, 1976. – 146 с.

Математическое программирование

40. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. - М.: Наука, 1980. - 208 с.
41. Абрамов Л.М., Капустин В.Ф. Математическое программирование: Учебное пособие. - Л.: Изд. ЛГУ, 1981. - 328 с.
42. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учебное пособие для студентов эконом. спец. вузов. - М.: Высшая школа, 1986. - 319 с.
43. Калихман И.Л., Войтенко М.А. Динамическое программирование в примерах и задачах: Учебное пособие. - М.: Высшая школа, 1979. - 125 с.
44. Мину М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы / Пер. с фр. - М.: Наука, 1990. - 488 с.

Системные исследования в энергетике

45. Мелентьев Л.А. Вопросы энергоснабжения промышленных узлов. – М.: Госэнергоиздат, 1941.
46. Мелентьев Л.А. Теплофикация. – М.: Изд. АН СССР. – ч.1. – 1944. – ч.2. – 1948.
47. Мелентьев Л.А. Основные вопросы промышленной теплоэнергетики. – М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1954. – 427 с.
48. Мелентьев Л.А., Стырикович М.А., Штейнгауз Е.О. Топливо-энергетический баланс СССР. – М.-Л.: Энергоиздат, 1962.
49. Мелентьев Л.А., Штейнгауз Е.О. Экономика энергетики СССР / 2 изд. – М.: Энергоиздат, 1963.
50. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. – М.: Наука, 1979.
51. Хрилев Л.С. Теплофикация и топливо-энергетический комплекс. – Новосибирск: Наука, 1979.
52. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике / 2-е изд. – М.: Наука, 1983. – 455 с.
53. Энергетический комплекс СССР /под ред. Л.А. Мелентьева, А.А. Макарова. – М.: Экономика, 1983. – 263 с
54. Мелентьев Л.А. Очерки истории отечественной энергетики (развитие научно-технической мысли). – М.: Наука, 1987. – 279 с.

Энергосбережение в промышленности

55. Melwin H/ Chiogioji. Industrial Energy Conservation. – New York and Basel: Marcel Dekker inc., 1979.
56. Чоджой М.Х. Энергосбережение в промышленности. – М.: Металлургия, 1982. – 270 с.
(В русском переводе - только металлургия)
57. Рей Д. Экономия энергии в промышленности. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
58. Михайлов В.В., Гудков Л.В., Терещенко А.В. Рациональное использование топлива и энергии в промышленности. - М.: Энергия, 1978. - 224 с.: илл.
59. Аракелов В.Е., Кремер А.И. Методические вопросы экономии энергоресурсов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 192 с.
60. Щукин А.А. Экономия топлива в черной металлургии. – М.: Металлургия, 1973. – 271 с.
61. Бабошин В.М. Повышение эффективности использования топлива в черной металлургии. - М.: Металлургия, 1986. - 184 с.

Библиографические материалы

62. Технический прогресс и топливозэнергопотребление в черной металлургии / Перлов Н.И., Егоричев А.П., Петраковский А.П., Федотов А.А., Банный Н.П. – М.: Металлургия, 1975. – 408 с.
63. Никифоров Г.В., Заславец Б.И. Энергосбережение на металлургических предприятиях. – Магнитогорск, Изд. Центр МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. – 282.
64. Ключников А.Д. Энергетика теплотехнологии и вопросы энергосбережения. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128 с.

Основные работы по методологии интенсивного энергосбережения

в обратном хронологическом порядке

65. Ключников А.Д. Интенсивное энергосбережение как база разработки моделей теплотехнологического комплекса черной металлургии / Изв. ВУЗ, Черная металлургия, 1999, №2. - с.61 - 63.
66. Ключников А.Д., Попов С.К. Диагноз энергетической эффективности и прогноз резерва интенсивного энергосбережения теплотехнологической системы: Методическое пособие. - М.: МЭИ, 1999. - 70 с.
67. Ключников А.Д. Критерии энергетической эффективности и резерва энергосбережения теплотехнологии, теплотехнологических установок, систем и комплексов. - М.: Издательство МЭИ, 1996. - 38 с.
68. Ключников А.Д., Картавец С.В. Интенсивное энергосбережение в промышленности: предпосылки, научно-методическое и кадровое обеспечение. - Промышленная энергетика, №8, 1996. - С.2-5.
69. Ключников А.Д. Концепция интенсивного энергосбережения как база формирования энергоматериалосберегающих и экологически безопасных моделей теплотехнологических систем будущего // Вестник МЭИ, № 1, 1996. - С.33 - 36.
70. Ключников А.Д. Интенсивное энергосбережение как база формирования перспективных теплотехнологических систем будущего // Новые методы и средства экономии энергоресурсов и экологические проблемы энергетики: Тез. докл. Второй международной научно-технической конференции 3-5 октября 1995 г. - М.: МЭИ., 1995. - С.170 - 172.
71. Ключников А.Д. Интенсивное энергосбережение: предпосылки, методы, следствия // Теплоэнергетика, № 1, 1994. - С.12 - 16.
72. Ключников А.Д. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологии: предпосылки, направления, следствия // Интенсивное

Библиографические материалы

энергосбережение в промышленной теплотехнологии / Тезисы докладов 3-й Всесоюзной научной конференции по проблемам энергетики теплотехнологии (17-19 сентября 1991).-М.: Московский энергетический институт, 1991.-С.3.

