

Е. Н. Громова

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики**

Е. Н. Громова

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Учебное пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург

2024

УДК 621.1 (075.8)

ББК 31.391.я7

Г 874

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерная экология и безопасность труда»
Казанского государственного энергетического университета

Э. Р. Зверева;

кандидат технических наук, доцент кафедры теплосиловых установок и тепловых
двигателей Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского
государственного университета промышленных технологий и дизайна

Н. Н. Гладышев

Громова, Е. Н.

Г 874 Эксплуатация теплотехнологических установок: учеб. пособие /
Е. Н. Громова. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. — 74 с.

ISBN 978-5-91646-358-3

Учебное пособие соответствует программе и учебному плану дисциплины «Эксплуатация теплотехнологических установок» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника». В учебном пособии рассматриваются организационные принципы производственной эксплуатации, технического обслуживания, а также современные методы и формы организации ремонта теплотехнологического оборудования с учетом требований новых нормативных правовых актов, выпущенных в последние годы.

Пособие предназначено для подготовки студентов очной и заочной форм обучения. Отдельные разделы пособия могут быть полезны магистрам и аспирантам.

УДК 621.1(075.8)

ББК 31.391.я7

ISBN 978-5-91646-358-3

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

© Громова Е. Н., 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
РАЗДЕЛ 1. РЕЖИМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ	5
РАЗДЕЛ 2. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСОНАЛУ И ЕГО ПОДГОТОВКА	13
РАЗДЕЛ 3. ПУСК И НАЛАДКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК	21
3.1. Назначение, организация и задачи авторского надзора	21
3.2. Пуск и наладка высокотемпературных установок	22
3.3. Приемочные испытания ВТУ	26
РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	29
4.1. Задачи и организация эксплуатации высокотемпературных установок	29
4.2. Межремонтное обслуживание высокотемпературных установок	30
4.3. Задачи и особенности эксплуатационных испытаний высокотемпературных установок	32
4.4. Эксплуатационные характеристики высокотемпературных установок и пути их совершенствования	34
РАЗДЕЛ 5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ РЕМОНТОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	36
5.1. Классификация и общая характеристика ремонтов высокотемпературных установок	36
5.2. Организация и проведение ремонтов	39
РАЗДЕЛ 6. ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК	43
РАЗДЕЛ 7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА	49
РАЗДЕЛ 8. НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ	58
8.1. Оптимизация теплотехнологических процессов	58
8.2. Повышение экономической эффективности теплотехнологических систем	65
8.3. Вторичные энергоресурсы ВТУ и способы их использования	67
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	71
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	74

ВВЕДЕНИЕ

Теплотехнологические установки промышленных предприятий являются агрегатами повышенной опасности, так как их работа связана с выделением теплоты, влаги, пыли и дымовых газов. Поэтому эксплуатация таких установок строго регламентируется соответствующими правилами и инструкциями. Контроль за соблюдением правил и инструкций по безопасной эксплуатации и безаварийной работе установок осуществляется органами государственного надзора (Госэнергонадзор и Госгортехнадзор) и общественными организациями, которые и разрабатывают эти нормы. Так как большинство установок в качестве топлива используют горючие газы, то контроль за состоянием, работой и ремонтом газопроводов, арматуры и топливосжигающих устройств осуществляет также Государственная газовая техническая инспекция. На предприятиях работу по контролю за соблюдением правил пожарной безопасности и техники безопасности выполняют главные инженеры.

Высокотемпературные теплотехнологические установки потребляют огромное количество теплоты на технологические нужды, отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. В связи с этим повышение надежности и экономичности работы теплотехнического оборудования является одной из важнейших научных и инженерных задач. Надежность и экономичность работы этого оборудования в значительной мере зависит от качества его наладки, ремонта и культуры обслуживания. В связи с этим инженеры-теплоэнергетики должны владеть приемами и методами рациональной эксплуатации, наладки и испытания теплотехнического оборудования.

В настоящем учебном пособии рассмотрены организационные принципы производственной эксплуатации, технического обслуживания, а также современные методы и формы организации ремонта теплотехнологического оборудования с учетом требований новых нормативных правовых актов, выпущенных в последние годы.

РАЗДЕЛ 1. РЕЖИМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Печь как основное теплотехнологическое устройство является звеном в технологических линиях промышленного производства заданных продуктов, поэтому режим ее работы определяется соответствующим регламентом. В нем устанавливается количество, качество, химический состав, физические и химические свойства, гранулометрический состав и другие данные исходных материалов; температура и давление процесса, а также прочие требования к получаемым продуктам.

Под понятием «режимы функционирования теплотехнологических систем» имеется в виду комплекс оптимальных условий, которые необходимо создать в рабочей камере печи для осуществления основных регламентных технологических режимов применительно к принятой конструкции печи с заданным видом энергии. Соблюдение режимов функционирования позволит получать целевые и побочные продукты заданных количества и качества или полностью обезвредить вещества, загрязняющие окружающую среду, максимально подавлять сопутствующие процессы (с обеспечением безопасности обслуживающего персонала) при наибольшей экономической и экологической эффективности.

Режимы функционирования печной системы включают в себя:

- 1) временной режим;
- 2) температурный режим;
- 3) электрический режим;
- 4) гидравлический режим;
- 5) режим печной среды.

Временной режим. По характеру течения во времени теплотехнологические процессы, осуществляемые в печах, подразделяются на периодические (прерывные) и непрерывные.

Периодическими называются теплотехнологические процессы, в которых порция исходных материалов загружается в печь, претерпевает ряд физико-химических превращений, затем все образовавшиеся продукты выгружаются. Время процесса складывается из:

- 1) времени загрузки исходных материалов в печь;
- 2) времени протекания теплотехнологических процессов, включающего время нагрева исходных материалов до температуры, при которой осуществляются физические, химические и коллоидные превращения, а также время охлаждения получаемого продукта до заданной температуры;
- 3) времени выгрузки продукта.

Таким образом, главным признаком периодического процесса является прерывание хода теплотехнологического процесса, а затем периодическое повторение всех процессов.

Процесс, который проводится периодически, является неустановившимся, так как в печи в течение всего периода изменяются температура, давление, концентрации реагирующих веществ, химический состав и т. д.

Периодические процессы в химических печах применяют для получения малотоннажных продуктов, из-за простоты конструкции печей (тигельные печи для получения специальных сортов стекла, светящихся пигментов, ультрамарина и т. д.), а также когда невозможно при данном уровне технического развития непрерывное получение целевого продукта (сталь, медь, кокс и т. п.).

Непрерывными называют процессы, в которых ход теплотехнологического процесса не прерывается. При непрерывном теплотехнологическом процессе могут быть следующие режимы загрузки и выгрузки:

1) загрузка и выгрузка непрерывные (печи для сжигания серы, для обжига колчедана, получения печной сажи, синильной кислоты, соды и т. д.);

2) загрузка непрерывная, а выгрузка периодическая (доменная печь и т. п.);

3) загрузка периодическая, а выгрузка непрерывная (шахтные печи для обжига извести, фосфорита, сидерита; ретортные печи для обжига антрацита и т. д.);

4) загрузка и выгрузка прерывные, т. е. систематическими порциями (туннельные печи, где выгружается, а затем загружается одна вагонетка, и т. д.).

Режим загрузки и выгрузки печи должен быть строго выдержан, поскольку он определяет ход теплотехнологических процессов, а также количества загружаемого в печи материала и выгружаемого продукта.

Непрерывные теплотехнологические процессы предусматривают установившиеся режимы в контролируемых точках замеров, где параметры не меняются во времени, но меняются по месторасположению (по высоте или длине печи). При непрерывном процессе используется понятие «условное время пребывания реагентов в рабочем объеме печи». Под понятием «рабочий объем печи» понимается только тот объем, который заполнен исходными материалами и получаемыми продуктами (например, в печах с вращающимся барабаном рабочий объем составляет только до 15 % всего объема).

Температурный режим теплотехнологической системы – это установленная последовательность изменения температуры ее элементов во времени или по длине печи. Графическое изображение температурного режима принято называть профилем температур. В печной системе, соответственно числу ее элементов, возможны следующие три температурных режима:

1) исходных материалов и полученных продуктов;

2) печной среды;

3) футеровки.

Температурный режим исходных материалов и полученных продуктов является определяющим по отношению к другим. Создание и строгое соблюдение этого режима является одним из главных условий нормального протекания целенаправленных превращений исходных материалов и полученных продуктов. Температурный режим исходных материалов и полученных продуктов создается за счет температурных режимов печной среды, футеровки или их совокупности. В процессах сжигания горючих исходных материалов температурный режим в них создается и регулируется расходом окислителя, а при его недостаточности – введением газовой печной среды, а также интенсивным теплоотводом через футеровку.

Температурный режим печной среды определяется тепловыми состояниями ее газовой, жидкой и твердой фаз, зависящими от режима сжигания топлива, теплопередачи через футеровку муфельных печей. Им характеризуется протекание печных процессов. Печная среда может быть как теплоносителем (энергетической базой теплотехнологических процессов), так и охладителем.

Одной из функций печной среды является создание необходимого и стабильного температурного режима футеровки рабочей камеры печи, исходных материалов и полученных продуктов за счет физических, химических, теплотехнических и механических процессов и конструктивных приемов.

Температурный режим футеровки рабочей камеры печи создается печной средой, теплотой, передаваемой или отнимаемой через футеровку, исходными материалами и полученными продуктами или конструкцией футеровки. Задачей футеровки является участие в создании и стабилизации температурных режимов других элементов печной системы.

Из рассмотренного выше очевидна взаимная связь и зависимость между температурными режимами элементов печной системы.

Получение целевых продуктов в печах должно всегда осуществляться при оптимальных температурных режимах. Под этим термином понимается такая совокупность температуры элементов печной системы и времени взаимодействия между ними, которая обеспечивает в данной конструкции печи максимальную производительность по целевому продукту с наибольшим подавлением сопутствующих процессов и с наибольшей экономической и экологической эффективностью.

Так как температурный режим является совокупностью только температуры и времени, то необходимо рассмотрение как отдельного, так и совместного их влияния на высокотемпературные процессы.

Разность температуры в элементах печной системы и внутри каждого из них является в печах главной движущей силой, приводящей их к различным превращениям и процессам. Температура оказывает сильное влияние на скорость химических реакций, степень превращения, селективность и т. д.,

однако это влияние неодинаково для различных видов теплотехнологических процессов и типов реакций.

Температура осуществления непосредственного физического превращения исходных материалов и полученных продуктов различна в зависимости от их вида. Такие процессы, как плавление, испарение, конденсация, нагрев для термообработки с внепечным охлаждением и др., осуществляются при постоянной температуре. Печная термообработка проводится по определенному и заданному профилю температур. Температура нагрева массивных металлических заготовок для последующей обработки давлением непостоянна, и процесс заканчивается с заданной разностью температур между поверхностью и центром. Температуры осуществления для всех физических превращений исходных материалов и полученных продуктов определены с требуемой точностью и должны строго выдерживаться.

Химические превращения в элементах печной системы протекают при постоянной температуре (изотермический температурный режим) или в интервале температур (политермический режим). Более или менее полное приближение к изотермичности слоя материала может быть достигнуто при непрерывной компенсации теплового эффекта реакции, малых тепловых эффектах реакции и высокой теплопроводности реагентов, перемешивании теплоносителя и исходных материалов. В печах кипящего слоя температурный режим близок к изотермическому.

Рациональные температуры осуществления превращений элементов печной системы находятся из их термодинамического анализа, теплофизических свойств или экспериментально. Однако при установлении температурных режимов элементов печной системы учитывают изменения их фазовых состояний, параметры печной среды (вязкость, температуру на выходе из печи и т. д.) и стойкость футеровки и др.

Влияние температуры на протекание химических процессов зависит от типа реакций. В необратимых реакциях при достижении определенного температурного интервала скорость реакций начинает прогрессивно возрастать и приводит к полному превращению реагентов. В области высоких степеней превращения скорость снова снижается вследствие уменьшения концентрации основного реагента.

Увеличение времени пребывания исходных материалов в рабочей камере печи позволяет при данной температуре обеспечить более высокую степень превращения.

Протекание экзотермических обратимых реакций характеризуется наличием оптимальной температуры, соответствующей максимальному выходу целевого продукта. Поэтому на участках печи, где реагенты далеки от состояния химического равновесия, т. е. в начале процесса, целесообразно создавать высокую температуру, а в конце, когда получающиеся продукты приближаются

к равновесному состоянию, температура должна быть пониженной, чтобы сдвинуть процесс в сторону более полного превращения исходных материалов.

Температура, оказывая большое положительное влияние на скорость и другие показатели протекания теплотехнологических процессов, вместе с тем оказывает на них и отрицательное влияние:

- 1) увеличение потерь целевого продукта вследствие его испарения;
- 2) снижение прочности и химической стойкости исходных материалов и полученных продуктов;
- 3) уменьшение степени превращения реагентов в обратимых экзотермических реакциях;
- 4) возможное снижение селективности сложных реакций.

Время температурного воздействия между элементами печной системы и внутри них является важнейшим фактором, влияющим на производительность печей, качество получаемого целевого продукта, степень превращения реагентов, селективность, расход энергии и экономическую эффективность печного способа получения продуктов. Оно является определяющим по отношению к другим элементам печной системы, различно для разных теплотехнологических процессов и зависит от следующих факторов:

- 1) химического состава и физических свойств массы, размеров и геометрических форм исходных материалов и полученных продуктов;
- 2) условий теплопередачи, тепловых напряжений в рабочей камере и скорости движения теплоносителя;
- 3) допустимой скорости подъема температур элементов печной системы без разрушения;
- 4) механических процессов в печи;
- 5) формы укладки изделий в рабочей камере;
- 6) конфигурации печи (конфигурация свода, расположение газовых каналов в футеровке, угол наклона газогорелочных устройств) и т. д.

Эти же факторы влияют на продолжительность температурного воздействия на элементы печной системы и при протекании химических теплотехнологических процессов. Общее время температурного воздействия:

$$\tau_{об} = \tau_{пр} + \tau_{осн} + \tau_{зав},$$

где $\tau_{пр}$ – время протекания подготовительного этапа к целевому процессу; $\tau_{осн}$ – время протекания основного этапа (теплотехнологического процесса); $\tau_{зав}$ – время протекания завершающего этапа (охлаждения полученных продуктов).

Время температурного воздействия на исходные материалы и полученные продукты при осуществлении химических теплотехнологических процессов находится в зависимости от следующих факторов:

- 1) химического состава и диапазона его изменения;
- 2) физических и химических свойств;
- 3) характеристик печной среды (катализаторы);

- 4) давления;
- 5) требуемой степени превращения в заданный продукт;
- 6) заданного качества полученных продуктов;
- 7) гранулометрического состава исходных материалов;
- 8) требуемой прочности полученного продукта;
- 9) способов подавления сопутствующих процессов;
- 10) конструкции печи и т. д.

Времена температурного воздействия печной среды и футеровки должны полностью соответствовать обеспечению протекания теплотехнологических процессов. Теоретическое определение точного времени температурного воздействия между элементами печной системы и внутри каждого из них в реальных промышленных печах в настоящее время невозможно из-за множества различных факторов и возмущений, влияющих на их продолжительность. Однако при введении некоторых допущений, упрощений, дополнительных краевых условий и практических данных и т. д. возможно определение приближенного времени температурного воздействия между элементами печной системы и внутри них, которое может быть заложено в проекте при разработке профиля температур и подлежат обязательной последующей экспериментальной проверке.

Электрический режим установки – это обеспечение заданной вольтамперной характеристики для выделения необходимой теплоты с целью создания заданной температуры и теплового режима, которые в свою очередь обеспечивают заданную производительность печи по целевому продукту и его качество с минимальным удельным расходом электроэнергии.

Максимальная степень стабильности теплотехнологического процесса обеспечивается соблюдением специального графика электрического режима.

Гидравлический режим в печах характеризуется давлением и особенностями движения газовой фазы в объеме рабочей камеры печи. Главной целью установления определенного гидравлического режима в объеме рабочей камеры печи является создание оптимальных условий для перемещения газовой печной среды через исходные материалы и полученные продукты, при которых обеспечивается нормальный режим протекания теплотехнологических и теплотехнических процессов.

Создание вакуума (давление 10^{-4} Па) в печи позволяет осуществлять теплотехнологические процессы, которые не могут протекать при других условиях (например, рафинирование алюминиевых сплавов, плавка хромистой бронзы и т. д.). Создание псевдооживленного состояния сыпучих исходных материалов, полученных продуктов или инертных сред обеспечивает осуществление ряда теплотехнологических процессов при изотермическом температурном режиме.

Создание режима, исключаяющего подсос холодного воздуха в печь или выбивание из него раскаленных газов, влияет на качество получаемого продукта, энергопотребление и на безопасность персонала, обслуживающего печь.

Давление в печи оказывает влияние также на скорость протекания химических реакций, что отражается на производительности печи. Гидравлический режим в объеме рабочей камеры печи создается тягодутьевыми средствами (вентиляторы, дымососы, компрессоры, дымовые трубы и т. д.) или возникает естественно, как неизбежное явление при протекании некоторых химических превращений исходных материалов, за счет газов, выделяющихся или образующихся при процессах возгонки желтого фосфора в руднотермических печах, обжига антрацита в ретортных печах, сжигания исходных горючих материалов, а также из-за различия плотностей газов с различной температурой и т. д.

Профиль давлений, т. е. графическое изображение величины давления по принятым контрольным точкам в объеме рабочей камеры, различен и зависит от вида теплотехнологических процессов и конструкции печи, в которой они осуществляются. По своему значению давление может быть больше, равно или меньше атмосферного. Контрольными точками служат подсводовое пространство, вход в печь или выход из нее, активные реакционные зоны, подвагонеточные пространства, область под решеткой, надслоевое пространство, топочные камеры и т. д.

На гидравлический режим серьезное влияние оказывают конструктивные особенности: размещение газоходов в футеровке рабочей камеры, их размеры и количество. При разработке печной системы, выборе оборудования, конструктивных и аэродинамических приемов принимаются расчетные данные ожидаемых гидравлических сопротивлений, а также данные практики, которые закладываются в проект. Однако после наладки всех режимов и получении целевых продуктов в опытно-промышленных условиях и их исследовании устанавливаются окончательные гидравлические режимы, соблюдение которых обязательно как неременное условие для осуществления теплотехнологических и теплотехнических процессов.