- 73.Ключников А.Д. Основные направления и предпосылки реализации интенсивного энергосбережения в теплотехнологии // Тезисы докладов 2-й Всесоюзной научной конференции Проблемы энергетики теплотехнологии. - М.: Моск. энерг. ин-т, 1987. - С.3.5.

Разработки концепций интенсивного энергосбережения

- 74.Ключников А.Д., Попов С.К. Разработка концепции интенсивного энергосбережения в теплотехнологической системе производства мелкосортного стального проката // Научные основы создания энергосберегающей техники и технологий: Тезисы докладов Всесоюзной конференции 27-29 ноября 1990 г. - М., 1990. - С. 52.
- 75.Ключников А.Д., Попов С.К. Использование первичной энергии и интенсивное энергосбережение в производственной системе переработки лома на мелкосортный прокат // Сталь. - 1991. - N3. - С.85-89.
- 76.Картавцев С.В, Ключников А.Д. Структура потенциала технологического резерва интенсивного энергосбережения в металлургическом комплексе // Новые методы и средства экономии энергоресурсов и экологические проблемы энергетики: Тезисы докладов второй международной научно-технической конференции. 3 -5 октября 1995 г. - М., 1995. - С. 177 - 180.
- 77.Картавцев С.В. Концепция энергосбережения в черной металлургии / Энергопотребление и энергосбережение: проблемы, решения: Тезисы докладов. Международная научно-практическая конференция, Пермь, 1998. - С.58-60.
- 78.Картавцев С.В. Энергосбережение в черной металлургии: концептуальные подходы // Теплотехника и теплоэнергетика в металлургии. Сб.науч.тр. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 1999. – С. 20 – 27.
- 79.Картавцев С.В. Совместная задача энергосбережения и технического прогресса черной металлургии // Литейные процессы: Межрегиональный сборник научных трудов, вып.1., Магнитогорск, 2000. – С. 173 – 179.
- 80.Картавцев С.В. Природный газ в восстановительной плавке. СВС и ЭХА. – Магнитогорск, Изд. Центр МГТУ им. Г.И.Носова, 2000. – 188 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Оптимальные интервалы падения давления и температуры в паропроводах

Перегретый пар поступает в паропровод в количестве $G_p = 32,5$ кг/с, с параметрами $p_1 = 0,6$ МПа, $t_1 = 200^\circ\text{C}$. Длина паропровода $L = 1350$ м. Потери давления и температуры по длине паропровода находятся в оптимальном интервале. Определить параметры пара у потребителя, потери мощности и к.п.д. паропровода.

Решение. Параметры пара на входе в паропровод. По таблицам насыщенного пара определяем, что при давлении 0,6 МПа температура насыщения $158,84^\circ\text{C}$, что меньше фактической температуры пара 200°C , следовательно, пар перегретый. Энтальпию перегретого пара на входе в паропровод i_1 можно определить по таблицам термодинамических свойств водяного пара $i_1 = 2849$ кДж/кг.

Мощность паропровода на входе:

$$W_1 = G_p \cdot i_1 = 32,5 \text{ кг/с} \cdot 2849 \text{ кДж/кг} = 92590 \text{ кВт (92,59 МВт)}.$$

Теперь определим параметры пара на потребительском конце паропровода, принимая оптимальные падения давления и температуры.

Оптимальное падение давления в паропроводах можно принимать

0,065 - 0,08 МПа/км при давлении, близком к 0,5 МПа. Примем значение 0,07 МПа/км. Тогда общее падение давления пара по всей длине паропровода $1350 \text{ м} = 1,35 \text{ км}$ составит:

$$\Delta p = 0,07 \text{ МПа/км} \cdot 1,35 \text{ км} = 0,0945 \text{ МПа}.$$

Давление в конце паропровода составит

$$p_2 = p_1 - \Delta p = 0,6 - 0,0945 = 0,5055 \text{ МПа}$$

Оптимальное падение температуры в паропроводах можно принимать из интервала $4 - 7^\circ\text{C/км}$ при расходе $100 - 150$ т/ч. В нашем случае расход пара равен

$$G_p = 23,5 \text{ кг/с} \cdot 3600 \text{ с/ч} = 117000 \text{ кг/ч} = 117 \text{ т/ч}$$

Принимаем падение температуры ближе к левому концу интервала 5°C/км . Тогда общее падение температуры по длине паропровода составит:

Приложения

$$\Delta t = 5^{\circ}\text{C}/\text{км} \cdot 1,35\text{км} = 6,75^{\circ}\text{C}$$

и температура у потребителей в конце паропровода составит:

$$t_2 = t_1 - \Delta t = 200^{\circ}\text{C} - 6,75^{\circ}\text{C} = 193,25^{\circ}\text{C}$$

Теперь по таблицам термодинамических свойств насыщенного водяного пара определяем, что при конечном давлении у потребителя $p_2 = 0,5055$ МПа температура насыщения лежит в интервале $151,84^{\circ}\text{C} - 158,84^{\circ}\text{C}$, а фактическая температура пара у потребителя $193,25^{\circ}\text{C}$, то есть пар остается перегретым. А по таблицам перегретого пара определяем энтальпию пара у потребителя при конечном давлении $p_2 = 0,5055$ МПа и конечной температуре $t_2 = 193,25^{\circ}\text{C}$. Точно этих значений в таблицах нет, поэтому для интерполяции выбираем ближайшие:

	180°C	200°C
0,5 МПа	2812	2854
0,6 МПа	2805	2849

Найдем искомую энтальпию пара линейной интерполяцией ближайших значений. Наиболее близкая точка к искомой 2854 кДж/кг при 200°C и 0,5 МПа, выберем ее в качестве базовой.

Скорость изменения энтальпии от базовой точки

по давлению

$$(2849 - 2854)/(0,6 - 0,5) = - 50 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{МПа})$$

по температуре

$$(2812 - 2854)/(180 - 200) = 2,1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

Тогда энтальпия в искомой точке приблизительно определится как :

$$i_2 = 2854 + (0,5055 - 0,5) \cdot (- 50) + \\ + (193,25 - 200) \cdot 2,1 = 2839,55 \text{ кДж}/\text{кг}$$

Теперь можно рассчитать мощность паропровода на выходе:

$$W_2 = G_p \cdot i_2 = 32,5 \text{ кг}/\text{с} \cdot 2839,55 \text{ кДж}/\text{кг} = \\ = 92285,375 \text{ кВт} (92,59 \text{ МВт}).$$

Потери мощности на трассе 1350 м составят

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 92590 \text{ кВт} - 92285,375 \text{ кВт} = 304,625 \text{ кВт}$$

К.п.д. паропровода составит

$$\eta_{пп} = W_2 / W_1 = (92285,375 \text{ кВт} / 92590 \text{ кВт}) \cdot 100\% = 99,7\%$$

Вывод. Поддержание оптимального падения давления и температуры по длине паропроводов позволяет получать высокие к.п.д. транспорта энергоносителя.

Оптимальное падение давления и температуры обеспечиваются правильным проектированием, строительством и эксплуата-

Приложения

цией паровых сетей, контролем плотности паропровода и состояния тепловой изоляции, своевременным устранением обнаруженных недостатков.

Тепловые потери паропровода

Определить удельные линейные потери надземного изолированного паропровода.

Внутренний диаметр трубопровода $d_0 = 207$ мм

Внешний диаметр трубопровода $d = 219$ мм.

Температура пара $t_p = 197^\circ\text{C}$

Паропровод изолирован: толщина изоляции $\delta_i = 125$ мм,

Коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda_i = \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$.

Замеры температуры внешнего слоя изоляции дают $t_i = 19^\circ\text{C}$

Коэффициент излучения с поверхности тепловой изоляции

$$C = 5,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$$

Температура наружного воздуха $t_0 = 6^\circ\text{C}$.

Скорость движения воздуха $W_v = 10$ м/с.

Решение.

Толщина наружной поверхности изоляции равна, м:

$$d_i := d + 2 \cdot \delta_i \quad d_i = 0.469$$

Потери энергии с поверхности изоляции паропровода идут конвекцией (с ветром) и излучением в окружающую среду и пропорциональны коэффициентам теплоотдачи конвекции и излучения.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией воздуху $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$:

$$\alpha_k := 4.64 \cdot \frac{w_v^{0.7}}{d_i^{0.3}} \quad \alpha_k = 29.185$$

Коэффициент теплоотдачи излучением в окружающую среду, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$:

$$\alpha_l := C \cdot \frac{\left[\left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right]}{t_i - t_0} \quad \alpha_l = 4.843$$