Одним из важных требований при проектировании печного комплекса является возможность регулирования гидравлического режима в печи за счет задвижек, заслонок, шиберов и газовых клапанов в боровах.

Режим печной среды – это создание заданной газовой, жидкой и твердой среды, окружающей исходные материалы и получаемые продукты.

Режим газовой среды в рабочей камере печи включает в себя создание заданного профиля температур, химической активности газовой среды (восстановительный, нейтральный, окислительный) и заданного гидравлического режима.

Режим жидкой среды печи включает в себя шлаковый режим, обеспечивающий интенсивную теплоотдачу от пламени к поверхности расплава,

ввод необходимых газов, предотвращение попадания в рабочую камеру газов, ухудшающих качество получаемого продукта, обеспечение нужной вязкости веществ, текучести шлака для вывода его из ванны печи, соблюдение слива шлака в установленные сроки и т. д.

Режим твердой среды в реакторе печи включает в себя создание и поддержание определенного количества катализатора, инертного заполнителя, пыли и других веществ, своевременную замену отработанных катализаторов, обеспечение их заданной температуры и т. д.

Вопросы к разделу 1:

1. Что такое температурный режим теплотехнологической системы?
2. В каких случаях целесообразно применение периодических процессов в химических печах?
3. Как температура влияет на протекание химических процессов в печной камере?
4. От каких факторов зависит время температурного воздействия на исходные материалы и полученные продукты?
5. Что такое электрический режим установки?
6. Каким образом регулируется гидравлический режим печной установки?

РАЗДЕЛ 2. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСОНАЛУ И ЕГО ПОДГОТОВКА

Эксплуатация тепловых энергоустановок организации осуществляется подготовленным теплоэнергетическим персоналом. В зависимости от объема и сложности работ по эксплуатации тепловых энергоустановок в организации создается энергослужба, укомплектованная соответствующим по квалификации теплоэнергетическим персоналом. Допускается проводить эксплуатацию тепловых энергоустановок специализированной организацией.

Задачи персонала:

1. Руководитель организации обеспечивает:

- содержание тепловых энергоустановок в работоспособном состоянии и их эксплуатацию в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок, требований безопасности и охраны труда, соблюдение требований промышленной и пожарной безопасности в процессе эксплуатации оборудования и сооружений, а также других нормативно-технических документов;

- своевременное и качественное проведение профилактических работ, ремонта, модернизации и реконструкции тепловых энергоустановок;

- разработку должностных и эксплуатационных инструкций для персонала;

- обучение персонала и проверку знаний правил эксплуатации, техники безопасности, должностных и эксплуатационных инструкций;

- поддержание исправного состояния, экономичную и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок;

- соблюдение требований нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов, регламентирующих взаимоотношения производителей и потребителей тепловой энергии и теплоносителя;

- предотвращение использования технологий и методов работы, оказывающих отрицательное влияние на людей и окружающую среду;

- учет и анализ нарушений в работе тепловых энергоустановок, несчастных случаев и принятие мер по предупреждению аварийности и травматизма;

- беспрепятственный доступ к энергоустановкам представителей органов государственного надзора с целью проверки их технического состояния, безопасной эксплуатации и рационального использования энергоресурсов;

- выполнение предписаний органов государственного надзора в установленные сроки.

2. Для непосредственного выполнения функций по эксплуатации тепловых энергоустановок руководитель организации назначает ответственного за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок организации и его заместителя из числа управленческого персонала или специалистов со специальным теплоэнергетическим образованием после

проверки знаний Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок, Правил техники безопасности и инструкций.

3. Ответственный за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок организации и ее подразделений обеспечивает:

- содержание тепловых энергоустановок в работоспособном и технически исправном состоянии; эксплуатацию их в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок, Правил техники безопасности и другой нормативно-технической документацией;

- соблюдение гидравлических и тепловых режимов работы систем теплоснабжения;

- рациональное расходование топливно-энергетических ресурсов; разработку и выполнение нормативов их расходования;

- учет и анализ технико-экономических показателей тепловых энергоустановок;

- разработку мероприятий по снижению расхода топливно-энергетических ресурсов;

- эксплуатацию и внедрение автоматизированных систем и приборов контроля и регулирования гидравлических и тепловых режимов, а также учет тепловой энергии и теплоносителя;

- своевременное техническое обслуживание и ремонт тепловых энергоустановок;

- ведение установленной статистической отчетности;

- разработку должностных инструкций и инструкций по эксплуатации;

- подготовку персонала и проверку его знаний Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок, правил техники безопасности, должностных инструкций, инструкций по эксплуатации, охране труда и других нормативно технических документов;

- разработку энергетических балансов организации и их анализ в соответствии с установленными требованиями;

- разработку с привлечением специалистов структурных подразделений, а также специализированных проектных и наладочных организаций перспективных планов снижения энергоемкости выпускаемой продукции; внедрение энергосберегающих и экологически чистых технологий, утилизационных установок, использующих тепловые вторичные энергоресурсы, а также нетрадиционных способов получения энергии; - приемку и допуск в эксплуатацию новых и реконструируемых тепловых энергоустановок;

- выполнение предписаний в установленные сроки и своевременное предоставление информации о ходе выполнения указанных предписаний в органы государственного надзора;

- своевременное предоставление в органы госэнергонадзора и Госгортехнадзора России информации о расследовании произошедших технологических нарушений (аварий и инцидентов) в работе тепловых энергоустановок и несчастных случаях, связанных с их эксплуатацией.

Эксплуатация тепловых энергоустановок осуществляется подготовленным персоналом. Специалисты должны иметь соответствующее их должности образование, а рабочие – подготовку в объеме требований квалификационных характеристик. С целью предупреждения аварийности и травматизма в организации следует систематически проводить работу с персоналом, направленную на повышение его производственной квалификации.

В соответствии с принятой структурой в организации персонал, эксплуатирующий тепловые энергоустановки, подразделяется на:

- руководящих работников;
- руководителей структурного подразделения;
- управленческий персонал и специалистов;
- оперативных руководителей, оперативный и оперативно-ремонтный;
- ремонтный.

Необходимый уровень квалификации персонала организации определяет ее руководитель, что отражается в утвержденных положениях о структурных подразделениях и службах организации и (или) должностных инструкциях работников. На время подготовки по новой должности обучаемый персонал распоряжением по организации (для управленческого персонала и специалистов) или по подразделению (для рабочих) прикрепляется к опытному работнику из теплоэнергетического персонала.

Обязательные формы работы с различными категориями работников:

1. С руководящими работниками организации:

- вводный инструктаж по безопасности труда;
- проверка органами Госэнергонадзора знаний правил, норм по охране труда, правил технической эксплуатации, пожарной безопасности.

2. С руководителем структурного подразделения:

- вводный и целевой инструктаж по безопасности труда;
- проверка органами Госэнергонадзора знаний правил, норм по охране труда, правил технической эксплуатации, пожарной безопасности.

3. С управленческим персоналом и специалистами:

- вводный и целевой инструктаж по безопасности труда;
- проверка знаний правил, норм по охране труда, правил технической эксплуатации, пожарной безопасности;
- пожарно-технический минимум.

4. С оперативными руководителями, оперативным и оперативно-ремонтным персоналом:

- вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой инструктажи по безопасности труда, а также инструктаж по пожарной эксплуатации;

- подготовка по новой должности или профессии с обучением на рабочем месте (стажировка);
- проверка знаний правил, норм по охране труда, правил технической эксплуатации, пожарной безопасности;
- дублирование;
- специальная подготовка;
- контрольные противоаварийные и противопожарные тренировки.

5. С ремонтным персоналом:

- вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой инструктажи по безопасности труда, а также инструктаж по пожарной эксплуатации;
- подготовка по новой должности или профессии с обучением на рабочем месте (стажировка);
- проверка знаний правил, норм по охране труда, правил технической эксплуатации.

Стажировку проходит ремонтный, оперативный, оперативно-ремонтный персонал и оперативные руководители перед первичной проверкой знаний при поступлении на работу, а также при назначении на новую должность или при переводе на другое рабочее место. Стажировка проводится под руководством опытного обучающего работника. Стажировка осуществляется по программам, разработанным для каждой должности и рабочего места и утвержденным руководителем организации. Продолжительность стажировки составляет 2–14 смен.

В процессе стажировки работнику необходимо:

- усвоить Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок и другие нормативно-технические документы, их практическое применение на рабочем месте;
- изучить схемы, инструкции по эксплуатации и инструкции по охране труда, знание которых обязательно для работы в данной должности (профессии);
- отработать четкое ориентирование на своем рабочем месте;
- приобрести необходимые практические навыки в выполнении производственных операций;
- изучить приемы и условия безаварийной, безопасной и экономичной эксплуатации обслуживаемого оборудования.

Проверка знаний Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок, должностных и эксплуатационных инструкций разделяется на:

- первичную – у работников, впервые поступивших на работу, связанную с обслуживанием энергоустановок, или при перерыве в проверке знаний более 3 лет;
- периодическую – очередная и внеочередная. Очередная проверка знаний проводится не реже 1 раза в три года. Внеочередная проверка знаний проводится

независимо от срока проведения предыдущей проверки в случае введения в действие новых или переработанных норм и правил, при установке нового оборудования, реконструкции или изменении главных технологических схем, при назначении или переводе на другую работу, если новые обязанности требуют дополнительного знания норм и правил, при нарушении работниками требований нормативных актов по охране труда и т. д.

Проверка знаний в организации осуществляется по графикам, утвержденным ответственным за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок. Перед очередной или внеочередной проверкой знаний работников проводится предэкзаменационная подготовка (семинары, лекции, консультации и учебные мероприятия).

Подготовка специалистов и рабочих для строящихся, расширяемых, реконструируемых или модернизируемых тепловых энергоустановок осуществляется с опережением сроков ввода этих объектов.

При определении продолжительности подготовки учитываются теоретическое и практическое обучение (в том числе стажировка на действующих энергоустановках), участие в пусконаладочных работах вводимого оборудования объекта.

Дублирование при эксплуатации тепловых энергоустановок проходит оперативный, оперативно-ремонтный персонал и оперативные руководители после первичной проверки знаний Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок, длительного (более 6 месяцев) перерыва в работе или в других случаях по усмотрению руководителя организации или структурного подразделения. Допуск к дублированию оформляется распорядительным документом руководителя организации или структурного подразделения. В этом документе указываются срок дублирования и лицо, ответственное за подготовку дублера. За все действия дублера на рабочем месте отвечает в равной мере как основной работник, так и дублер.

Дублирование осуществляется по программам, утверждаемым руководителем организации. Минимальная продолжительность дублирования после проверки знаний составляет:

- для оперативных руководителей, старших операторов, операторов и обходчиков тепловых энергоустановок, персонала по обслуживанию автоматики и средств измерений – не менее 12 рабочих смен;
- для других профессий – от 2 до 12 рабочих смен.

Продолжительность дублирования конкретного работника в зависимости от его уровня профессиональной подготовки, стажа и опыта работы устанавливается ответственным за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок организации или ее соответствующего подразделения.

Допуск к самостоятельной работе на тепловых энергоустановках вновь принятые работники или имевшие перерыв в работе более 6 месяцев получают после прохождения необходимых инструктажей по безопасности труда, обучения (стажировки) и проверки знаний, дублирования в объеме требований Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок.

Лица, допускаемые к работам, связанным с опасными, вредными и неблагоприятными производственными факторами, не должны иметь медицинских противопоказаний для выполнения этих работ.

Инструктажи по безопасности труда. Целью инструктажей является доведение до персонала особенностей эксплуатации тепловых энергоустановок и требований правил безопасности. Периодичность инструктажей устанавливает руководитель организации или ответственный за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок, но не реже одного раза в шесть месяцев.

Вводный инструктаж проводится инженером по охране труда или другим назначенным лицом по программе, утвержденной руководителем предприятия.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится руководителем структурного подразделения по программе, утвержденной руководителем предприятия.

Контрольные противоаварийные и противопожарные тренировки. Работники из числа оперативного, оперативно-ремонтного персонала, оперативных руководителей проверяются в контрольной противоаварийной тренировке один раз в три месяца.

На вновь введенных в эксплуатацию тепловых энергоустановках, а также на действующих тепловых энергоустановках по решению руководителя организации число тренировок может быть увеличено в зависимости от уровня профессиональной подготовки и навыков персонала по предупреждению и ликвидации аварийных ситуаций.

Противоаварийные тренировки по специально разработанным программам и в соответствии с тематическим планом проводятся на рабочих местах или на тренажерах. Допускается использование других технических средств.

Результаты проведения противоаварийных и противопожарных тренировок заносятся в специальный журнал. По окончании тренировки ее руководителем проводится разбор действий с оценкой общих результатов тренировки и индивидуальных действий ее участников. Результаты отражаются в журнале с общей оценкой тренировки, замечаниями по действиям ее участников.

Если действия большинства участников тренировки получили неудовлетворительную оценку, то тренировка по этой же теме проводится вторично в течение следующих 10 дней, при этом повторная тренировка как плановая не учитывается.

Специальная подготовка. Специальная подготовка персонала, эксплуатирующего тепловые энергоустановки, проводится с отрывом от выполнения основных функций не реже одного раза в месяц.

В объем специальной подготовки входит:

- выполнение учебных противоаварийных и противопожарных тренировок, имитационных упражнений и других операций, приближенных к производственным;
- изучение изменений, внесенных в схемы обслуживаемого оборудования;
- ознакомление с текущими распорядительными документами по вопросам аварийности и травматизма;
- проработка обзоров несчастных случаев и технологических нарушений, происшедших на тепловых энергоустановках;
- проведение инструктажей по вопросам соблюдения правил технической эксплуатации, эксплуатационных и должностных инструкций;
- разбор отклонений технологических процессов, пусков и остановок оборудования.

Программу специальной подготовки и порядок ее реализации определяет руководитель организации.

Повышение квалификации работников, эксплуатирующих тепловые энергоустановки, должно носить непрерывный характер и складываться из различных форм профессионального образования. Ответственность за организацию повышения квалификации персонала возлагается на руководителя организации.

Краткосрочное обучение работников, эксплуатирующих тепловые энергоустановки, руководителей структурного подразделения и специалистов проводится по мере необходимости, но не реже одного раза в год перед очередной проверкой знаний по месту работы или в образовательных учреждениях. Продолжительность обучения составляет до трех недель.

Длительное периодическое обучение руководящих работников, эксплуатирующих тепловые энергоустановки, руководителей структурных подразделений и специалистов проводится не реже одного раза в пять лет в образовательных учреждениях.

Повышение квалификации работников проводится по программам обучения, согласованным в органах государственного энергетического надзора.

Вопросы к разделу 2:

1. Перечислите основные задачи ответственного за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок организации?

2. Какие знания и навыки должен приобрести работник в процессе стажировки?
3. От чего зависит продолжительность дублирования конкретного работника?
4. Какие виды инструктажей по безопасности труда существуют?
5. С какой периодичностью проводятся контрольные противоаварийные тренировки?
6. Что входит в объем специальной подготовки эксплуатационного персонала?

РАЗДЕЛ 3. ПУСК И НАЛАДКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК

3.1. Назначение, организация и задачи авторского надзора

Между окончанием проектирования ВТУ и их плановой эксплуатацией лежит важный и ответственный период сооружения объекта и проведения пусконаладочных работ. Хотя все основные производственные и технико-экономические показатели работы ВТУ закладываются при разработке проектно-конструкторской документации, практическая их реализация обусловлена качеством изготовления и монтажа оборудования, сооружения ВТУ и проведения пусконаладочных работ. Этим же определяются длительность освоения установки и срок ввода ее в плановую эксплуатацию с проектными показателями. Поэтому при проектировании опытно-промышленных или головных образцов ВТУ крупных и сложных объектов, включающих новые технические решения, технологические процессы или конструкционные материалы, работа проектной организации выпуском проектно-конструкторской документации не заканчивается. В этих случаях проектная организация осуществляет авторский надзор и оказывает техническую помощь при изготовлении нетипового оборудования, строительстве и освоении спроектированной ею ВТУ.

Основной задачей авторского надзора является обеспечение высокого качества строительства ВТУ (в соответствии с разработанной проектно-конструкторской документацией) для быстрого ввода ее в плановую эксплуатацию с заложенными в проекте техническими и технико-экономическими показателями.

Одновременно в процессе авторского надзора осуществляется обратная связь производства с проектной организацией – полученный опыт и конкретные данные по реализации и работе новых технических решений в ВТУ используются при дальнейшем проектировании аналогичных объектов. В группу авторского надзора проектной организацией выделяют опытных специалистов и обычно включают непосредственных проектировщиков данной ВТУ. Авторский надзор проводится с начала строительства ВТУ до ввода ее в плановую эксплуатацию.

Представители проектной организации, осуществляющие авторский надзор, обязаны наблюдать за использованием требуемых проектом видов, марок и сортов конструкционных и строительных материалов, технологией производства строительных и монтажных работ, соответствием всех элементов ВТУ утвержденному проекту и нормативным документам. Они должны также разрешать на месте технические вопросы по проектной документации, возникающие при сооружении объекта, оперативно вносить при необходимости согласованные изменения в чертеж, устранять допущенные в проекте ошибки и недостатки.

Представители авторского надзора сообщают руководству заказчика и строительного-монтажных организаций об имеющихся отступлениях от проекта и некачественно выполненных работах с целью их устранения. Они имеют право требовать от строительного-монтажных организаций проведения в своем присутствии выборочных промеров, отбора проб материалов и проведения их анализа, холодного опробования устанавливаемых механизмов, предъявления актов на скрытые работы и испытания при строительстве узлов, частей и элементов установки. При отступлении от проекта, низком качестве выполнения работ, используемых материалов, конструкций или оборудования, а также при нарушении технологической последовательности производства работ представители авторского надзора должны требовать приостановки строительных и монтажных работ для устранения дефектов. Их указания о прекращении работ, выполняемых с нарушением требований проекта и нормативных документов, и устранении допущенных дефектов являются обязательными для организаций заказчика и подрядчика.

Хорошо организованный и качественно проведенный авторский надзор при сооружении ВТУ является необходимым условием быстрого ввода объекта в плановую эксплуатацию с достижением номинальной производительности и проектных технико-экономических показателей. Если установка невелика, имеет типовую конструкцию с апробированными техническими решениями, а строительные-монтажные организации обладают достаточным опытом аналогичного строительства, то авторский надзор не проводится.

3.2. Пуск и наладка высокотемпературных установок

После завершения строительства проводятся пусконаладочные работы на ВТУ, т. е. осуществляется доведение ее до рабочего состояния с достижением проектных показателей. Пуск и наладку ВТУ, как правило, осуществляют специализированные организации. В пусконаладочных работах в ряде случаев принимают участие представители проектной организации для оказания при необходимости помощи, а главное – для учета опыта работы нового оборудования при последующем проектировании. Перед началом пусконаладочных работ производится обучение эксплуатационного персонала обслуживанию ВТУ и управлению режимом работы; в процессе проведения пусконаладочных работ персонал практически осваивает новую для себя установку.

В пусконаладочных работах можно выделить пусковые и наладочные работы, хотя они переплетены друг с другом и четкую границу между ними провести трудно.

Задачей пуска является практическая проверка и обеспечение работоспособности всех частей и элементов ВТУ после ее сооружения, а также уточнение инструкций по пуску и остановке оборудования. Пуск осуществляется в соответствии с временными инструкциями по эксплуатации ВТУ,

включающими инструкции по пуску и остановке, которые были составлены проектной организацией и входят в проектную документацию, но нуждаются в уточнении и конкретизации. Инструкции по пуску оборудования включают подготовительные операции, последовательность и режим сушки и разогрева обмуровки установки, последовательность пуска каждого элемента и объекта в целом.

Подготовительные операции (рис. 1) направлены на доведение установки до состояния пригодности к пуску и началу наладочных работ. Они включают устранение мелких видимых дефектов, проверку законченности всех работ и исправности всех узлов, частей и элементов установки.

Производятся проверка и обеспечение газоплотности теплоиспользующих элементов, трубопроводных коммуникаций и газоходов, исправности тягодутьевых средств и насосов, сохранности тепловой изоляции, наличия требуемых температурных швов в огнеупорной футеровке, правильности выполнения устройств всех видов для компенсации температурных удлинений, исправности датчиков, импульсных коммуникаций и вторичных приборов системы КИП и т. д.

Выполняются опробование и обкатка механизмов (транспортеров, питателей, внутренних механизмов, приводов крышек рабочих окон и т. п.) и тягодутьевых средств, насосов – сначала в холостом состоянии, а потом с постепенно увеличивающейся нагрузкой. При этом устраняются обнаруженные дефекты и неполадки в работе оборудования.

Проверяется соблюдение на установке требований техники безопасности: наличие и правильность выполнения заземления электрооборудования, исправность предохранительных клапанов, блокировок и защитных устройств, состояние противопожарных мероприятий и др.



Рисунок 1 – Последовательность пусковых работ на ВТУ

Конечным этапом подготовительных операций является сборка пусковой схемы объекта, т. е. установка арматуры и гарнитуры в пусковое положение, заполнение водой охлаждаемых конструкций и теплоиспользующих элементов, отключение автоматического управления режимом работы и перевод на ручное управление, установка дополнительных КИП на период пуска. Участок газопровода до горелок, ранее наполненный атмосферным воздухом, заполняется горючим газом с продувкой газозвушной смеси на свечу. Продувка завершается при содержании в пробе кислорода менее 0,5–1 %. Теперь установка готова к горячему пуску. Но во избежание растрескивания огнеупоров от чрезмерных термических напряжений сушка и разогрев обмуровки до рабочей температуры производятся постепенно по специальному графику.

В горячем состоянии производится опробование работы горелок, внутривспечного оборудования, а также систем КИП, испарительного охлаждения частей рабочей камеры и системы теплоиспользования – сначала без подачи технологического материала, а затем и при осуществлении технологического процесса с постепенно увеличивающейся до номинальной производительности.

Пусковые работы в большинстве случаев требуют значительного времени и трудозатрат и сопровождаются частыми перерывами в работе установки для устранения различных недоделок, дефектов и неполадок. По завершении пусковых работ ВТУ готова к собственно наладочным работам. Целью наладки работы установки является обеспечение такого режима, при котором достигаются проектные показатели, безопасность обслуживания и длительный срок службы ее узлов и элементов. Перед проведением наладочных работ надо четко сформулировать конкретные задачи испытания установки и отдельных ее элементов. Наладочные работы проводятся путем выполнения серии наладочных испытаний ВТУ на разных режимах (рис. 2), в результате чего устанавливаются оптимальные параметры осуществляемых в установке процессов. При этом должны быть установлены критерий оптимальности и факторы оптимизации. В процессе испытаний используются как щитовые КИП, так и дополнительно устанавливаемые временные измерительные приборы I и II классов точности.

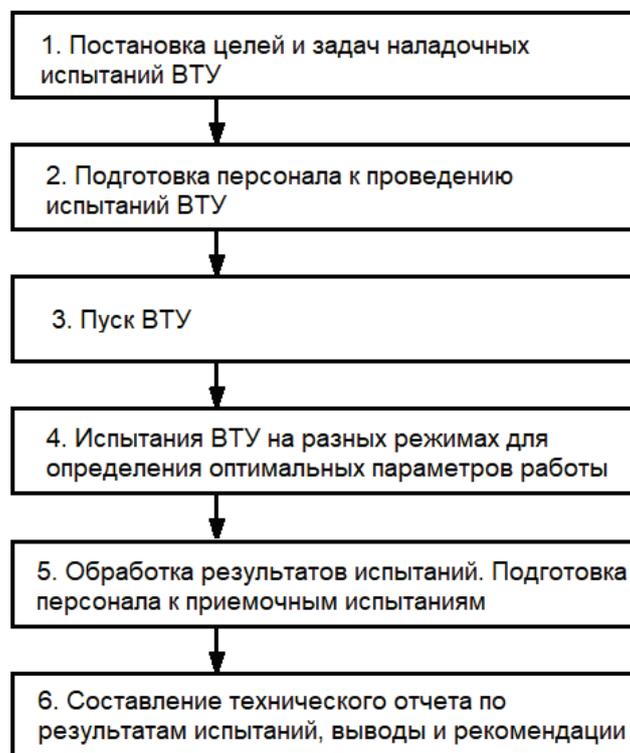


Рисунок 2 – Последовательность наладочных работ ВТУ

Производится наладка работы горелочных устройств с оптимизацией горения топлива. В зависимости от технологических требований устанавливаются оптимальный коэффициент расхода окислителя, оптимальная длина, жесткость, настильность факела или его светимость и др. Осуществляется наладка аэродинамического режима работы установки с определением оптимального распределения давления газов в рабочей камере и по дымовому тракту. Налаживается температурный режим работы установки с оптимизацией уровня и распределения температуры в рабочей камере. Устанавливаются

оптимальные параметры работы теплоиспользующих устройств. Например, экспериментальным путем определяется температура газов на входе в радиационный рекуператор, обеспечивающая заданный подогрев воздуха при надежной эксплуатации, и т. д.

Полученные при наладке оптимальные режимы находят отражение в инструкциях по эксплуатации, которые утверждаются главным инженером предприятия и служат для эксплуатационного персонала директивным документом при обслуживании ВТУ. Если достигаемые при наладке установки показатели хуже проектных, то на основе результатов наладочных работ разрабатываются и осуществляются меры по совершенствованию установки и технологического процесса, вносятся изменения в конструкцию отдельных элементов. Таким образом, пусконаладочные работы представляют собой последовательное и комплексное опробование работы отдельных элементов и всей установки в целом после завершения ее монтажа для выявления и устранения дефектов в конструкции отдельных узлов, проверки надежности и безопасности работы, достижения проектных показателей работы, а также установления рабочих режимов эксплуатации установки. Одной из задач пусконаладочных работ является подготовка ВТУ к приемочным испытаниям.

3.3. Приемочные испытания ВТУ

Пусконаладочные работы заканчиваются подготовкой к приемочным испытаниям, по результатам которых заказчиком производится приемка ВТУ от строительно-монтажных организаций, выполняющих ее сооружение. Приемочные испытания дают итоговую оценку качеству проектных решений, сооружения и наладки объекта.

Задачей приемочных испытаний является определение соответствия фактических параметров работы установки и ее технико-экономических показателей проектным, качества технологической продукции требованиям ГОСТ и техническим условиям (ТУ). В зависимости от ведомственной принадлежности, масштабов и значимости ВТУ определяется вид приемочных испытаний – ведомственные, межведомственные или государственные.

Методика проведения приемочных испытаний регламентирована и требует использования приборов большей точности (I класса), чем при наладочных испытаниях. Щитовые приборы должны пройти госповерку и иметь таблицы поправок. Приемочные испытания проводятся в соответствии с инструкциями по пуску и эксплуатации установки, которые были представлены в проектной документации и уточнены в процессе пусконаладочных работ. Приемочная комиссия сначала знакомится с проектом и производит изучение объекта в холодном состоянии. Она устанавливает соответствие основных размеров элементов установки рабочей документации, определяет качество строительно-монтажных работ. Особенно тщательно проверяется качество выполнения огнеупорной кладки и тепловой изоляции. Контролируется

отсутствие перекосов в каркасе и других металлоконструкциях. Проверяется соответствие мощности приводов и механизмов установки проектным, плавность пуска и хода движущихся механизмов, шиберов и заслонок, их работа на ходу. При проведении этой работы фиксируются качество выполнения конструкции установки и ее соответствие проекту, имеющиеся недоделки и дефекты. Затем проводятся собственно приемочные испытания ВТУ в горячем состоянии при осуществлении технологического процесса на номинальном режиме. При этом производится измерение всех необходимых величин для расчета материального и теплового балансов установки и отдельных ее элементов, получения сведений о качестве технологического продукта, тепловой, энергетической, технологической эффективности и технико-экономических показателях работы установки. Проверяется устойчивость работы ВТУ на номинальном режиме при воздействии обычных возмущений по различным каналам. Оцениваются адекватность показаний КИП и эффективность работы системы автоматического управления процессом.

На рисунке 3 представлена последовательность приемочных испытаний ВТУ.



Рисунок 3 – Общая последовательность проведения приемочных испытаний

По результатам испытаний приемочная комиссия, в состав которой входят представители заказчика, проектной, строительной-монтажной и других заинтересованных организаций, составляет протокол и акт приемки ВТУ с заключением, выводами и рекомендациями. В этом акте дается оценка качества вводимого в эксплуатацию объекта, отмечаются недостатки и недоделки, устанавливаются сроки их ликвидации, формулируются рекомендации (например, принять объект в плановую эксплуатацию или устранить дефекты и провести повторные испытания). Результаты приемочных испытаний рассматриваются на техническом совете заказчика с участием заинтересованных организаций, а акт приемки утверждается руководством вышестоящей организации, назначившей приемочную комиссию.

Вопросы к разделу 3:

1. Что является основной задачей авторского надзора?
2. В каких случаях проектная организация осуществляет авторский надзор?
3. Какие подготовительные операции производятся перед пуском ВТУ?
4. Опишите последовательность пусковых работ ВТУ.
5. Что является основной задачей приемочных испытаний ВТУ?
6. Каким образом фиксируются результаты проведения приемочных испытаний ВТУ?

РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

4.1. Задачи и организация эксплуатации высокотемпературных установок

После завершения приемочных испытаний начинается период плановой эксплуатации ВТУ. Задачей эксплуатации является обеспечение безопасной и надежной работы ВТУ при поддержании в течение возможно более длительного времени первоначальных проектных, производственных и технико-экономических показателей, а также стремление к их повышению. Поскольку установки работают непрерывно в течение достаточно длительного времени, организуется круглосуточная их эксплуатация в три или четыре смены.

Прием-сдача смены в горячих непрерывно работающих цехах с ВТУ (например, с доменными, сталеплавильными или нагревательными промышленными печами) производится на ходу во время работы оборудования. Начальники сдающей и принимающей смен подписывают сменный рапорт. В течение смены эксплуатационный персонал ведет журнал эксплуатации установки, куда систематически (обычно ежечасно) записывает основные показатели ее работы, действия персонала на установке, фиксирует проведенные мероприятия. Технические показатели работы непрерывно записываются КИП на щите установки. Эти данные позволяют получить характеристики работы установки и судить о качестве эксплуатации оборудования в каждую смену.

Работа эксплуатационного персонала регламентируется должностными, технологическими и аварийными инструкциями. Должностные инструкции определяют права и обязанности обслуживающего персонала, их ответственность, административную и оперативную подчиненность. Технологические инструкции по эксплуатации оборудования определяют последовательность пуска и останова, режимы эксплуатации основного и вспомогательного оборудования ВТУ. Эти инструкции составлены в соответствии с правилами технической эксплуатации (ПТЭ) данной ВТУ. Для каждого вида оборудования и установок разработаны типовые ПТЭ, на основе которых составляются ПТЭ конкретной установки и ее оборудования.

Аварийные инструкции устанавливают действия обслуживающего персонала в случае той или иной аварии и направлены на локализацию последствий аварии, обеспечение максимальной сохранности оборудования.

Инструкции по технике безопасности при обслуживании оборудования указывают систему приемов и предохранительных мер для обеспечения безопасности и охраны здоровья обслуживающего персонала в процессе эксплуатации ВТУ.

Эффективная эксплуатация ВТУ возможна лишь при соблюдении следующих трех условий:

1) строгое соответствие теплотехнических режимов и методов эксплуатации требованиям технологических инструкций;

2) систематическое уточнение и совершенствование инструкций по эксплуатации в соответствии с непрерывно изменяющимися производственными условиями (рост производительности установок и цехов, изменение состава и свойств сырья, топлива и др.) на основе уточняющихся оптимальных режимов эксплуатации;

3) систематическое улучшение конструкции и методов эксплуатации установки и ее элементов с целью повышения производительности, снижения себестоимости продукции, уменьшения удельного расхода топлива и огнеупоров, облегчения условий эксплуатации, продления межремонтной кампании.

При эксплуатации ВТУ стремятся обеспечить максимальную длительность межремонтной рабочей кампании с заданной производительностью и вырабатывать технологический продукт стандартного качества без ухудшений во времени технико-экономических показателей работы. Однако в процессе эксплуатации происходит постепенное физическое старение установки и ухудшение показателей ее работы. При этом первостепенное значение имеет служба огнеупорной футеровки, износ которой является главной причиной снижения производительности, повышения расхода топлива, а в конечном итоге – потери работоспособности, останова и вывода ВТУ в ремонт.

Эксплуатация включает межремонтное техническое обслуживание установки во время ее работы и ремонты.

4.2. Межремонтное обслуживание высокотемпературных установок

Межремонтное обслуживание включает технический уход, осмотр и надзор и направлено на предупреждение преждевременного износа узлов и элементов ВТУ и обеспечение нормальной ее работы. В межремонтное обслуживание входит оперативный контроль работы установки для поддержания заданных аэродинамического, теплового, температурного и технологического режимов, надзор за выполнением ПТЭ и исправностью оборудования. Производится выявление причин отклонения параметров работы от заданных и их устранение.

Обслуживание установки в процессе эксплуатации означает поддержание ее работоспособности и обеспечение нормального протекания технологического процесса, для чего осуществляется уход персонала за всеми элементами и системами ВТУ, контроль и поддержание их исправности.

Нормальная работа системы отопления установки означает устойчивую работу ее горелок с заданными параметрами и распределением нагрузки между ними, поддержание требуемого соотношения между расходами топлива и окислителя на каждую горелку. Контроль работы системы отопления ведется на

основе показаний щитовых приборов (общие расходы топлива и окислителя на установку, содержание кислорода или CO_2 в отходящих газах) и расходов топлива и окислителя на каждую горелку, например, по их давлению перед горелками по месту. Следует контролировать отсутствие утечек топлива и окислителя в трактах до горелочных устройств. Требуется поддерживать заданное распределение тепловой мощности по длине (или зонам) рабочей камеры установки, используя показания щитовых приборов расхода топлива, температуры по участкам рабочей камеры.

При эксплуатации установки поддерживается требуемое распределение давления газов в рабочей камере и по дымовому тракту. Давление газов контролируется по щитовым приборам и регулируется с помощью соответствующих регулирующих органов тягодутьевых средств. Эксплуатационный персонал должен контролировать газоплотность обмуровки, систематически поддерживать ее и обеспечивать тем самым минимум присосов холодного воздуха в дымовой тракт и выбивание продуктов горения топлива в помещение цеха.

Обслуживающий персонал следит за нормальной работой системы испарительного охлаждения установки отсутствием перегрева отдельных охлаждаемых элементов конструкции, толчков и чрезмерных вибраций в контурах циркуляции воды, контролирует параметры поступающей питательной воды и вырабатываемого пара, работу автоматов питания и непрерывной продувки, систематически осуществляет периодическую продувку из нижних точек циркуляционных контуров. Производятся контроль работы и обслуживание элементов системы теплоиспользования. По перепадам температуры и давления газов на каждом элементе и их изменению во времени судят о характере и стабильности работы элементов. Если наблюдается уменьшение перепада температуры газов на элементе при одновременном увеличении его аэродинамического сопротивления с газовой стороны, то это свидетельствует о загрязнении уносом поверхности нагрева, и требуется произвести ее очистку.

В процессе эксплуатации осуществляются также систематический осмотр оборудования установки и основных ее узлов и технический уход за ними – чистка и смазка трущихся частей, регулировка работы, ликвидация мелких неисправностей и т. п.

Всякое отклонение параметров работы установки от заданных значений должно побуждать эксплуатационный персонал к немедленному выяснению и устранению причин нарушения нормальной ее работы. Особое внимание должно быть уделено контролю за состоянием огнеупорной футеровки, поскольку в высокотемпературных установках она наиболее быстро изнашивается, что может стать причиной аварии с тяжелыми последствиями.

4.3. Задачи и особенности эксплуатационных испытаний высокотемпературных установок

Эксплуатационные испытания проводятся с целью улучшения технологических, производственных и технико-экономических показателей действующей ВТУ. При этом ставятся задачи рационализации (оптимизации) режимов эксплуатации оборудования и уточнения режимной карты (инструкций) ведения процесса, повышения надежности работы установки, разработки рекомендаций по совершенствованию конструкции отдельных узлов, частей и элементов установки. Необходимость в эксплуатационных испытаниях обуславливается изменением конкретных условий работы ВТУ. Например, в процессе достаточно длительной эксплуатации установки изменяется состав сырья или топлива, меняется при ремонтах конструкция отдельных элементов, могут быть использованы новые огнеупорные материалы, повышаются температура в рабочей камере и интенсивность процесса и т. д. Одновременно может меняться ассортимент технологической продукции, растут требования к ее качеству, улучшается организация технологического процесса (ускоряется загрузка технологических материалов, анализ промежуточных проб технологической продукции, уменьшаются холостые простои установки по организационным причинам и т. п.). С течением времени вводятся новые КИП и методы контроля процесса, производится автоматизация режима работы установки.