Приложения

Суммарный коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$:

$$\alpha_n := \alpha_k + \alpha_l \quad \alpha_n = 34.028$$

Теперь можно определить термическое сопротивление слоя изоляции $(\text{м} \cdot \text{К})/\text{Вт}$:

$$R_i := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \cdot \ln \left(\frac{d_i}{d} \right) \quad R_i = 0.836$$

Далее определим термическое сопротивление конвективной теплоотдачи с наружной поверхности изоляции паропровода, $(\text{м} \cdot \text{К})/\text{Вт}$:

$$R_n := \frac{1}{\pi \cdot d_i \cdot \alpha_n} \quad R_n = 0.02$$

Суммарное сопротивление теплоотдачи с наружной поверхности изоляции составит, $(\text{м} \cdot \text{К})/\text{Вт}$:

$$R := R_i + R_n \quad R = 0.856$$

Теперь можно определить удельные линейные тепловые потери с поверхности изолированного паропровода, $\text{Вт}/\text{м}$:

$$q := \frac{t_p - t_0}{R} \quad q = 223.179$$

Развитие задачи.

1. В ходе эксплуатации паропровода изоляция нарушена, толщина ее уменьшилась до 100 мм, а температура наружной поверхности поврежденной изоляции повысилась до 56°C . Определить удельные линейные тепловые потери паропровода на участке нарушения изоляции.

Повторяя все вычисления по указанным формулам, получим, что удельные линейные потери возрастут до $260,5 \text{ Вт}/\text{м}$, то есть на $100\%(260,5 - 223,79)/223,79 = 16,4\%$.

2. Если в результате аварии изоляция паропровода полностью разрушается, то есть толщина ее уменьшается до 0 мм, то температура на поверхности трубы близка к температуре пара 197°C .

Приложения

В этих условиях удельные линейные тепловые потери возрастают (расчет по всем приведенным формулам) до 6348,61 Вт/м, то есть в 6348,61 Вт/м / 223,79 = 28,37 раза.

Вывод. Расчеты показывают важность изоляции, а правила эксплуатации предписывают контроль и немедленное устранение повреждений изоляции теплопроводов для поддержания общей высокой энергетической эффективности транспорта теплоты.

Потери температуры и давления по длине паропровода

Потери температуры

Рассчитать температуру в конце паропровода с учетом потерь температуры по длине вследствие тепловых потерь.

Температура пара в начале паропровода $t_1 = 200^\circ\text{C}$

Расход пара $G = 32,5$ кг/с

Длина паропровода $L = 1350$ м

Полное термическое сопротивление $R = 0,8525$ м•К/Вт

Средняя теплоемкость пара при температуре t_1 : 2433 Дж/(кг•К)

Температура наружного воздуха $t_0 = 6^\circ\text{C}$.

Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 0,25$

Коэффициент местных тепловых потерь учитывает кроме удельных линейных потерь энергии через поверхность изоляции дополнительные потери через опоры, арматуру, фланцы. В данном случае фактические тепловые потери больше теоретических на 25%.

Решение. Наиболее существенные параметры, определяющие падение температуры по длине изолированного паропровода, связаны зависимостью:

$$t_2 := t_0 + \frac{t_1 - t_0}{e^{\frac{(1 + \beta) \cdot R \cdot G \cdot c_p}{L}}}$$

Расчет по этой зависимости дает для данного случая температуру в конце паропровода $t_2 = 196,94^\circ\text{C}$.

При повышении температуры наружного воздуха до 20°C конечная температура пара составит $197,1^\circ\text{C}$, а при понижении до -20°C конечная температура составит $196,5^\circ\text{C}$. Можно сказать, что в данном случае зависимость от температуры наружного воздуха слабая.

Приложения

При снижении полного термического сопротивления до 0,6 м•К/Вт конечная температура составит 195°C.

Потери давления

Рассчитать давление в конце паропровода при тех же условиях.

Начальное давление $p_1 = 0,6$ МПа.

Коэффициент местных гидравлических потерь $\alpha = 0,3$.

Коэффициент местных гидравлических потерь учитывает дополнительные потери давления (кроме линейных) на арматуру, компенсаторы термических удлинений и другие местные сопротивления. В данном случае фактическое падение давления выше теоретического линейного на 30%.

Наиболее существенные параметры, определяющие падение давления в конце паропровода, связаны зависимостью:

$$p_2 := p_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_L \cdot (1 + \alpha) \cdot T_{cp} \cdot L}{p_1 \cdot T_1}}$$

Удельное линейное падение давления примем из оптимального интервала 0,65 - 0,8 МПа/км : 0,7 МПа/км или 70 Па/м.

Начальное давление пара равно 0,6 МПа или 600 000 Па.

Средняя температура пара в паропроводе

$$T_{cp} = (T_1 + T_2)/2 = ((200 + 273) + (196,94 + 273))/2 = 470,55 \text{ К.}$$

Длина паропровода $L = 1350$ м.