Эксплуатационные испытания имеют некоторые особенности. Такие испытания обычно проводятся на рабочих режимах установки и имеют пассивный характер, так как на промышленном объекте не представляется возможным целенаправленно варьировать параметры работы в достаточно широком диапазоне. Могут подвергнуться испытаниям как отдельные элементы, так и вся установка в целом в зависимости от поставленных конкретных задач. При этом полные балансовые испытания установки с составлением материального, теплового и энергетического балансов могут сочетаться со специальными углубленными испытаниями отдельных ее элементов.

Выявление даже отдельных простых частных зависимостей параметров между собой в производственных условиях затруднено неконтролируемыми одновременными колебаниями многих параметров процесса, что затемняет искомую зависимость. Для уменьшения влияния случайных колебаний режимных параметров необходимо произвести значительное количество параллельных измерений (до нескольких десятков) и использовать при обработке полученных данных методы статистического анализа.

Применение регрессионного, дисперсионного и корреляционного анализов для обработки результатов промышленного эксперимента позволяет отбраковать грубые ошибки, оценить точность эксперимента, установить корреляцию параметров процесса и получить их аппроксимационные зависимости.

В процессе испытаний ВТУ должна находиться в стационарном состоянии, чтобы избежать получения искаженных данных и зависимостей. Поэтому при подготовке непрерывно работающей установки на стационарном режиме к испытаниям недопустимы колебания режима ее работы – производительности и тепловой мощности более $\pm 5\%$ в течение 24 ч до и во время испытания.

Продолжительность испытания установки на каждом режиме должна обеспечить получение представительных данных для достаточно точного сведения материального и теплового балансов в условиях работы промышленного объекта. Рекомендуемая длительность испытаний крупных производственных ВТУ при непрерывной их работе в стационарном режиме составляет от одной смены до суток, при циклической их работе – не менее одного цикла.

Последовательность подготовки и проведения эксплуатационных испытаний ВТУ представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Последовательность эксплуатационных испытаний ВТУ

Эксплуатационные испытания позволяют уточнить целесообразные режимы и улучшить показатели работы действующей установки. Такие испытания должны проводиться регулярно по мере накопления изменений самой установки или условий ее эксплуатации.

4.4. Эксплуатационные характеристики высокотемпературных установок и пути их совершенствования

Для оценки эксплуатационных характеристик высокотемпературных установок используется система различных показателей, которые можно разбить на шесть групп:

1. Технологические показатели, которые включают абсолютную производительность установки, а также характеристики качества технологической продукции в сопоставлении с требованиями ГОСТ и ТУ и стабильность качества во времени.
2. Теплотехнические показатели, характеризуют теплотехническое совершенство установки и содержат ее тепловую мощность, удельную тепловую нагрузку единицы объема рабочей камеры или удельное тепловыделение, удельную производительность на единицу объема рабочей камеры и единицу площади ее пода. Сюда можно отнести также удельный расход условного топлива, тепловой и энергетический КПД технологического процесса и установки.
3. Техничко-экономические показатели: удельные расходы сырья, огнеупоров и воды на единицу технологической продукции, производительность труда, себестоимость технологической продукции, рентабельность производства, фондоотдача, прибыль.
4. Показатели надежности для ремонтируемого объекта, каковым является ВТУ, включают следующие три характеристики: безотказность, долговечность и ремонтпригодность.
5. Показатели безопасности работы установки и комфортности условий труда обслуживающего персонала. Сюда относятся пожаро- и взрывобезопасность установки, соблюдение в ее конструкции всей совокупности требований техники безопасности, а также степень приближения условий труда персонала к комфортным. Последние зависят от степени физической тяжести труда (легкая или тяжелая работа), времени года, температуры поверхности окружающих человека предметов и в среднем лежат в следующих пределах: температура 12–22 °С, относительная влажность 40–60 %, подвижность (скорость воздуха) 0,2–1,5 м/с.

Условия труда определяются также уровнем шума и вибраций, содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны в сопоставлении с установленными для них уровнями и ПДК.

6. Экологические показатели отражают степень негативного воздействия высокотемпературной установки на биосферу и включают массовую долю материальных отходов производства и вредных выбросов, потребление свежей воды и массу производственных стоков, абсолютное значение вредных выбросов (твердых, жидких и газообразных) в сопоставлении с

ПДВ, а также мощность тепловыделения в окружающую среду, особенно в водоемы.

Совершенствование ВТУ ведется в направлениях экономии топливно-энергетических, материальных ресурсов и затрат живого труда на единицу технологической продукции, эффективной защиты окружающей среды от производственных загрязнений.

Совершенствование действующих ВТУ по указанным направлениям производится путем проведения ряда мероприятий: интенсификации технологического процесса и повышения производительности, усиления тепловой изоляции рабочей камеры и других элементов, усиления регенерации тепловых потерь, развития внешнего теплоиспользования для выработки дополнительной технологической или энергетической продукции, более глубокого обезвреживания или улавливания вредных выбросов.

Однако радикально, наиболее полно и эффективно указанные направления совершенствования установок реализуются при разработке и использовании новых безотходных теплотехнологических систем.

Вопросы к разделу 4:

1. Что является основной задачей эксплуатации ВТУ?
2. При каких условиях возможна эффективная эксплуатация ВТУ?
3. Какие мероприятия включает в себя межремонтное обслуживание ВТУ?
4. Перечислите основные особенности эксплуатационных испытаний ВТУ.
5. Опишите последовательность подготовки и проведения эксплуатационных испытаний ВТУ.
6. Какие показатели используются для оценки эксплуатационных характеристик ВТУ?

РАЗДЕЛ 5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ РЕМОНТОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

5.1. Классификация и общая характеристика ремонтов высокотемпературных установок

В процессе эксплуатации происходит постепенный физический износ и моральное старение ВТУ. В результате механических, физико-химических, тепловых и других воздействий происходит физический износ ограждений, механизмов, арматуры и других узлов и частей конструкции. В результате износа ухудшаются эксплуатационные характеристики оборудования – уменьшается производительность и растет расход топлива, снижаются технико-экономические показатели работы, теряется работоспособность и появляется опасность аварии. Физический износ установки вызывает необходимость проведения ее ремонта.

Ремонтом называют частичную замену или восстановление отдельных изношенных узлов, частей и элементов ВТУ для продолжения нормального производственного процесса.

Проведение ремонта обходится значительно дешевле строительства нового аналогичного объекта взамен существующего при потере им работоспособности в результате постепенного износа. Поэтому на современном этапе развития техники ремонт ВТУ является нормальной неотъемлемой составляющей функционирования производства.

Систематические ремонты обеспечивают продление срока работы ВТУ, повышают средние за время эксплуатации производственные и технико-экономические показатели работы.

Моральное старение выражается в снижении экономичности действующего физически годного оборудования вследствие появления новых более эффективных и экономичных технических решений. Это обстоятельство делает экономически необходимым проведение периодической реконструкции ВТУ на новой, более совершенной технической основе.

Ремонты классифицируются по объему ремонтных работ. Дело в том, что принцип равностойкости конструктивных частей и элементов ВТУ не может быть практически выдержан в полной мере. Поэтому одни части оказываются более стойкими и служат дольше, чем другие. Например, в плавильных печах стены и свод рабочей камеры изнашиваются значительно быстрее, чем каркас установки. Установку же приходится выводить в ремонт, как только наступит износ любой ее части, если он приводит к потере работоспособности, может вызвать аварию или угрожает безопасности обслуживающего персонала.

Текущие ремонты являются основным видом ремонта и обеспечивают бесперебойную работу ВТУ на протяжении рабочей кампании и всего

ремонтного цикла. В свою очередь они делятся на четыре категории: T_1 , T_2 , T_3 и T_4 с последовательно нарастающим объемом ремонтных работ, причем T_1 – горячий ремонт, T_2 – малый (МХР), T_3 – средний (СХР) и T_4 – большой (БХР) холодные ремонты.

Вообще же реальные организация, содержание и объем каждого вида ремонта существенно зависят от особенностей конструкции и эксплуатации установки, сложившейся в данной отрасли и даже на данном предприятии практики ремонтов. Например, ремонты электросталеплавильных печей, кислородных конвертеров и ряда других установок делятся только на горячие, холодные (без градации) и капитальные.

Для каждой ВТУ на предприятии регламентируются вполне определенные перечень и объем работ по каждой категории ремонта.

Горячий ремонт имеет относительно наименьший объем работ и проводится на установке в горячем состоянии – без отключения топлива. Но при этом уменьшают его расход и снижают температуру в рабочей камере до 0,6–0,8 номинальной. При горячем ремонте производится замена отдельных изношенных сменяемых узлов и деталей, например, форсунок, элементов арматуры и гарнитуры, датчика или прибора КИП и т. п. Но главным содержанием горячего ремонта часто становится восстановление небольших участков ограждений или частей установки. Например, к горячему ремонту относится заделка небольшого участка «прогоревшего» свода, ремонт чугуно-выпускной летки или смена прогоревшего холодильника доменной печи, ошлакование и подварка стен и днища кислородного конвертера.

В процессе эксплуатации горячий ремонт установки производится обычно через небольшие промежутки времени – от нескольких суток до нескольких недель; некоторые горячие ремонты проводятся чаще или реже. Частота их зависит от стойкости отдельных наиболее быстроизнашиваемых узлов и частей установки. Продолжительность горячего ремонта обычно не превышает длительности одной–трех рабочих смен, и только в отдельных случаях для горячего ремонта требуется несколько суток. Например, горячий ремонт доменной печи производится обычно 2 раза в год с остановкой процесса на сутки, в течение которых устраняют неплотности в кожухе печи, заменяют отдельные узлы и детали, выполняют мелкий ремонт оборудования.

В проведении горячих ремонтов принимает участие эксплуатационный, дежурный и ремонтный персонал цеха.

Текущие холодные ремонты ВТУ имеют существенно больший объем и производятся при отключенном топливе и охлажденной обмуровке. Считается, что холодный ремонт начинается от момента прекращения подачи топлива и выработки технологической продукции и завершается разогревом установки и достижением футеровкой рабочей температуры, началом подачи технологического материала в рабочую камеру.

Периодичность текущих ремонтов (длительность межремонтной кампании) определяется нормами срока службы наименее стойких конструктивных частей и элементов установки и колеблется в широких пределах – от 30–35 сут. для кислородных конвертеров до нескольких лет для нагревательных и обжиговых печей.

Капитальный ремонт производится, когда дальнейшая эксплуатация ВТУ становится нецелесообразной из-за ухудшения технико-экономических показателей. Капитальные ремонты из всех видов планового ремонта являются наибольшими по объему.

В свою очередь они в зависимости от объема ремонтных работ подразделяются на I, II и III разряды, причем I – самый значительный и может включать частичную модернизацию оборудования.

При выполнении восстановительного капитального ремонта производят полную разборку установки, замену и восстановление всех ее изношенных узлов и элементов. Например, при капитальном ремонте металлургических печей производят замену всей огнеупорной футеровки, ремонт металлоконструкций, трубопроводов, охлаждаемой арматуры, механизмов и т. п. Однако чаще всего во время капитального ремонта не ограничиваются восстановлением физически изношенной установки с прежними ее характеристиками. В настоящее время средства труда устаревают морально задолго до их физического износа. Высокие темпы научно-технического прогресса, с одной стороны, обуславливают ускорение морального старения средств труда, сокращение экономически эффективного периода их эксплуатации, а с другой – обеспечивают постоянный рост стойкости средств труда, уменьшение физического износа и увеличение срока их межремонтной эксплуатации. Поэтому при капитальном ремонте восстановление ВТУ совмещают с ее модернизацией, что позволяет предотвратить моральное старение и увеличить экономически эффективный период ее эксплуатации.

При модернизации установки увеличивают ее производительность, используют более экономичные конструкции узлов и элементов, более эффективные строительные и конструкционные материалы, в большей степени механизуют процессы и автоматизируют управление тепловым и технологическим режимами. Этим определяется большая доля затрат (40–60 %) на капитальный ремонт средств, расходуемых на все виды ремонтов.

Периодичность капитального ремонта определяется нормами срока службы основных частей установки, ремонт которых наиболее трудоемок. Например, у мартеновской печи это под и металлоконструкции, у доменной печи – кладка шахты. Обычная периодичность капитальных ремонтов ВТУ – от 2–3 до 6–10 лет, но имеются отклонения от указанных сроков.

Продолжительность капитальных ремонтов установок наиболее велика и колеблется от 5 до 35 сут. при восстановительных ремонтах и возрастает до 30–70 сут. при одновременном проведении реконструкции.

5.2. Организация и проведение ремонтов

На предприятиях страны функционирует система планово-предупредительных ремонтов (ППР), которая представляет собой совокупность организационно-технических мероприятий по надзору, уходу, обслуживанию и всем видам ремонтов, осуществляемых в соответствующем плановом порядке.

Система ППР была впервые разработана в СССР и затем использована также многими странами. Целью этой системы является поддержание оборудования в работоспособном состоянии и обеспечение бесперебойной, надежной и экономичной работы установки.

Сущность системы ППР состоит в предотвращении прогрессирующего износа оборудования путем проведения профилактических осмотра, ухода и ремонтов, объем и периодичность которых определяются условиями и особенностями работы узлов, частей и элементов ВТУ. Согласно системе ППР производится межремонтное обслуживание, текущие и капитальные ремонты, модернизация и реконструкция ВТУ.

Система ППР предприятия включает: создание схемы управления ремонтной службой; организацию ремонтных баз различных видов оборудования (механического, электротехнического, теплотехнического и т. д.), обеспечение их кадрами требуемой квалификации; реализацию системы паспортизации оборудования, технического учета и анализа его текущего состояния; планирование межремонтного обслуживания и всех видов ремонта, подготовку соответствующей технической документации, включая установление периодичности и трудоемкости ремонтов; организацию снабжения запасными частями и сменяемым оборудованием, конструкционными и строительными материалами, требуемыми для ремонта; разработку нормативов эксплуатационного запаса ремонтных материалов для техобслуживания и оплаты стоимости ремонтов; обеспечение выполнения требований техники безопасности во время ремонтов и технического обслуживания установки; внедрение передовых методов и технологии ремонта и межремонтного обслуживания, направленных на продление межремонтной кампании оборудования, ускорение ремонтов и повышение их качества, экономию материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов; проведение межремонтного обслуживания и ремонтов; организацию контроля качества ремонтов и технического надзора за эксплуатацией оборудования; составление технической документации по ремонту и межремонтному обслуживанию.

План проведения ремонтов ВТУ предприятия составляется в соответствии с имеющейся системой ППР на один год и увязывается с планом основного производства, а план капитальных ремонтов – еще и с финансовым планом. Эти планы ежемесячно уточняются и корректируются.

При составлении плана ремонтов учитывают необходимость равномерного рассредоточения ремонтов во времени с учетом их объемов для рационального использования ремонтного персонала и концентрации усилий на объекте, а

также согласования с планами работ по внедрению новой техники, модернизации оборудования, механизации и автоматизации технологических процессов, с планом мероприятий предприятия.

Согласно утвержденному плану осуществляется чередование различных видов ремонта внутри ремонтного цикла. Годовой план ППР является основным документом, на базе которого определяется потребность в ремонтном персонале, запасных частях, комплектующих изделиях, конструкционных и строительных материалах. Этот план служит для составления годовой сметы затрат на ремонт оборудования. Численность и квалификация ремонтного персонала, трудоемкость и стоимость отдельных видов ремонта того или иного оборудования регламентируются нормативными материалами.

Вне системы ППР остаются некоторые непланируемые виды ремонта, к которым относятся аварийный и восстановительный ремонты. Аварийный ремонт вызван аварией, т. е. внезапной потерей работоспособности установки. Внеплановый ремонт установки, аналогичный аварийному, может иметь место в случае выявления дефекта, который может при продолжении эксплуатации привести к аварии. Восстановительный ремонт производится после повреждения установки в результате стихийных бедствий (землетрясение, пожар, наводнение) или длительно находившейся в бездействии.

Любой холодный ремонт ВТУ включает пять последовательных стадий:

1. *Подготовка ремонта.* Она начинается задолго до ремонта установки и включает составление ведомости дефектов, установление объема ремонта и конкретных работ, определение потребности в материалах, вспомогательном оборудовании и механизмах, в численности и квалификации рабочей силы, перечень мероприятий по обеспечению правил техники безопасности в период ремонта.

Подготовка капитального ремонта начинается за 6 – 24 мес. до ремонта и за 1–3 месяца до текущего холодного ремонта. Запрещается вывод установки в ремонт до полной его подготовки.

Ведомость дефектов оборудования готовит персонал цеха, установка которого выводится в ремонт. В ней приводится перечень и характер повреждений и объем необходимого ремонта по каждому элементу конструкции с указанием ремонтируемых, подлежащих ревизии и замене узлов и деталей. По ведомости дефектов устанавливаются объем и смета ремонта установки, распределение работ между исполнителями. При составлении ведомостей дефектов перед началом ремонта значительна степень неопределенности планируемых работ, поскольку трудно установить на работающей установке действительную степень износа огнеупорной футеровки, отдельных механизмов и элементов. Поэтому в течение первых суток после останова ВТУ к первоначальной составляется дополнительная ведомость дефектов.

При подготовке установки к любому холодному ремонту составляется проект организации работ (ПОР), а при подготовке к капитальному – еще и

проект производства работ, составляются заявки, размещаются и реализуются заказы, доставляются на ремонтную площадку требуемые материалы и конструкции. Вся техническая документация должна быть подготовлена заранее, например, ПОР текущего ремонта установок – за 1 мес. до начала ремонта, ПОР капитального ремонта I разряда – за 2 мес.

Проект организации работ регламентирует организацию и технологию производства ремонта и составляется по типовому ПОР с учетом ведомости дефектов оборудования конкретной огнетехнической установки.