Подставим все эти значения в формулу и получим, что давление в конце паропровода составит $p_2 = 461892$ Па, или 0,46 МПа.

Таким образом общее падение давления в паропроводе на расстоянии 1350 м составит 0,6 - 0,46 = 0,14 МПа.

Диаметр и пропускная способность паропровода

Определить пропускную способность паропровода заданного диаметра.

Внутренний диаметр паропровода 100 мм.

Параметры пара на входе: 0,6 МПа, 200°C;

Приложения

на выходе 0,46 МПа, 197°С.

Длина паропровода 1350 м.

Коэффициент местных гидравлических потерь $\alpha = 0,3$.

Коэффициент эквивалентной шероховатости внутренней поверхности паропровода $k_{\text{э}} = 0,2$ мм, или 0,0002 м.

Решение. Пропускную способность паропровода можно определить по зависимости:

$$G_{\text{пр}} := 3.35 \cdot \frac{(R_f \cdot \rho)^{0.5} \cdot d_{\text{в}}^{2.625}}{k_{\text{э}}^{0.125}}$$

где:

$G_{\text{пр}}$ - пропускная способность паропровода, кг/с

R_f - удельное линейное падение давления по трассе, Па/м

ρ - плотность пара, кг/м³

$d_{\text{в}}$ - внутренний диаметр паропровода, м

$k_{\text{э}}$ - коэффициент эквивалентной шероховатости, м

Решение. Определим фактическое среднее удельное падение давления по трассе. Физическая длина трассы 1350 м, приведенная длина трассы с учетом коэффициента местных гидравлических потерь на 30% больше, то есть

$$L_{\text{пр}} = L \cdot (1 + \alpha) = 1350 \cdot (1 + 0,3) = 1755 \text{ м}$$

Перепад давления по трассе:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (0,6 - 0,46) \cdot 10^6 = 140\,000 \text{ Па}$$

Удельное линейное падение давления:

$$R_f = \Delta p / L_{\text{пр}} = 78,69 \text{ Па/м}$$

Среднее давление пара в паропроводе:

$$p_{\text{ср}} = (p_1 + p_2)/2 = (0,6 + 0,46)/2 = 0,53 \text{ МПа}$$

По таблицам свойств водяного пара находим при 200°С удельные объемы пара

при 0,6 МПа $v_1 = 0,3520 \text{ м}^3/\text{кг}$, при 0,5 МПа $v_2 = 0,4249 \text{ м}^3/\text{кг}$. Интерполируем полученные значения на давление 0,53 МПа:

$$v_x = 0,4249 + [(0,3520 - 0,4249)/(0,6 - 0,5)] \cdot (0,53 - 0,5) = 0,40303 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Плотность пара обратно пропорциональна удельному объему:

$$\rho = 1/v_x = 1/0,40303 \text{ м}^3/\text{кг} = 2,4812 \text{ кг/м}^3$$

Подставляя все имеющиеся значения в расчетную формулу, получим пропускную способность паропровода 0,3219 кг/с или 1,16 т/ч. При тех же условиях пропускная способность паропровода диаметром 207 мм достигает 2,17 кг/с или 7,82 т/ч, при диаметре 509 мм, соответственно 23,06 кг/с или 83,01 т/ч.

Приложения

Определение диаметра паропровода по расходу пара

Решим для тех же условий обратную задачу: определить диаметр паропровода для пропускa 83,01 т пара в час при условиях:

Параметры пара на входе: 0,6 МПа, 200°С;

на выходе 0,46 МПа, 197°С.

Длина паропровода 1350 м.

Коэффициент местных гидравлических потерь $\alpha = 0,3$.

Коэффициент эквивалентной шероховатости внутренней поверхности паропровода $k_s = 0,2$ мм, или 0,0002 м.

Расчет следует вести по формуле:

$$d_B := 0.63 \cdot \frac{k_s^{0.0475} \cdot G_{pr}^{0.38}}{(R_f \cdot \rho)^{0.19}}$$

Определение всех параметров приведено выше. Подставляя все значения в расчетную формулу, получим $d_B = 0,50852$ м или 508,52 мм, что совпадает с последним решением предыдущей задачи.

Паровой подогреватель

Пар из сети поступает в паровой поверхностный теплообменник, в котором подогревается технологический материал (жидкости, растворы, мазут и т.д.).

Параметры пара на входе $i_2 = 2839,55$ кДж/кг давлении $p_2 = 0,5055$ МПа и температуре $t_2 = 193,25$ °С. Пар нагревает требуемые материалы через поверхность и выходит из теплообменника с пониженными параметрами, 95% пара конденсируется, давление пароводяной смеси на выходе из теплообменника поддерживается $p_3 = 0,01$ МПа. Определить количество отданной паром теплоты и к.п.д парового теплообменника.