2. *Прекращение работы и остановка ВТУ.* При этом выгружаются (при необходимости) из рабочей камеры технологические продукты и материалы и прекращается подача топлива – вторая стадия холодного ремонта. С этого момента начинается охлаждение футеровки рабочей камеры, дымового тракта и элементов, подлежащих ремонту. Охлаждение ведется форсированно с естественным и принудительным прососом атмосферного воздуха, а также путем подачи воды на раскаленную сменяемую футеровку. Температура ее снижается до уровня, позволяющего ремонтному персоналу проводить работу внутри установки.

3. *Демонтаж изношенной обмуровки.* Часто он проводится с помощью различных механизмов, например, главный свод мартеновской печи рушат с помощью мостового крана, используют для этого завалочную машину и др. Бывший в употреблении огнеупорный кирпич сортируют для повторного использования на неошлакованный целый и битый кирпич, а ошлакованный кирпич зачастую идет в отвал.

Одной из мер удешевления ремонтов является вторичное использование огнеупоров, поскольку до 50–90 % стоимости холодных ремонтов ВТУ приходится на огнеупоры.

Производятся также демонтаж и уборка частей каркаса, арматуры и других подлежащих замене узлов установки.

4. *Проведение собственно ремонтных работ.* Восстанавливаются элементы каркаса, арматуры, гарнитуры и т. п. При необходимости восстановление совмещается с реконструкцией отдельных узлов установки.

Выполняется новая кладка стен, свода и других конструктивных частей ограждения, восстанавливаются тепловая изоляция и герметизирующая обшивка ограждений рабочей камеры и других элементов установки. Производятся ревизия и ремонт датчиков и вторичных приборов КИП установки.

В процессе выполнения работ посменно ведется паспорт ремонта, в котором отражаются перечень и объем выполненных работ, время проведения ремонта, исполнители конкретных работ и при приеме установки из ремонта дается оценка их качества. В паспорте ремонта закрашиваются отремонтированные части ограждений на схеме установки, заполняются соответствующие таблицы расхода огнеупоров и др.

После охлаждения установки круглосуточно интенсивно ведется ее ремонт с максимальной его механизацией. Все усилия мобилизуются на ускорение и повышение качества ремонта. Ускорение ремонта достигается за счет хорошей подготовки и организации работ, использования поузлового метода ремонта, при котором изношенный узел заменяется исправным. Например, свод электросталеплавильной печи, днище кислородного конвертера заменяются целиком заранее подготовленными.

5. Сушка и разогрев обмуровки, вывод установки до рабочего состояния по специальному графику завершают ремонт.

При осуществлении ППР предусмотрен определенный порядок сдачи ВТУ в ремонт и приема ее из ремонта. Передача установки в ремонт осуществляется в соответствии с месячным (квартальным) планом ремонта, составленным на основе годового плана ремонтов. Ответственность за подготовку объекта для передачи в ремонт возложена на начальника цеха.

Акт приема установки из ремонта с оценкой его качества оформляется по истечении испытательного срока работы, продолжительность которого составляет для текущего ремонта 8–16, для капитального – 24 ч. В акте о приеме отремонтированного оборудования указываются сроки проведения ремонта, содержание ремонтных работ, плановая и фактическая стоимость ремонта. Акт подписывается комиссией, назначенной главным инженером и включающей ответственных представителей ремонтного и эксплуатационного подразделений, и утверждается главным технологом или другим главным специалистом предприятия.

Вопросы к разделу 5:

1. Как ремонты классифицируются по объему ремонтных работ?
2. Чем определяется периодичность капитального ремонта?
3. В чем заключается сущность системы планово-предупредительных ремонтов (ППР)?
4. В чем отличие аварийного ремонта от внепланового?
5. Какие стадии включает в себя холодный ремонт ВТУ?
6. Что включает в себя ведомость дефектов оборудования?

РАЗДЕЛ 6. ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК

Высокотемпературные установки являются одним из основных источников всевозможных промышленных отходов и выбросов, загрязняющих биосферу или окружающую среду. К ним относятся различные твердые и расплавленные отходы (шлаки, зола, пиритные огарки, технологическая пыль, шламы), сточные воды (растворы солей, кислот, щелочей и органических веществ и др.), газообразные выбросы продуктов горения топлив и химических превращений технологических материалов, вентиляционные выбросы цехов и т.п.

К энергетическим загрязнениям относят неблагоприятные энергетические воздействия на окружающую среду – локальное повышение температуры водоемов вследствие тепловых выбросов с горячими продуктами технологического процесса (технологические продукты и отходы, уходящие из установки газы, нагретая вода и т. п.), вибрация и шум (в том числе ультра- и инфразвуки), различные излучения – электромагнитные, ионизирующие, инфракрасные, ультрафиолетовые и др.

Существенное значение для решения экологических проблем имеет обеспечение чистоты воздушной среды. Между тем производственные газовые выбросы часто включают вредные для человека компоненты, например, оксид углерода CO, оксиды серы SO_x, оксиды азота NO_x, аммиак NH₃, сероуглерод CS₂, сероводород H₂S, фтористый водород HF, канцерогенные вещества, которые имеют разную степень токсичности. В результате специальных исследований установлены допустимые концентрации в воздухе тех или иных вредных веществ, которые при ежедневном в течение длительного времени воздействии не вызывают каких-либо патологических изменений в организме или заболеваний человека.

Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий СН 245–71 для населенных мест, а ГОСТ 12.1.005–76 «Воздух рабочей зоны» – для рабочей зоны производственных помещений установлены **предельно допустимые концентрации** (ПДК) более 800 вредных веществ в воздухе. Эти нормы постоянно дополняются, обновляются и совершенствуются.

Концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест не должны превышать ПДК максимально разовых и среднесуточных, а в производственных помещениях – ПДК рабочей зоны.

При проектировании ВТУ разрабатываются мероприятия, направленные на предотвращение и уменьшение загрязнения воздушного бассейна, причем наибольший эффект достигается при сочетании технологических мероприятий с очисткой газов перед их выбросом. К технологическим мероприятиям, которые наиболее рациональны, относятся совершенствование технологического

процесса в направлении как уменьшения образования вредных веществ, так и герметизации установок. Например, для сокращения образования оксидов азота может быть осуществлено ступенчатое сжигание топлива при умеренных температурах, для снижения содержания оксида углерода в продуктах горения следует применить кинетические горелки с предварительной подготовкой горючей смеси и установить достаточный коэффициент расхода окислителя (при этом, однако, могут образовываться оксиды азота), для значительного сокращения пылеуноса из рабочей камеры установки следует сгранулировать высокодисперсную шихту перед ее термической обработкой.

Однако полностью исключить образование вредных веществ при осуществлении высокотемпературного технологического процесса вряд ли возможно, а в ряде случаев особенности и требования технологии не позволяют организовать процесс так, чтобы уменьшить образование вредных веществ. Поэтому возникает задача их улавливания и переработки в полезный продукт или обезвреживания. Действительно, за пределами рабочей камеры может быть организовано дожигание CO, H₂S, CS₂ и других вредных горючих компонентов, окисление паров органических соединений и т. п.

Имеется огромное многообразие устройств для очистки газов от пыли, которые согласно ГОСТ 12.2.043–80 «Оборудование пылеулавливающее. Классификация» подразделяются по использованию воды на сухие и мокрые пылеуловители, а по принципу отделения частиц пыли из несущего их газового потока на гравитационные, инерционные, фильтрационные и электрические. В каждой из этих групп имеется большое разнообразие конструкций аппаратов газоочистки. В ряде конструкций используется комбинация сепарирующих сил, например, гравитации и инерции.

Гравитационные пылеуловители представляют собой пылеосадительные камеры, в которых выпадение частиц из газового потока происходит под действием силы тяжести. Они применяются для улавливания наиболее крупных частиц, относительно громоздки (нужны малые скорости газов), но имеют малое аэродинамическое сопротивление и сравнительно дешевы.

Инерционные пылеуловители используют для отделения частиц уноса силы инерции, возникающие при изменении направления или скорости запыленного потока газов. К ним относятся различные жалюзийные, циклонные и ротационные аппараты. Инерционные пылеуловители более компактны, чем гравитационные, обеспечивают более высокую степень улавливания, но имеют существенно большее аэродинамическое сопротивление. Особенно хорошую очистку газов обеспечивают батарейные или мультициклоны, которые составлены из группы циклонов малого диаметра, включенных параллельно по газам. Инерционные ротационные аппараты имеют принудительно вращающийся ротор, закручивающий пылегазовую смесь, из которой под действием центробежной силы и кориолисова ускорения выделяются частицы.

В фильтрационных пылеуловителях очистка газа от пыли происходит за счет зацепления частиц за преграду при прососе газов через слой пористого

материала – ткани, зернистой засыпки и др. Такие аппараты обеспечивают тонкую очистку газов, но постепенно забиваются пылью, аэродинамическое их сопротивление растёт, и необходима периодическая регенерация фильтрующего слоя – стряхивание, продувка сжатым воздухом и др.

В электрофильтрах частицы, несомые газовым потоком, заряжаются в электростатическом поле и движутся к заземленному пылесадительному электроду. Накапливающиеся на пылесадительных электродах частицы периодически при прекращении движения газов стряхиваются механически или смываются (могут и непрерывно) водой. Электрофильтры обеспечивают наиболее высокую степень улавливания пыли (не менее 0,99) при умеренных эксплуатационных затратах и потреблении энергии, но стоимость их наиболее высокая.

Аппараты мокрой очистки действуют по принципу осаждения частиц на поверхности капель или пленки воды. Мокрые пылеуловители имеют высокую эффективность и ряд преимуществ по сравнению с сухими: протекает коагуляция мелких частиц, повышена степень улавливания пыли, особенно для хорошо смачиваемых частиц, возможна очистка горячих и взрывоопасных газов. Но мокрые пылеуловители требуют организации системы подвода и отвода воды, удаления шлама; имеет место вынос капель в атмосферу, образование отложений и наростов на стенках аппаратов и отводящих газоходов, ускоренная коррозия металлических частей и усложнение эксплуатации. К мокрым пылеуловителям относят различные скрубберы – форсуночные и центробежные безнасадочные, с орошаемой насадкой и трубы Вентури, ударно-инерционные и барботажно-пенные аппараты, ротационные вентиляторные пылеуловители и др.

Выбор аппаратов газоочистки, надежность и эффективность их работы в значительной мере определяются дисперсным составом и физико-химическими свойствами пыли, параметрами транспортирующих ее газов. Целесообразно предусмотреть последовательное включение аппаратов сначала грубой очистки (отстойная камера, скруббер), а затем тонкой (мультициклоны, рукавные фильтры, пенные аппараты, электрофильтры).

ВТУ потребляют значительное количество технической и химически очищенной воды, которая используется как теплоноситель (охлаждающий части и узлы конструкции), как среда (поглощающая и транспортирующая механические и растворимые примеси), как растворитель реагентов и др. При этом вода в общем случае не только нагревается, но и загрязняется механическими примесями (окалина, песок, шламы, масла и т. п.) и различными химическими веществами (соли, кислоты, щелочи, органические и особо токсичные соединения) и превращается в так называемую сточную воду. Большая часть таких вод не может быть сброшена в природные водоемы (реки, ручьи, водохранилища, пруды, искусственные каналы) без нанесения им ущерба, поскольку содержание в них вредных веществ вызовет превышение установленных для водоемов ПДК. Расчет допустимого состава сточных вод,

сбрасываемых в водоемы, производится с учетом «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». Правила устанавливают нормы на ПДК веществ и требования к составу и свойствам воды в водоемах по ряду параметров.

Нормами установлены ПДК около 600 вредных веществ в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, а также более 200 вредных веществ в водоемах рыбохозяйственного назначения, причем не допускается присутствие некоторых веществ в воде (например, сульфидов и хрома в рыбохозяйственных водоемах).

Для очистки сточных вод применяется множество методов, которые могут быть разделены на пять классов. Выбор того или иного метода обезвреживания сточных вод или их сочетания определяется фазовым и химическим составами примесей, их физическими свойствами и концентрацией.

При наличии твердых механических примесей и масел (смола, нефтепродуктов и др.) используются *механические методы* их отделения.

Процеживание – первичная стадия отделения наиболее крупных кусковых (до 25 мм) и волокнистых примесей – осуществляется пропусканием сточной воды через решетки и волокнуловители с непрерывной механизированной их очисткой. Отстаивание сточной воды (пропускание через отстойники) и особенно центробежное отделение в гидроциклонах твердых примесей и масел протекают более интенсивно и позволяют уловить более тонкие частицы, а фильтрование через слой зернистого материала (гравий, песок, керамзит, доломит), металлические сетки или ткани дает тонкую очистку от наиболее мелких частиц. Для эффективного отделения масел используется обработка сточной воды реагентами (H_2SO_4 , NaCl, Na_2CO_3 и др.) с целью коагуляции мелких частиц, а также применяются методы флотационной обработки. Вместе с тем механические методы не позволяют очистить сточные воды от растворенных веществ.

В биологических методах используются микроорганизмы, культивируемые при определенных условиях на активном иле во взвешенном состоянии, которые разлагают органические соединения с образованием CO_2 , H_2O , N_2 или переводят ядовитые соединения металлов в безвредные используя кислород, растворенный в воде. Однако эти методы могут быть применены лишь при малых концентрациях растворенных примесей (не более 1–5 г/л), требуют строгого поддержания определенных параметров процесса, не универсальны и несовместимы со многими губительными для микробов веществами, присутствующими в сточных водах.

Физико-химические методы позволяют эффективно извлекать из сточной воды многие соединения, но при относительно небольшой их концентрации, сорбционные и ионообменные аппараты требуют систематической регенерации, возникает проблема ликвидации высококонцентрированных водных растворов вредных веществ.

Химические методы применяются для нейтрализации находящихся в сточной воде свободных кислот или щелочей, окисления примесей солей тяжелых металлов, цианидов и др. хлорной известью, перманганатом калия, хлором, а в последнее время озоном для перевода растворенных веществ в нерастворимые соединения. Но часто бывает трудно подобрать химические реагенты для обработки сточной воды, содержащей комплекс разнородных соединений.

При высоких концентрациях органических и минеральных веществ различного характера целесообразно применять *термические методы* обезвреживания сточных вод, протекающих при повышенных температурах. Сточные воды, содержащие только минеральные примеси без органических веществ, могут подвергаться выпарке, а затем сушке в различных аппаратах, поскольку органика может без изменения перейти в твердый остаток. Жидкофазное окисление позволяет ликвидировать только органические примеси, которые за счет растворенного в воде кислорода превращаются в безвредные соединения (CO_2 , H_2O , N_2), а минеральные вещества остаются в сточной воде. Процесс жидкофазного окисления протекает при умеренной температуре (150–375 °С) и высоком давлении (2–28 МПа), требует сложной и дорогой аппаратуры и мало используется.

При огневом обезвреживании сточная вода распыляется и вводится в высокотемпературные продукты горения топлива (не менее 1000 °С); это наиболее универсальный и широко распространенный метод. Действительно, после испарения капель токсичные органические соединения при высокой температуре разлагаются и полностью окисляются кислородом газовой атмосферы, а минеральные вещества образуют твердые или расплавленные частицы, которые сепарируются из газового потока. Этот метод зарекомендовал себя эффективным и надежным с санитарно-гигиенической точки зрения. Особенно удачны циклонные реакторы различных модификаций, в которых организуется скоростной высокотемпературный вихрь продуктов горения топлива и в одной камере совмещается горение топлива, обезвреживание сточной воды и сепарация расплавленных минеральных частиц.

При проектировании системы очистки сточных вод обычно выбирается комбинация нескольких методов в зависимости от характера, состава и концентрации загрязняющих примесей.

Для обезвреживания твердых производственных отходов имеется ограниченное число методов. Инертные твердые отходы используются при проведении планировочных работ, малотоксичные – подвергаются захоронению на организованных свалках, горючие – сжигаются с использованием теплоты и захоронением твердых очаговых остатков. Однако для этого требуются значительные затраты и не исключен определенный ущерб природе. Значительно целесообразней переработка твердых и расплавленных отходов ОУ в различные технологические продукты. Такие процессы, например, производства шлаковаты, керамзита, гравия и других строительных материалов,

достаточно хорошо освоены в промышленности, окупают себя и решают одновременно две проблемы: защиты окружающей среды от этих выбросов и рационального использования сырьевых минеральных ресурсов.

Вообще наилучшим способом использования извлеченных продуктов после обезвреживания отходов производства является вовлечение их в естественный биологический цикл или применение в технологических процессах в качестве исходного технологического материала, хуже – путем захоронения на свалках.

Вопросы к разделу 6:

1. Какие мероприятия, направленные на предотвращение и уменьшение загрязнения воздушного бассейна, предусматриваются на стадии проектирования ВТУ?
2. За счет чего осуществляется отделение частиц уноса в инерционных пылеуловителях?
3. Перечислите методы, применяемые для очистки сточных вод ВТУ.
4. В каких случаях возможно применение биологических методов очистки сточных вод ВТУ?
5. Каким образом производится отделение масел в сточных водах ВТУ?
6. Какие методы обезвреживания твердых производственных отходов существуют?

РАЗДЕЛ 7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА

При эксплуатации печей имеется большое количество производственных операций, при выполнении которых необходимы специальные меры по охране труда и технике безопасности. Невыполнение этих мер и несоблюдение технологического режима может вредно отразиться на здоровье обслуживающего персонала и быть причиной производственных аварий.

Токсические свойства химических веществ. Степень и характер нарушения нормальной деятельности организма человека зависят от концентрации вредного вещества, продолжительности его воздействия и токсических свойств. По характеру возникновения и течения различают острые и хронические формы отравлений. Острая форма отравлений развивается в результате кратковременного действия на организм больших концентраций вредных веществ, хроническая – в результате длительного воздействия относительно малых концентраций ядовитых веществ.

Для предотвращения отравлений и профессиональных заболеваний содержание вредных веществ в воздухе производственных помещений не должно превышать определенной величины.

Желтый фосфор – конечный продукт электротермической переработки фосфоритов. Он является сильнодействующим ядом; смертельная его доза для человека составляет 0,05–0,06 г. Попадая в желудок, яд вызывает острое отравление, которое сопровождается рвотой (выброшенное содержимое желудка светится в темноте), резкими болями, кровавым поносом, головокружением, ослаблением пульса. Предельно допустимая концентрация желтого фосфора в воздухе производственных помещений составляет 0,03 мг/м³.

При длительной работе в атмосфере, содержащей пары фосфора, концентрация которых выше нормы, и в случае нарушения правил личной гигиены и техники безопасности наступает хроническое отравление, обуславливаемое способностью фосфора накапливаться в организме человека. Постепенное проникновение желтого фосфора в ткани человеческого организма и накапливание его происходит главным образом и наиболее легко через кариозные зубы и вызывает некроз – омертвление костей, особенно челюстей. Желтый фосфор и фосфорный шлак на воздухе самовоспламеняются. Расплавленный горячий фосфор и фосфорный шлак (струя, капли) при попадании на кожные покровы вызывают сильные, медленно заживающие ожоги. Вначале на теле появляется резко очерченное красное пятно, а с течением времени на этом месте возникает язва.

В случаях отравления фосфором рекомендуется через каждые 10 мин в течение часа пострадавшему давать рвотное средство – 0,2 г медного купороса (в виде водного раствора) на один прием. При попадании фосфора или фосфорного шлака на тело, необходимо немедленно потушить горячий фосфор (лечь в ванну с водой), накинуть на пламя смоченную водой ткань, залить

горячий фосфор струей воды из-под крана и освободить пострадавшего от горячей одежды. Удалить все видимые частицы фосфора и фосфорного шлама, наложить на ожог повязку, обильно смоченную 2 %-ным раствором медного купороса или 3–5 %-ным раствором перманганата калия. Вазелин и мази применять нельзя, так как они способствуют более глубокому проникновению фосфора в организм.

На рабочем месте всегда должны иметься защитные очки – светофильтры, респираторы, рукавицы. Каждый рабочий должен иметь при себе и пользоваться при необходимости индивидуальным средством защиты: противогазом марки БКФ.

В цехе должен находиться аварийный запас спецодежды, спецобуви, противогазов марки БКФ, а также шланговые противогазы марок ПШ-1, ПШ-2 и кислородные приборы КИП-5. В цехе должна быть аптечка для оказания первой помощи с набором медикаментов, установленным врачом здравпункта, и инструкция по их применению.

Работать можно только в спецодежде установленного образца (суконный костюм, резиновые сапоги, резиновый фартук, кожаные рукавицы и защитные очки). Костюм необходимо наглухо застегнуть на молнию, брюки следует заправлять в сапоги с напуском на голенище, чтобы исключить возможность попадания фосфора на тело. В цех нельзя допускать посторонних лиц.

На рабочих местах должны быть ванны с чистой теплой водой, души, растворы медного купороса и перманганата калия, фосфор и фосфорные шламы должны быть всегда покрыты слоем воды.

В целях сохранения здоровья работающих, необходимо строго соблюдать следующие правила личной гигиены: полоскать полость рта в течение рабочей смены 1–2 %-ным раствором перманганата калия; не употреблять пищу в помещении цеха; не трогать пищевые продукты невымытыми руками; не курить в цехе и не брать папиросы невымытыми руками; принимать душ после работы. Необходимо тщательно следить за состоянием зубов. Больные зубы следует лечить или удалить, после работы обязательно чистить зубы щеткой и зубным порошком, обращаться к зубному врачу для осмотра зубов не реже одного раза в месяц. Не менее двух раз в год необходимо проходить общий врачебный осмотр для контроля за состоянием внутренних органов (легких, сердца, печени, почек), на которые фосфор оказывает вредное воздействие.

Оксид ванадия (V), применяемый в печах при производстве катализаторов, является ядовитым веществом и вызывает изменение в кровообращении, органах дыхания, нервной системе, обмене веществ, приводит к воспалительным и аллергическим заболеваниям кожи. Предельно допустимая концентрация его в воздухе производственных помещений – 0,002 мг/м³.

Высоко- и низкотемпературные катализаторы по действию на организм человека аналогичны действию оксида ванадия (V). Предельно допустимая норма в рабочем помещении цеха – 0,5 мг/м³.

Пыль выделяется в большом количестве при работе шахтных печей, обжиговых и агломерационных машин, руднотермических и содовых печей. Помимо загрязнения производственных помещений, оборудования и окружающего воздушного бассейна пыль вредно действует на организм человека. Пыль кварцита вызывает хроническое заболевание легких – силикоз, пыль фосфорита – раздражение слизистых оболочек и изменение в легочной ткани, пыль кокса – кашель, боли в груди, одышку и бронхит. Известковая пыль (особенно пыль негашеной извести) из известеобжиговых печей действует на слизистые оболочки глаз, раздражает кожу и даже причиняет ожоги, при соприкосновении с водой выделяет большое количество теплоты. Содовая пыль из содовых печей при вдыхании раздражает слизистые оболочки носа и вызывает заболевание органов дыхания. Агломерат от агломерационных машин при длительном воздействии может вызвать раздражение слизистых оболочек и изменение легочной ткани.

Допустимые нормы содержания пыли в воздухе производственных помещений (в мг/м³, не более): известковой пыли – 10, фосфоритной пыли – 5, кварцитной пыли – 1, коксовой пыли – 4, содовой пыли – 10, агломерата – 6, смеси коксовой и кварцитной пыли – 2.

Для предотвращения выделения пылесодержащих газов в производственные помещения и в воздушный бассейн печи обжиговые и агломерационные машины должны работать под разрежением и снабжаться пылеулавливающим оборудованием.

Электродная масса – твердое вещество, состоящее из смеси антрацита, кокса, каменноугольного пека и смолы. Пыль электродной массы может вызвать рак кожи и легких; предельно допустимая концентрация в воздухе производственных помещений – 10 мг/м³.

Шлак из фосфорных печей представляет собой огненно-жидкий продукт. Пыль шлака вызывает заболевание верхних дыхательных путей – бронхит и пневмокониоз. Предельно допустимая концентрация – 4 мг/м³.

Газы в производственные помещения могут выделяться из-за нарушения герметичности печей и трубопроводов или нарушения технологического режима.

Сернистый ангидрид SO₂ (диоксид серы), получаемый в печах после обжига колчедана или сжигания серы и сероводорода, вызывает раздражение кожи, слизистых оболочек носа, глаз и верхних дыхательных путей. При содержании в воздухе 60 мг/м³ SO₂ возможно острое отравление, сопровождающееся отеком легких и расширением сердца. Предельно допустимая концентрация сернистого ангидрида в воздухе рабочей зоны не должна превышать 10 мг/м³. Чтобы избежать отравлений при аварийном выделении сернистого ангидрида, необходимо надевать фильтрующие противогазы. Пострадавшего от отравления надо немедленно вынести на свежий воздух, дать ему вдохнуть кислород и ввести внутрь слабый раствор соды.

Серный ангидрид SO_2 (триоксид серы), содержащийся в отходящих газах после обжига колчедана, соединяясь с парами воды, образует туман, состоящий из мелких капелек серной кислоты, затрудняет дыхание. Предельно допустимая концентрация серного ангидрида в воздухе рабочей зоны не должна превышать 1 мг/м^3 .

Сероводород H_2S , поступающий на сжигание в печи, является сильнейшим ядом. При больших концентрациях (выше 1 г/м^3) отравление происходит мгновенно, вызывая судороги и потерю сознания; смерть наступает вследствие паралича дыхательного центра. Предельно допустимая концентрация H_2S в воздухе рабочей зоны – 10 мг/м^3 .

Фосфористый водород PH_3 представляет собой горючий газ с запахом и является сильным ядом, вредно действующим на нервную систему, а также на кровеносные сосуды, органы дыхания, печень, почки и другие органы. Предельно допустимая концентрация в воздухе производственных помещений составляет $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Фосфорный ангидрид или оксид фосфора (V), P_2O_5 является промежуточным продуктом при производстве термической фосфорной кислоты из желтого фосфора или фосфорного шлама. Фосфорный ангидрид находится в газообразной форме и, попадая в дыхательные органы человека, поражает слизистые оболочки человека, вызывая в горле кашель, доходящий до рвоты, удушье, отек легких, слезотечение и резь в глазах. Предельно допустимая концентрация фосфорного ангидрида в воздухе производственных помещений – 1 мг/м^3 .

Для предотвращения попадания фосфорного ангидрида в воздух необходимо следить за своевременным устранением нарушений уплотнений у трубопроводов и аппаратов, а также за наличием необходимого разрежения в системе печи сжигания не менее 5 Па .

Печной газ CO – один из важнейших побочных продуктов работы фосфорной печи – является чрезвычайно сильным отравляющим веществом. Содержание CO в воздухе рабочих помещений может быть не более 30 мг/м^3 . Печной газ содержит в своем составе элементарный фосфор, поэтому обладает способностью самовоспламенения и при определенном соотношении с кислородом исключительно взрывоопасен. Выход CO в помещение цеха возможен после конденсационной установки у уплотнений электрододержателя в крышке печи и уплотнения между электрододержателями и электродами из-за нарушения их герметичности. В этом случае выходящий печной газ настолько разбавлен азотом, что не может немедленно самовоспламениться и представляет большую опасность как отравляющее вещество. Оксид углерода также может выходить из печных бункеров при их недостаточном заполнении. В опасных точках, т. е. над печью, над печными бункерами и газовой станцией необходима установка приборов для наблюдения за составом воздуха в помещении цеха. В указанных точках регулярно автоматически отбираются пробы воздуха и анализируются на содержание в нем CO . При превышении предельной величины

СО подается сигнал тревоги и персонал, работающий в этих местах, должен надеть противогазы.

Газодувки для печного газа должны выполняться в герметичном исполнении и обогреваться паром или горячей водой. Они должны иметь подвод горячей воды для промывки. Отвод конденсата и промывочной воды следует осуществлять через гидрозатвор.

Все установки, в которых печной газ используется в качестве топлива, должны иметь систему автоматической отсечки подачи газа в случаях: остановки дымососа, падения давления газа, падения давления первичного воздуха, погасания пламени, отсутствия электроэнергии. При отсечке печного газа в газопровод должен автоматически подаваться инертный газ.

В электропечах, содержащих печной газ, должна быть обеспечена максимальная герметизация. Все места, не поддающиеся полной герметизации, должны находиться под давлением инертного газа.

Для повышения безопасности работы цеховой персонал должен хорошо знать инструкции по технике безопасности и строго выполнять их требования. Особое внимание нужно обратить на то, чтобы приточная и вытяжная вентиляция всегда находилась в исправном состоянии и включалась в работу при пуске цехов.

Безопасность от химических ожогов. Термическая **фосфорная кислота H_3PO_4** , особенно горячая (как и горячий фосфор), при попадании на тело вызывает сильные ожоги, поскольку является активным влагопоглощающим веществом. При попадании на кожу кислоту следует немедленно смыть, тщательно промыть пораженное место обильной (не сильной) струей воды, смочить пораженный участок 5 %-ным раствором перманганата калия. При поражении кислотой или фосфорным ангидридом глаз необходимо тщательно промыть их водой и немедленно обратиться к врачу. Разлитую на полу цеха кислоту необходимо нейтрализовать известью, известковым молоком или кальцинированной содой и не допускать ее разбрызгивания; облитое место промывается водой и высушивается.

Серная кислота H_2SO_4 , используемая в сульфат соляных печах, при попадании на кожу вызывает сильные, долго незаживающие ожоги. Ожоги на большом участке поверхности кожи очень опасны, иногда смертельны. Попавшую на кожу серную кислоту необходимо смыть сильной струей холодной воды, затем обожженную поверхность тела смочить 3 %-ным содовым раствором и смазать вазелином. При обслуживании насосов, кранов, вентиляей, кислотопроводов необходимо пользоваться предохранительными очками.

Электробезопасность. Электрическая энергия является основным видом энергии в ряде печей, и поэтому необходимо помнить, что электрический ток опасен, если неправильно и неумело им пользоваться. Опасность электрического тока усугубляется тем, что во многих случаях его действие является

неожиданным, он может оказаться не только на токоведущих частях, но и там, где его не должно быть.

Действие тока на организм человека очень сильно и нередко заканчивается смертельным исходом. Вследствие этого обращение с электрическим током требует знания его свойств, правильного применения, особого внимания и осторожности. Поражения электрическим током организма человека существенно отличаются от других видов производственных травм.

Различают электрические удары, когда током поражается весь организм, и электротравмы, результатом которых являются местные внешние поражения тела – ожоги. При электрическом ударе, когда ток проходит через тело человека, в большинстве случаев вначале нарушается дыхание, а сердце продолжает еще работать с нарушением ритма, после чего может последовать остановка деятельности сердца. Степень опасности поражения электрическим ударом определяется силой тока, прошедшего через организм человека, напряжением, продолжительностью нахождения человека под током, путями прохождения тока и другими обстоятельствами.

Применяемый на промышленных предприятиях ток для освещения вызывает смертельное поражение. Безопасным напряжением считается напряжение не выше 36 В, а при работе в особо опасных условиях, когда возможность поражения увеличивается теснотой, в сырых помещениях, внутри резервуаров и аппаратов безопасным напряжением считается 12 В.

Большое значение для исхода электрического удара имеет продолжительность нахождения пострадавшего под действием тока; очень важно быстро освободить пострадавшего от воздействия электрического тока. На исход поражения электрическим током влияет также и путь прохождения его через тело человека. Наиболее опасно прохождение тока через жизненно важные органы – сердце и легкие.

Основными мерами защиты человека от поражения электрическим током являются:

- 1) исправность и правильная эксплуатация электрооборудования пусковых механизмов и токоведущих частей;
- 2) защита от прикосновения к токоведущим частям;
- 3) защита от перехода напряжения на нетоковедущие части оборудования;
- 4) наличие блокировочных и сигнальных устройств, предупредительных плакатов и подписей;
- 5) применение индивидуальных защитных средств.

Электробезопасность требует создания условий недопустимости поражения током за счет ограждения всех токоведущих частей.

Для предотвращения опасных последствий от повреждения изоляции должно быть защитное заземление. Кроме заземления для защиты от перехода

напряжения на нетоковедущие части оборудования применяется защитное отключение. Это устройство автоматически в течение сотых долей секунды выключает электроток при переходе его на неметаллические части оборудования.

Большое значение для профилактики электротравматизма имеет наличие блокировочных и сигнальных устройств. Для профилактики электротравматизма широко применяются предостерегающие, запрещающие, разрешающие и напоминающие плакаты. Площадки, на которых производится наращивание электродов электропечей, загрузка их электродной массой, должны быть деревянными или из других электроизоляционных материалов и не иметь сквозных металлических конструкций. В районе деревянной площадки не должно быть водоразборных кранов и любых других трубопроводов, неисправность которых может привести к заливу площадки и снижению ее электрической прочности. Электроды, электроцит должны быть отделены друг от друга изолирующими перегородками, исключающими возможность прикосновения обслуживающего персонала одновременно к двум электродам. На площадке обслуживания печи должна быть оборудована световая сигнализация «печь включена», «печь отключена».

Работы с электродами на крыше руднотермических печей можно выполнять только при выключенной печи. Для внутреннего осмотра печей и при их ремонте необходимо применять электролампы напряжением менее 12 В.

Взрывобезопасность. Природный газ применяется в качестве топлива и обладает ухудшающим и токсичным свойствами. Допустимая норма содержания природного газа в воздухе рабочих помещений не должна превышать 300 мг/м³ (в пересчете на углерод).

Природный газ, кроме удушающих свойств, взрывоопасен. В связи с возможностью взрыва газозудушной смеси техникой безопасности ставится задача – предельно уменьшить его разрушительные последствия. Для этого в печах и топках, боровах должны предусматриваться искусственно ослабленные места – взрывные клапаны. Поверхность взрывных клапанов не регламентируется, однако минимальная их площадь должна быть не менее 0,05 м². Взрывные клапаны должны срабатывать при повышении рабочего давления не более чем в 1,5–2 раза и располагаться в местах, исключающих поражение обслуживающего персонала и повреждение оборудования.

Печи должны быть оборудованы приборами для контроля за горением (ЗЗУ), за соотношением газ/воздух (первичный), за разрежением (давлением), за температурой в топочном пространстве и газовом тракте, а также за системой автоматической остановки дутьевых вентиляторов и отсечкой топливного газа при аварийной остановке дымососа.

Безопасность от радиоактивного излучения. Радиоактивные изотопы используются для определения уровня фосфорита в шахтно-щелевых печах, для контроля за состоянием футеровки руднотермических печей.

Установка и эксплуатация приборов с источниками радиоактивного излучения должна производиться в соответствии с санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений.

Безопасность от теплового излучения. Большинство выгружаемых из печи целевых продуктов и отходов имеют высокую температуру и являются источниками сильного теплового излучения. Под феррофосфорными летками в перерывах между их выпусками должен быть установлен ковш или предусмотрен аварийный желоб с выпуском феррофосфора в аварийную емкость. Под шлаковыми летками, при периодическом сливе шлака в шлаковозы, в перерывах между сливами необходимо иметь шлаковозы. Во избежание выхода феррофосфора через шлаковые летки, необходимо сливать его через установленные промежутки времени. При появлении вспышек в грануляционной воронке следует провести слив феррофосфора раньше времени. Пребывание вблизи от грануляционной воронки должно быть ограничено только абсолютно необходимым временем.

При сливе феррофосфора и его разливке в опоки, а также при сливе шлака обязательно следует носить защитные очки. Кроме того, рабочий, занятый работой непосредственно на летке, должен быть оснащен защитным шлемом, рукавицами, очками, щитком для лица, кожаным фартуком. При сливе феррофосфора нужно следить, чтобы он ни в коем случае не вступал в контакт с водой. Особенно опасно попадание воды, охлаждающей раму шлаковых леток, в лоток для стекания феррофосфора. Во избежание этого применяются специальные щитки.

Блоки, образующие летку для слива феррофосфора, нужно регулярно проверять на наличие износа и как можно скорее заменять новыми. Между самой глубокой точкой отверстия летки и нижней кромки блока углеродистый материал должен быть качественным на расстоянии не менее 100 мм во избежание попадания фосфора в чашу, куда стекает вода из системы охлаждения печи.

Пожарная безопасность. Помещения, в которых установлены фосфорные электропечи, являются наиболее пожароопасными, поэтому они обеспечиваются средствами пожаротушения (ведра, лопаты, ящики с песком, огнетушители, кошма) в соответствии с действующими «Нормами первичных средств пожаротушения для производственных, складских, общественных и жилых зданий».

Тушение горячего фосфора и фосфорного шлама должно осуществляться песком, пеной, гранулированным шлаком, навесной струей воды (исключая разбрызгивание фосфора и фосфорного шлама, которые способствуют возникновению новых очагов горения). Для облегчения работ по ликвидации возникшего пожара необходим свободный доступ к местам расположения пожарного инвентаря, которым пользуются до приезда пожарной команды.