Решение. Определим параметры влажного пара на выходе из теплообменника. Степень сухости пароводяной смеси

$$x = 1 - 0,95 = 0,05$$

По таблицам насыщенного пара при $p_3 = 0,01$ МПа находим энтальпию конденсата $i' = 191,84$ кДж/кг и теплоту парообразования $r = 2392,1$ кДж/кг. Определяем энтальпию пароводяной смеси:

$$\begin{aligned} i_3 &= i' + r \cdot x = 191,84 \text{ кДж/кг} + 2392,1 \text{ кДж/кг} \cdot 0,05 = \\ &= 311,445 \text{ кДж/кг} \end{aligned}$$

Теперь можно определить количество отданной паром теплоты:

Приложения

$$Q = i_2 - i_3 = 2839,55 \text{ кДж/кг} - 311,445 \text{ кДж/кг} = 2528,105 \text{ кДж/кг}$$

К.п.д. теплообменника определим как отношение полезно затраченной энергии к поступившей:

$$\eta = Q/i_3 = (2528,105 \text{ кДж/кг} / 2839,55 \text{ кДж/кг}) \cdot 100\% = 89,03 \%$$

Таким образом, потери с несконденсированным паром и теплотой конденсата достигают 100 - 89,03 % = 11%.

Энергетически выгодно обеспечивать полную конденсацию греющего пара и использовать теплоту конденсата.

Использование отработанного пара

Определить годовую экономию топлива на промышленном предприятии от использования отработанного пара кузнечных молотов в количестве 7900 т, с параметрами: давление $p = 0,12$ МПа, энтальпия $i = 2683$ кДж/кг, температура насыщения $t_n = 104,8^\circ\text{C}$. Средний коэффициент полезного действия котельных промышленного предприятия равен $\eta = 0,85$. Теплота конденсата не используется.

Решение. Теплота пара, использованная на предприятии пропорциональна количеству пара, его энтальпии, за вычетом неиспользованной теплоты конденсата. Количество теплоты в паре

$$7900 \cdot 10^3 \cdot 2683 = 2.12 \cdot 10^{10} \text{ кДж}$$

Количество теплоты в конденсате

$$7900 \cdot 10^3 \cdot 4.19 \cdot 104.8 = 3.469 \cdot 10^9 \text{ кДж}$$

Использовано теплоты

$$2.12 \cdot 10^{10} - 3.469 \cdot 10^9 = 1.773 \cdot 10^{10} \text{ кДж}$$

Теплота сгорания условного топлива 29300 кДж/кг

Прямой эквивалент использованной теплоты в условном топливе

$$\frac{1.773 \cdot 10^{10}}{29309} = 6.049 \cdot 10^5 \text{ кг у.т.}$$

Однако в котельных промышленного предприятия аналогичное количество пара пришлось бы вырабатывать с к.п.д. 0,85, что увеличивает расход топлива в котельных и, следовательно, полу-

Приложения

ценную экономию. Тогда с учетом к.п.д. котельных экономия условного топлива составит

$$\frac{6.049 \cdot 10^5}{0.85} = 7.116 \cdot 10^5 \text{ кг у.т.}$$

или 711,6 тонн условного топлива.

Использование теплоты конденсата могло бы добавить еще

$$\frac{3.469 \cdot 10^9}{29309 \cdot 0.85} = 1.392 \cdot 10^5 \text{ кг у.т.}$$

или 139,2 т у.т.

Основы расчета паровых аккумуляторов

Рассчитать удельный объем парового аккумулятора для заданных давлений зарядки и разрядки.

Характерные интервалы давлений пара утилизационных установок 1,8 - 3,5 МПа (этим паром могут заряжаться паровые аккумуляторы), а интервал давлений в заводских паропроводах 0,5 - 1,5 МПа (в эти паропроводы должны выдавать пар аккумуляторы).

Дано:

Давление заряжающего пара $p_1 = 1,908$ МПа

Минимальное давление при разрядке $p_2 = 1,255$ МПа

По таблицам насыщенного водяного пара определяем энтальпии при этих двух давлениях:

воды $h_{1w} = 897,8$ кДж/кг; $h_{2w} = 805,7$ кДж/кг;

и пара $h_{1p} = 2796,4$ кДж/кг; $h_{2p} = 2784,9$ кДж/кг;

плотность воды при $p_1 = 1,908$ МПа равна $\rho_{1w} = 852,8$ кг/м³.