Поэтому не разрешается загромождать проходы между аппаратами, подходы к лестницам и дверям посторонними предметами.

Ванны для тушения одежды, в случае ее воспламенения, должны быть всегда наполнены водой питьевого качества.

Оградительная техника. Все открытые вращающиеся и движущиеся части механизмов печей, также как зубчатые колеса, шестерни, редукторы, шкивы, ременные, цепные и другие передачи, валы, муфты и прочие устройства, могущие нанести работающему травму, должны быть ограждены, если они расположены на высоте менее 2 м до уровня пола или рабочей площадки.

Для предохранения от падения противовесов, плохо закрепленных подшипников, блоков и других деталей они должны быть тщательно огорожены.

Все находящиеся на высоте детали должны быть хорошо закреплены и за ними установлено постоянное наблюдение.

Запрещается производить ремонт, смазку и чистку оборудования с движущимися частями до их остановки.

В печах химических производств участвуют и получают вредные вещества. Однако причины возникновения опасностей выделения вредностей хорошо известны, а главное, разработаны проверенные на практике способы их предотвращения и ликвидации. Необходимо только знать соответствующие технологические регламенты, инструкции по технике безопасности, аварийные инструкции и точно их соблюдать, тогда работа будет безопасной и безвредной.

Вопросы к разделу 7:

1. Какие меры следует предпринять в случаях отравления фосфором?
2. В каких случаях возможен выход СО в помещения цеха?
3. Какие средства применяются для предотвращения выделения пылесодержащих газов в производственные помещения?
4. Каким образом возможно уменьшить разрушительные последствия взрыва газовойоздушной смеси?
5. Перечислите основные меры защиты человека от поражения электрическим током.
6. С помощью каких средств осуществляется тушение горячего фосфора и фосфорного шлама?

РАЗДЕЛ 8. НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

8.1. Оптимизация теплотехнологических процессов

Оптимизацией называют целенаправленную деятельность для получения наилучшего решения при имеющихся определенных условиях и ресурсах. Термин «оптимальный» введен немецким ученым Готфридом Фридрихом Лейбницем еще в 1680 г., но только в последние десятилетия он прочно вошел в инженерную практику.

Сегодня особенно важно получать те или иные технологические продукты не любой ценой, а при наименьших затратах труда. Поэтому поиск оптимальных решений в любой области производства стал обязательной процедурой.

Оценку эффективности того или иного решения производят по критерию качества или критерию оптимальности решения, к которому предъявляется ряд требований. Критерий оптимальности должен быть единственным, количественным (выражаться одним числом), иметь ясный физический смысл, должен быть эффективным с точки зрения достижения цели и т. д. Эта совокупность требований приводит к тому, что выбор критерия оптимальности для конкретных условий представляет собой достаточно сложную комплексную задачу.

Критерии оптимальности делятся на простые и сложные.

Первые отвечают экстремуму одной величины без каких-либо ограничений и условий, например, минимальной массе конструкции. Вторые требуют достижения экстремума величины, но при соблюдении некоторого ограничения или условия, например, максимальной прочности конструкции при определенной ограниченной ее массе или минимальной себестоимости продукции при обеспечении стандартного качества.

Наиболее общим и полным критерием оптимальности технических решений является экономический, а именно минимум приведенных затрат, т. е.

$$Z = E_n \cdot k + S,$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, 1/год; k – капитальные затраты, руб.; S – издержки производства, руб/год.

Этот критерий охватывает все стороны принимаемого решения, если он рассчитывается с учетом экологических, социальных, стратегических и других аспектов. Однако выразить все эти аспекты количественно удастся далеко не всегда. В этом случае приходится использовать сложный критерий оптимальности, в котором требование минимума приведенных затрат дополняется условиями соблюдения некоторых ограничений или дополнительных требований.

На стадии предпроектной проработки при отсутствии проекта новой теплотехнологической установки рассчитать приведенные затраты не представляется возможным и для принятия основных решений вынуждены переходить от общего к частным критериям оптимальности, вытекающим из требований, предъявляемых к данной установке.

Разработанная установка должна обеспечить заданную производительность и требуемое качество технологического продукта, должна быть относительно недорогой и технологичной, т. е. удобной в изготовлении, ремонте, монтаже и демонтаже элементов, частей, крупных узлов. Вместе с тем она должна в процессе эксплуатации обеспечивать эффективное использование сырья и топливно-энергетических ресурсов, выполнение требований охраны труда и защиты окружающей среды. Перечисленные требования противоречивы, поскольку стремление удовлетворить наиболее полно одному из них ведет к невыполнению других.

Как разрешить возникшее противоречие? Для этого есть два пути.

Первый заключается в проведении предварительного анализа, в результате которого из нескольких показателей k_i ($i=1, 2, \dots, m$), по которым желательно получить наилучшее решение, выделяется главный, явно преобладающий над другими, экстремум которого принимается в качестве критерия оптимальности, а остальные конкурирующие показатели переводятся в разряд ограничений $k_i \leq A_i$, где A_i – наихудшее допустимое значение показателя k_i ; например, если оптимуму соответствует минимум k_i , то A_i – наибольшее допустимое его значение.

При невозможности осуществления такой процедуры выделения критерия оптимальности идут по второму пути. Для всех k_i задаются ограничения $k_i \leq A_i$ и из совокупности частных строится обобщенный критерий оптимальности, например, в виде

$$k = \sum_{i=1}^m \frac{\beta_i \cdot k_i}{A_i},$$

где β_i – весовой коэффициент, оценивающий важность соответствующего i -го показателя, например, методом экспертной оценки, причем

$$\sum_{i=1}^m \beta_i = 1.$$

Обобщенный критерий оптимальности может быть получен и другими методами, например, на основе функции желательности Харрингтона [1]. Любой обобщенный критерий оптимальности должен быть определен количественно, достаточно полно и точно учитывать частные требования и выделять решение, близкое к оптимальному, отвечающему общему экономическому критерию.

Ограничения при создании ВТУ могут иметь разный характер: термодинамический, технический, технологический и социальный. К первым ограничениям относится, например, недостижимость в рабочей камере температуры выше теоретической. Технические ограничения устанавливаются из условий надежности, технической осуществимости, технико-экономической целесообразности, например, эксплуатационные температуры металлических и огнеупорных конструкций не должны превышать допустимых, температура газов в радиационном рекуператоре желательна в пределах 900–1400 °С, температура газов на входе в конвективные теплообменники должна быть ниже температуры липкости уноса, в кипящем слое – ниже температуры размягчения технологического материала и т. д.

Технологические ограничения назначаются по технологическим параметрам процесса – давлению, температуре, концентрации веществ и времени обработки, по качеству технологических материалов и продуктов. Ограничения социального характера вытекают из требований охраны труда и защиты окружающей среды.

При разработке установки и поиске оптимального решения изменяется в определенных пределах ряд величин – управляющих параметров, которые являются параметрами оптимизации. К ним относятся, например, давление, температура и скорость рабочих тел, конструктивные характеристики элементов установки и др. Ряд других величин в данной постановке задачи не могут произвольно меняться, они заданы и относятся к неуправляемым параметрам, например, состав сырья, производительность установки. Они неизменны, но учитываются при оптимизации ВТУ. Эффективный набор параметров оптимизации должен описывать все возможные конструкции и состояния установки, а сами параметры должны быть независимыми друг от друга.

После выбора критерия оптимальности и параметров оптимизации формируется целевая функция, т. е. математическая зависимость k от параметров оптимизации и постоянных:

$$k = F(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n; c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, x_p),$$

где x_i – пространство управляемых параметров, варьируемых в определенных пределах; c_j – пространство неуправляемых параметров, постоянных в данной задаче. На управляемые параметры наложены ограничения, выделяющие область их определения, типа $a_i \leq x_i \leq b_i$ и $x_i \leq b_i$.

Полученное математическое описание оптимизируемого объекта включает целевую функцию, ограничения, накладываемые на параметры оптимизации, и условия однозначности – численные значения неуправляемых параметров. Математическое описание позволяет осуществить поиск оптимального значения параметров разными методами. Если целевая функция дифференцируема, то используются аналитические или численные, в остальных случаях – численные методы. В результате находится (при наличии ограничений) локальный или

условный экстремум $x_i^{\text{опт}} = f_i(c_1, c_2, \dots, c_p)$. Значения $x_i^{\text{опт}}$ (при $k=\min$) удовлетворяют условиям:

$$F(x_1^{\text{опт}}, x_2^{\text{опт}}, \dots, x_n^{\text{опт}}; c_1, c_2, \dots, c_p) \leq F(x_i, c_j),$$

т. е.

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} |x_i^{\text{опт}}| = 0; \quad \frac{\partial^2 F}{\partial x_i^2} |x_i^{\text{опт}}| > 0.$$

Поясним понятия глобального и условного экстремума на примере двухпараметрической целевой функции $k(x_1, x_2)$, для которой надо найти минимум, отвечающий $x_1^{\text{опт}}$. Если ограничения отсутствуют, то оптимальное значение $x_1^{\text{опт}}$ соответствует глобальному экстремуму функции (рис. 5, точка 2); при наложении на переменную x_1 ограничения $x_1 \leq a$ или $x_1 \geq b$ оптимум смещается от глобального к локальному экстремуму (точка 1 или 3). Любое ограничение сужает область определения целевой функции и обычно смещает оптимальные значения варьируемых параметров.

Содержание задачи оптимизации высокотемпературной установки может быть различным. При необходимости улучшения режима работы действующей установки ставится задача оптимизации лишь параметров ее работы в рамках имеющейся конструкции. При конструктивном оформлении новых теплотехнологических процессов и проектной разработке высокотемпературных установок возникает более сложная, но и более плодотворная и творческая задача – одновременная оптимизация конструкции и параметров работы создаваемой установки.

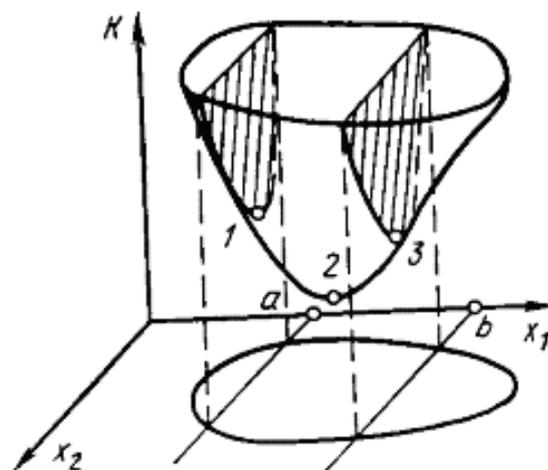


Рисунок 5 – Глобальный и локальный экстремумы двухпараметрической целевой функции

В результате решения этой задачи должны быть определены набор элементов установки, оптимальная форма и размеры рабочей камеры и

теплоиспользующих элементов установки, а также установлено наиболее целесообразное (оптимальное) сочленение их между собой (компоновка), обеспечивающее компактность установки в целом при минимальной длине и оптимальных сечениях транспортных коммуникаций между элементами. Сокращение размеров установки является одним из важных условий снижения капитальных затрат на ее сооружение и потерь теплоты через ограждения.

Решение задачи оптимизации конструкции ВТУ в настоящее время еще не разработано в полной мере, и пока может быть указан только путь ее решения.

При поиске оптимальной конструкции установки должны совместно использоваться три уровня оптимизации путем осуществления единого итерационного процесса (рис. 6):

I уровень – отбор наилучшего принципа действия, руководящей технической идеи, берущейся в основу разработки (оптимизация принципа действия);

II уровень – поиск наилучшей структуры или схемы установки в рамках выбранного принципа действия (структурная оптимизация);

III уровень – определение наилучших значений параметров работы для выбранной структуры установки (параметрическая оптимизация).

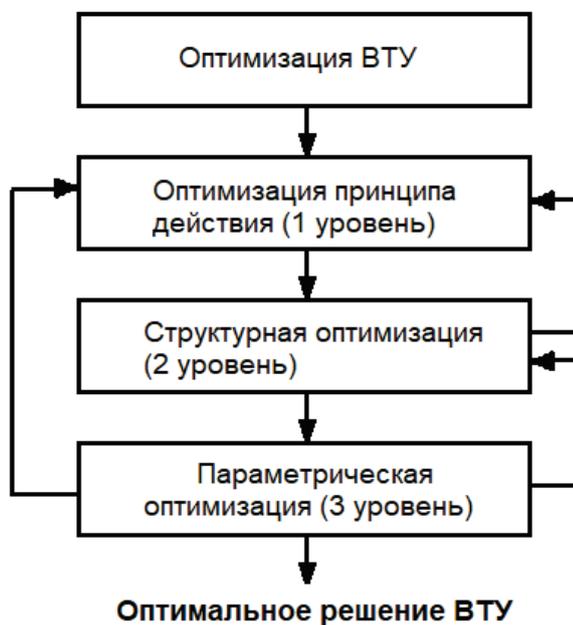


Рисунок 6 – Принципиальная схема трехуровневой оптимизации конструкции ВТУ

Чаще всего отобранный принцип действия воплощается в рабочей камере и в значительной мере определяет тепловую и структурную схемы установки, конструкцию ее элементов. Разные по структуре ВТУ отличаются набором элементов и последовательностью их расположения, конструкцией самих элементов, конструкцией и способом соединения элементов в единую установку.

При структурной оптимизации в первую очередь должны быть рассмотрены варианты различного набора и последовательность расположения элементов, т. е. тепловая и технологическая схемы установки, куда входят элементы: технологические (аппараты предварительной подготовки и обработки технологических материалов, шихты; для дообработки и кондиционирования продуктов, защиты окружающей среды, переработки технологических отходов и др.), транспортные (для передвижения технологических материалов и продуктов вблизи и внутри установки), энергетические (для подвода и преобразования энергоносителей, использования вторичных энергоресурсов и т. п.), теплотехнические (рабочая камера, регенеративные устройства) и вспомогательные (для обеспечения требований охраны труда, связь, управление и сигнализация, КИП и т. д.). Затем следует разработать оптимальную конструкцию каждого элемента и их оптимальное сочетание между собой в единую установку, что составляет задачу конструктивной оптимизации, которая является частью структурной оптимизации.

В процессе поиска наилучшей структуры установки может возникнуть необходимость вернуться к анализу руководящей технической идеи и скорректировать принятый на I уровне оптимизации принцип действия. Последующая параметрическая оптимизация установки взаимосвязана со структурной оптимизацией. Например, определение на этом уровне температуры подогрева воздуха и температуры газов на входе в воздухоподогреватель определяет тип конструкции рекуператора (конвективного или радиационного), количество ступеней и т. п. Таким образом, процесс оптимизации конструкции высокотемпературной теплотехнологической установки имеет итерационный характер, т. е. по мере получения последующих решений возникает необходимость вернуться к предыдущим и скорректировать их (обратные связи).

Общая последовательность оптимизации конструкции установки (рис. 7) складывается из *восьми этапов*.

Первый – формирование исходных данных: цель и содержание технологического процесса, исходные технологические материалы, производительность установки, требования к качеству технологического продукта, охране труда, защите окружающей среды и др.

На *втором* этапе на базе исходных данных производится отбор руководящей технической идеи, закладываемой в установку.

Третий этап посвящен выбору и оптимизации тепловой схемы и параметров работы установки (с последующим их уточнением).

На *четвертом* этапе на основе принятого принципа действия и полученных предварительно оптимальных параметров работы установки (температура подогрева компонентов горения, состав окислителя, температура технологического материала, концентрация реагирующих веществ и т. п.) производится оптимизация конструктивной схемы (КС) рабочей камеры –

устанавливаются ее форма, размеры, тип ограждений. В результате осуществления четвертого этапа должны быть скорректированы некоторые ранее использованные параметры процесса – расход топлива, температура и состав отходящих газов и др.

На *пятом* этапе производится оптимизация ограждений рабочей камеры и уточняется расход топлива и др.

После уточнения параметров работы на *шестом* этапе производится оптимизация КС элементов установки – транспортных, энергетических, технологических, теплотехнических и вспомогательных, в результате чего корректируются температуры дымовых газов и теплоносителей по их трактам.

Седьмой этап – оптимизация трубопроводных коммуникаций и газоходов установки, уточнение энергетических затрат на тягодутьевые средства, распределение давления рабочих тел по их трактам, доли газообмена установки с окружающей средой (выбивание газов, присосы воздуха).

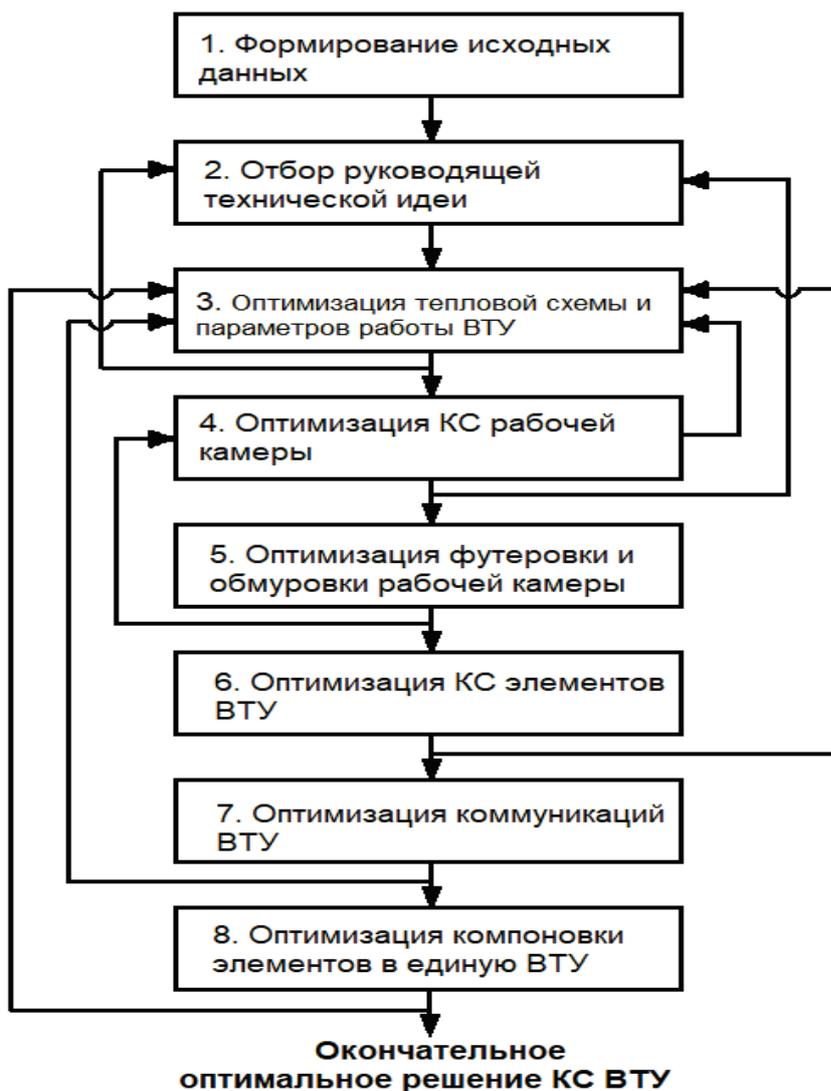


Рисунок 7 – Общая последовательность оптимизации конструкции ВТУ

На *восьмом* этапе после окончательного уточнения параметров работы, тепловой схемы и конструкции всех элементов производится оптимизация их компоновки в единую установку, в которой обеспечиваются оптимальные расходы конструкционных материалов и топливно-энергетических ресурсов, оптимальная надежность, минимальная длина газоходов и трубопроводных коммуникаций, доступность для обслуживания и ремонта каждого элемента и узла установки. На этом этапе также может возникнуть необходимость в корректировке некоторых ранее полученных решений для обеспечения оптимальности установки как системы элементов, поскольку могут измениться расход топлива, аэродинамическое сопротивление, капитальные затраты и др.