Средняя энтальпия отпускаемого пара составляет:

$$h_p = (h_{1p} + h_{2p})/2 = (2796,4 + 2784,9)/2 \\ = 2790,65 \text{ кДж/кг.}$$

Количество воды, необходимое для получения 1 кг вторичного пара определяется из соотношения:

$$m_w := \frac{h_p - h_{2w}}{h_{1w} - h_{2w}}$$

Приложения

и равно 21,96 кг воды/кг пара, что при известной плотности воды $\rho_{1w} = 852,8 \text{ кг/м}^3$ дает возможность определить удельный объем аккумулятора, $\text{м}^3/\text{кг}$ пара:

$$v_{ak} := \frac{m_w}{\rho_{1w}} \quad v_{ak} = 0.02575$$

Это означает, что для аккумуляирования и последующей выдачи 1 т пара в указанных интервалах давления необходимо $25,75 \text{ м}^3$ водяного объема аккумулятора.

Вариант. Если есть возможность заряжать аккумулятор паром более высокого давления, например, $p_1 = 3,348 \text{ МПа}$ а выдавать пар такого же давления $p_2 = 1,255 \text{ МПа}$, то удельный объем аккумулятора изменится.

По таблицам насыщенного водяного пара определяем энтальпии при этих двух давлениях:

воды $h_{1w} = 1037,6 \text{ кДж/кг}$; $h_{2w} = 805,7 \text{ кДж/кг}$;

и пара $h_{1p} = 2801,6 \text{ кДж/кг}$; $h_{2p} = 2784,9 \text{ кДж/кг}$;

плотность воды при $p_1 = 3,348 \text{ МПа}$ равна $\rho_{1w} = 813,6 \text{ кг/м}^3$.

Для этих параметров воды и пара удельный объем аккумулятора составит $0,01061 \text{ м}^3/\text{кг}$ пара, то есть уменьшится вдвое. Это позволяет создать более компактный аккумулятор: для выдачи 1 т пара в этом случае понадобится всего $10,61 \text{ м}^3$ водяного объема.

Вариант. Минимальный удельный объем аккумулятора можно получить, заряжая аккумулятор паром высокого давления $p_1 = 3,348 \text{ МПа}$, и выдавая пар низкого давления, например, $p_2 = 0,618 \text{ МПа}$.

По таблицам насыщенного водяного пара определяем энтальпии при этих двух давлениях:

воды $h_{1w} = 1037,6 \text{ кДж/кг}$; $h_{2w} = 675,5 \text{ кДж/кг}$;

и пара $h_{1p} = 2801,6 \text{ кДж/кг}$; $h_{2p} = 2757,7 \text{ кДж/кг}$;

плотность воды при $p_1 = 3,348 \text{ МПа}$ равна $\rho_{1w} = 813,6 \text{ кг/м}^3$.

При этих параметрах удельный объем водяного объема аккумулятора составит всего $0,0714 \text{ м}^3$. Для выдачи 1 т пара потребуется $7,14 \text{ м}^3$ водяного объема.

Вывод. Удельный объем и общие размеры парового аккумулятора уменьшаются при повышении начального и понижении конечного давления аккумулируемого пара.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Теплофизические свойства пара и воды на линии насыщения Насыщенный водяной пар (по давлению)

Давление	Температура насыщения	Удельный объем	Энтальпия воды	Энтальпия пара	Теплота парообразования
p, МПа	t _н , °С	v", м ³ /кг	i', кДж/кг	i", кДж/кг	г, кДж/кг
0,005	32,89	28,23	137,79	2560,9	2423,1
0,010	45,82	14,70	191,84	2583,9	2392,1
0,025	64,99	6,201	272,03	2617,6	2345,6
0,050	81,33	3,243	340,53	2645,2	2304,7
0,10	99,62	1,696	417,47	2674,9	2274,5
0,12	104,80	1,43	439,34	2683,0	2243,6
0,14	109,31	1,237	458,42	2690,1	2231,7
0,16	113,31	1,092	475,41	2696,3	2220,8
0,18	116,93	0,978	490,68	2701,8	2211,1
0,20	120,23	0,886	504,74	2706,82	2202,0
0,22	123,27	0,810	517,7	2711,0	2193,3
0,24	126,09	0,747	529,9	2714,9	2185,0
0,26	128,73	0,692	541,2	2718,9	2177,7
0,28	131,2	0,646	551,7	2722,3	2170,7
0,30	133,54	0,605	561,7	2725,5	2163,9
0,35	138,87	0,524	584,4	2732,3	2147,9
0,40	143,62	0,462	604,6	2738,7	2134,1
0,45	147,92	0,413	623,0	2743,9	2120,9
0,50	151,84	0,374	640,1	2748,8	2108,7
0,60	158,84	0,315	670,6	2756,9	2086,3
0,70	164,96	0,272	697,2	2763,7	2066,5
0,80	170,41	0,240	720,9	2769,0	2048,0
0,90	175,36	0,214	742,7	2777,7	2031,0
1,00	179,88	0,194	762,4	2777,8	2015,3
1,1	184,05	0,177	781,3	2781,2	1999,9
1,2	187,95	0,163	798,4	2784,6	1986,2
1,3	191,60	0,151	814,6	2787,4	1972,4
1,4	195,04	0,140	830,0	2789,7	1959,7
1,5	198,28	0,131	844,5	2791,8	1947,3
1,6	201,36	0,123	858,3	2793,5	1935,2
1,7	204,30	0,116	871,7	2795,3	1923,5

Приложения

Продолжение предыдущей таблицы

Давление	Температура насыщения	Удельный объем	Энтальпия воды	Энтальпия пара	Теплота парообразования
p , МПа	t_n , °C	v'' , м ³ /кг	i' , кДж/кг	i'' , кДж/кг	r , кДж/кг
1,8	207,10	0,110	884,2	2796,5	1912,3
1,9	209,78	0,104	896,6	2797,9	1901,3
2,0	212,37	0,099	908,6	2799,2	1890,7
2,2	217,24	0,090	930,9	2800,6	1869,7
2,4	221,77	0,083	951,8	2801,8	1850,0
2,6	226,04	0,076	971,9	2802,6	1830,8
2,8	230,04	0,071	990,2	2803,1	1812,8
3,0	233,87	0,066	1008,4	2803,1	1794,7
3,5	242,54	0,057	1049,8	2802,8	1753,0
4,0	250,33	0,049	1087,5	2800,6	1713,2

Насыщенный водяной пар (по температуре)

Температура	Давление	плотность	энтальпия	теплота парообразования	теплоемкость	коэффициент теплопроводности	коэффициент динамической вязкости	число Прандтля
t , °C	p , МПа	ρ , кг/м ³	h , кДж/кг	r , кДж/кг	c_p , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$	$\frac{\lambda \cdot 10^2}{\text{Вт} \cdot (\text{м} \cdot \text{K})}$	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	Pr
150	0,476	2,547	2746,3	2114,1	2,320	3,16	14,02	1,03
160	0,618	3,259	2757,7	2082,2	2,406	3,31	14,37	1,04
170	0,792	4,122	2768,0	2048,9	2,504	3,47	14,72	1,06
180	1,003	5,159	2777,1	2014,0	2,615	3,64	15,07	1,08
190	1,255	6,397	2784,9	1977,4	2,741	3,82	15,42	1,11
200	1,555	7,865	2791,4	1939,0	2,883	4,01	15,78	1,13
210	1,908	9,595	2796,4	1898,6	3,043	4,21	16,13	1,17
220	2,320	11,62	2799,9	1856,2	3,223	4,42	16,49	1,20
230	2,798	13,99	2801,7	1811,4	3,426	4,64	16,85	1,24
240	3,348	16,76	2801,6	1764,0	3,656	4,87	17,22	1,29
250	3,977	19,99	2799,5	1713,7	3,918	5,13	17,59	1,34

Приложения

Вода на линии насыщения (по температуре)

Темпе- ратура насы- щения	Давление насыщения	плотность	энтальпия	теплоем- кость	коэффици- ент теплопро- водности	коэффици- циент динамиче- ской вязкости	коэффици- циент поверхно- стного натяжения	число Прандтля
t, °C	p, МПа	ρ , кг/м ³	h, кДж/кг	c_p , $\frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$	$\lambda \cdot 10^2$, $\frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\sigma \cdot 10^4$, н/м	Pr
150	0,476	916,8	632,2	4,310	68,17	181,9	487,5	1,150
160	0,618	907,3	675,5	4,339	67,97	169,6	466,0	1,080
170	0,792	897,2	719,1	4,371	67,68	158,8	444,1	1,030
180	1,003	886,9	763,1	4,408	67,32	149,4	422,0	0,978
190	1,255	876,0	807,5	4,449	66,87	141,0	399,5	0,938
200	1,555	864,7	852,4	4,497	66,33	133,6	376,8	0,906
210	1,908	852,8	897,8	4,551	65,71	127,0	353,9	0,880
220	2,320	840,3	943,7	4,614	64,98	121,0	330,8	0,859
230	2,798	827,3	990,3	4,686	64,15	115,5	307,5	0,844
240	3,348	813,6	1037,6	4,770	63,21	110,5	284,0	0,834
250	3,977	799,1	1085,8	4,869	62,15	105,8	260,5	0,829

Учебное текстовое электронное издание

Картавцев Сергей Владимирович

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебное пособие

Издание 2-е

1,77 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2022 год

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Кафедра теплотехнических и энерготехнических систем

Библиотечно-информационный комплекс

e-mail: bik@magtu.ru