После указанной последней корректировки получается окончательное оптимальное решение ВТУ для принятых в его основу исходных данных. Таким образом, оптимизация установки – это весьма трудоемкий процесс, носящий итерационный характер и требующий неоднократной корректировки ранее полученных результатов.

8.2. Повышение экономической эффективности теплотехнологических систем

Каждая высокотемпературная установка предназначается для экономически целесообразного получения заданных продуктов из имеющихся или предварительно подготовленных исходных материалов и энергии.

Экономическая эффективность теплотехнологических комплексов является самым важным показателем, характеризующим степень совершенства теплотехнологических, теплотехнических и механических процессов, оптимальность созданных условий для их осуществления, а также полноту использования в них достижений науки и техники.

Экономическая эффективность теплотехнологических комплексов характеризуется тремя основными показателями: удельными капитальными затратами, затратами на передел исходных материалов в целевые продукты и трудозатратами.

Удельные капитальные затраты – это сумма затрат, произведенных при строительстве теплотехнологического комплекса на единицу полученного продукта. Они складываются из затрат на доставку и монтаж оборудования, строительных и футеровочных материалов и выполнение общестроительных, специальных и монтажных работ и т. д. Из этих затрат основную часть составляет стоимость футеровочных материалов и выполнение этого вида работ.

Выбор материалов огнеупорного слоя футеровки должен осуществляться в строгом соответствии с требованиями теплотехнологического и теплотехнического процессов и выполняемых ею функций, с учетом опыта эксплуатации ВТУ для аналогичных процессов. Практически в большинстве случаев это осуществляется однозначно. Толщина огнеупорного слоя

выбирается из условий обеспечения заданных режимов работы, строительной и механической прочности и кратности размерам кирпича или изделий. Материал теплоизоляционного слоя выбирается по допустимой температуре на границе с огнеупорным слоем и наружной поверхности, строительной и механической прочности, а также кратности размерам теплоизоляционных изделий и эксплуатационных особенностей.

При проектировании футеровки ВТУ имеется возможность уменьшения ее стоимости за счет использования высококачественных теплоизоляционных материалов, что может позволить уменьшить толщину огнеупорного слоя или использовать экранирование наружной поверхности футеровки в зонах обслуживания.

В настоящее время и в будущем, учитывая необходимость бережливого производства при расходовании энергетических ресурсов, уменьшение тепловых потерь за счет некоторого увеличения толщины теплоизоляционного слоя может считаться вполне обоснованным.

Конструкции футеровки ВТУ из огнеупорных большемерных кирпичей, изделий и блоков может сократить срок строительства, что также является одной из статей повышения экономической эффективности по данному показателю.

Затраты на передел исходных материалов – это денежное выражение затрат на получение единицы продукта в ВТУ.

По данному показателю экономическая эффективность ВТУ может быть достигнута:

1) экономией энергетических ресурсов (топлива и электрической энергии) при осуществлении теплотехнологических процессов;

2) совершенствованием теплотехнологических процессов в части получения качественного продукта, полноты проводимых физических и химических превращений исходных материалов, получения качественных побочных продуктов, находящихся сбыт;

3) увеличением срока эксплуатации установки за счет качественного выполнения футеровочных и монтажных работ;

4) уменьшением числа обслуживающего персонала за счет укрупнения ВТУ.

Трудозатраты – это количество рабочего времени, затрачиваемого на получение единицы продукции из ВТУ. Увеличение экономической эффективности теплотехнологических установок по данному показателю может быть достигнуто за счет осуществления следующих мероприятий:

1) оптимизации осуществления теплотехнологических процессов: перевод установок периодического режима на непрерывный, уменьшение влияния лимитирующих факторов для химического превращения, ускорение подачи исходных материалов в реакционную зону, сокращение реакционного времени

за счет проведения процессов при максимально допустимых температурах, повышение концентрации реагентов и увеличение или уменьшение давления до максимальных величин, ускорение отвода полученных продуктов из реакционной зоны, увеличение скорости предварительного (начального) нагрева исходных материалов за счет повышения температуры до максимально допустимой, повышение скорости охлаждения полученных продуктов в установке или после нее до максимально допустимой или возможной, улучшение предварительной подготовки исходных материалов к теплотехнологическому процессу;

2) обеспечения необходимой степени надежности вспомогательного оборудования, ибо выход из строя незначительного вспомогательного оборудования ведет к простоя всего теплотехнологического комплекса и наносимый при этом ущерб во много больше стоимости этого оборудования;

3) полной механизации и автоматизации процессов, протекающих в ВТУ, и операций обслуживания их;

4) совершенствования организации работ за счет исключения или максимального уменьшения времени простоя установки из-за неисправности оборудования либо других организационных причин, исключения остановки (кроме аварийной) ВТУ с непрерывным теплотехнологическим процессом, максимального сокращения времени загрузки и разгрузки установок с периодическим теплотехнологическим процессом;

5) повышения научного уровня проектирования теплотехнологических установок и технического уровня обслуживающего персонала.

В зависимости от вида теплотехнологических процессов, осуществляемых в теплотехнологических установках, их конструктивного типа и условий производства экономическая эффективность будет различна для каждого конкретного случая. Однако рассматриваемые позиции экономической эффективности и приведенные рекомендации по ее достижению являются общими и обязательными при проектировании, расчете, конструировании и эксплуатации всех ВТУ.

8.3. Вторичные энергоресурсы ВТУ и способы их использования

Высокотемпературные теплотехнологические установки являются потребителями значительного количества топлива и электроэнергии для осуществления различных теплотехнологических процессов. Наряду с этим они выделяют большое количество отходов и продуктов с высокой температурой, которые могут быть вторичными энергоресурсами (ВЭР).

Рациональное использование ВЭР – важнейшая задача технологов и энергетиков, разрабатывающих теплотехнологические установки.

Отходы теплотехнологических процессов, которые могут быть использованы как ВЭР, можно разделить на два вида: горючие материалы и материалы-теплоносители.

Горючие материалы и их теплотворная способность (в МДж/м³):

1) печные технологические газы, отходящие от печей фосфорных (8,4–10,9), карбидных (8,8–12,5), доменных (3,8–4,4), коксовых (15–16), ретортных при прокалке литейного кокса и термоантрацита (11,5) и при прокалке нефтяного кокса (5,8) и т. д.;

2) коксовые отходы – отходы обогащения углей (16–18) и отходы коксового отсева фракции 0–10 мм (25,2–27,3).

К материалам-теплоносителям относятся:

1) производственные материалы – сернистые газы, раскаленный кокс, жидкий чугун, сталь, декарбонизированный фосфорит и т. д.;

2) вода, охлаждающая корпус и элементы печей;

3) шлаки фосфорные и металлургические;

4) отходящие дымовые газы;

5) воздух, охлаждающий полученные продукты, и т. д.

Все горючие материалы на практике используются в качестве технологического или энергетического топлива. Например, ретортные печи для обжига антрацита в основном работают за счет теплоты, получаемой от сжигания собственных отходящих печных газов.

Материалы-теплоносители должны использоваться для нагрева воды, воздуха, исходных материалов основных теплотехнологических процессов, получения пара и т. д. Для этих целей применяются рекуператоры, регенераторы, котлы-утилизаторы и другие теплообменники. Нагретый воздух из рекуператоров и регенераторов используется для сжигания топлива как окислитель, что дает возможность не только экономить топливо, но и достигать более высоких температур в рабочей камере печей.

В настоящее время создаются комбинированные теплотехнологические комплексы, в которых одновременно сжигаются горючие исходные материалы (сера, колчедан) и получающиеся высокотемпературные производственные газы, которые используются для получения пара энергетических параметров, расходуемого далее на получение электроэнергии. В химической промышленности для использования отходящих высокотемпературных газов применяются котлы-утилизаторы.

Для использования вторичных печных энергоресурсов главным и определяющим фактором всегда должна быть их экономическая и экологическая эффективность.

Вопросы к разделу 8:

1. В чем заключается процесс оптимизации?
2. Что такое критерий оптимальности?
3. Какие ограничения накладываются при создании ВТУ? В чем они заключаются?
4. Какие бывают задачи оптимизации ВТУ?
5. Из каких уровней состоит оптимизация конструкции ВТУ?
6. Из каких этапов состоит общая последовательность оптимизации конструкции установки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жучков, П. А. Огнетехнические (высокотемпературные) установки целлюлозно-бумажной промышленности : учеб. пособие / П. А. Жучков. – Л. : ЛТА, 1978. – 104 с. – Текст: непосредственный.
2. Исламов, М. Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей / М. Ш. Исламов. – Л.: Химия, 1986. – 280 с. – Текст: непосредственный.
3. Троянкин, Ю. В. Проектирование и эксплуатация огнетехнических установок : учеб. пособие / Ю. В. Троянкин – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 256 с. – Текст: непосредственный.
4. Бельский, А. П. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учеб. пособие / А. П. Бельский, В. Ю. Лакомкин, С. Н. Смородин, СПбГТУРП. – Изд. 3-е, испр. – СПб., 2012. – 136 с. – Текст: непосредственный. – ISBN 978-5-91646-044-5
5. Жучков, П. А. Тепловые процессы в ЦБП / П.А. Жучков. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 398 с. – Текст: непосредственный.
6. Жучков, П. А. Расчет и проектирование высокотемпературных установок целлюлозно-бумажных предприятий : учеб. пособие / П. А. Жучков. – Л.: ЛТА, 1979. – 103 с. – Текст: непосредственный.
7. Щукин, А. А. Промышленные печи и газовое хозяйство заводов : учебник для вузов / А. А. Щукин. – Изд. 2-е, перераб. – М.: Энергия, 1973. – 224 с. – Текст: непосредственный.
8. Казанцев, Е. И. Промышленные печи / Е.И. Казанцев. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с. – Текст: непосредственный.
9. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок (утв. приказом Минэнерго РФ от 24 марта 2003 г. N 115).
10. ГОСТ 34518–2019 Печи промышленные и агрегаты тепловые. Правила организации и производства работ, контроль выполнения и требования к результатам работ.

Примерный перечень эксплуатационной документации

Наименование	Содержание
Оперативный журнал	Регистрация в хронологическом порядке (с точностью до минуты) оперативных действий, производимых для обеспечения заданного режима тепловой энергоустановки и тепловой сети, распоряжений вышестоящего и управленческого персонала и специалистов. Записи об авариях и инцидентах оборудования и мерах по восстановлению нормального режима. Сведения о первичных и ежедневных допусках к работам по нарядам и распоряжениям. Записи о приеме и сдаче смены с регистрацией соответствия оборудования (в работе, ремонте, резерве)
Оперативная схема тепловых сетей (водяных, паровых, конденсатных)	Схема тепловых сетей с указанием на ней диаметров и номеров трубопроводов, камер, арматуры, спускных, продувочных и дренажных устройств, насосов, регулирующих клапанов и протяженности
Оперативная схема тепловых энергоустановок	Схема тепловой энергоустановки с подводящими и отводящими трубопроводами, с обозначением и нумерацией запорной и регулирующей арматуры, спускных, продувочных и дренажных устройств, отражающая фактическое диспетчерское (функциональное) состояние оборудования и запорной арматуры в реальном времени
Оперативная схема источника теплоты	Тепловая схема источника тепловой энергии с указанием и нумерацией установленного оборудования, трубопроводов, арматуры, контрольно-измерительных приборов и автоматики
Перечень камер и каналов, подверженных опасности проникновения газа	Перечень камер, каналов и других подземных сооружений, подверженных опасности проникновения газа в количествах, превышающих предельно допустимые санитарные нормы или образующих взрывоопасные смеси
Перечень оборудования, находящегося в оперативном управлении и ведении диспетчера	Наименование и краткие технические характеристики оборудования, находящегося в оперативном управлении и оперативном ведении диспетчера
Программа переключения	Запись о содержании операций и их перечень, времени начала и окончания, условиях проведения; сведения о персонале, выполняющем переключения, указания о последовательности переключений, положении запорной и регулирующей арматуры после их окончания; должность работника, контролирующего ход переключений и несущего за них ответственность
Схемы тепловых камер (насосных станций, тепловых пунктов)	Схема тепловой камеры (насосной станции, теплового пункта) с установленным в ней оборудованием, трубопроводами, арматурой и контрольно-измерительными приборами
Журнал обходов тепловых сетей	Запись заданий обходчиком тепловых сетей и результатов обхода
Журнал распоряжений	Запись распоряжений руководства организации, руководящего персонала энергослужбы

Журнал учета работ по нарядам и распоряжениям	В соответствии с правилами техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций, тепловых сетей и теплопотребляющих установок
Журнал заявок на вывод оборудования из работы	Регистрация заявок на вывод оборудования из работы от цехов (участков) с указанием наименования оборудования, причины и времени вывода его из работы (подачи заявки), а также объема теплопотребления отключаемого оборудования
Журнал дефектов и неполадок с оборудованием	Запись о неисправностях тепловых энергоустановок и тепловых сетей. Указываются дата записи, характер неисправности и ее принадлежность. Запись ответственного за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок об ознакомлении и устранении дефектов
Температурный график центрального регулирования системы теплоснабжения	График зависимости температур сетевой воды в подающих и обратных трубопроводах тепловой сети от температуры наружного воздуха
Пьезометрические графики	Давление в подающем и обратном трубопроводах по длине тепловой сети, в зависимости от рельефа местности, для зимнего, летнего и аварийных режимов
Режимная карта	Документ, содержащий перечень оптимальных значений параметров для достижения надежной и экономичной эксплуатации тепловых энергоустановок, составленный по результатам режимно-наладочных испытаний
График ограничений и отключений	Документ, содержащий очередность ограничений и отключений потребителей при недостатке тепловой мощности или топлива, а также в случае аварии в энергоснабжающей организации
Журнал учета проведения противоаварийных и противопожарных тренировок	Журнал с указанием даты проведения тренировок, фамилий участников и должности, темы и места проведения, оценки и замечаний, подписей участников, подписи руководителя тренировки
Журнал учета состояния контрольно-измерительных приборов и автоматики	Записи о проводимых ремонтах, проверках работоспособности и поверках контрольно-измерительных приборов и автоматики
Журнал учета качества питательной, подпиточной, сетевой воды, пара и конденсата	Запись о качестве воды, пара и конденсата на основании химического контроля
Ведомости учета суточного отпуска тепловой энергии и теплоносителя на источнике теплоты	Запись о ежесуточных температуре, давлении, количестве отпущенного и возвращенного теплоносителя, расходе подпиточной воды, температуре холодной воды, количестве выработанной, потребленной на собственные нужды и отпущенной тепловой энергии по показаниям приборов учета тепловой энергии и теплоносителя
Журнал учета тепловой энергии и теплоносителя в водяных (паровых) системах теплопотребления	Запись о ежесуточных расходах теплоносителя по подающему, обратному, подпиточному трубопроводах (паропроводу, конденсатопроводу), трубопроводу системы горячего водоснабжения, величине тепловой энергии и времени работы приборов учета тепловой энергии

Рекомендации по учету собственником тепловых энергоустановок

1. Все тепловые энергоустановки учитываются собственником (эксплуатирующей организацией) в Книге учета тепловых энергоустановок организации (далее – Книга учета).

2. Книга учета ведется единой для организации в целом и по подразделениям по следующим разделам:

- теплогенерирующие энергоустановки;
- системы транспорта и распределения тепловой энергии;
- теплопотребляющие энергоустановки.

Рекомендуемая форма Книги учета приведена ниже в Приложении 3. Каждой тепловой энергоустановке собственником при учете присваивается номер. В графе "Примечание" указываются сведения о смене собственника, реконструкции, утилизации и т. п.

3. Для организации и ведения учета тепловых энергоустановок распорядительным документом руководителя организации назначается ответственное лицо и его заместитель (на периоды длительного отсутствия).

4. Снятие с учета тепловых энергоустановок, учитываемых собственником (эксплуатирующей организацией), производится ответственным лицом организации в случаях: - передачи тепловой энергоустановки другому собственнику (эксплуатирующей организации); - вывода тепловой энергоустановки из эксплуатации, ее демонтажа и складского хранения энергоустановки, ее элементов или элементов сети; - снятия тепловой энергоустановки с баланса организации. В этом случае на основании подтверждающего документа делается запись в Книге учета, копия документа вкладывается в паспорт тепловой энергоустановки, которая передается другому собственнику, или хранится вместе с тепловой энергоустановкой. В случае снятия тепловой энергоустановки с баланса организации и ее утилизации паспорт указанной тепловой энергоустановки может быть снят с хранения.

5. При учете теплогенерирующих энергоустановок в органы Государственного энергетического надзора представляются следующие данные:

- наименование собственника;
- тип и количество теплогенерирующих энергоустановок;
- производительность;
- вид топлива (основное, резервное);
- количество потребителей, общая подключенная нагрузка.

При реконструкции с изменением мощности теплогенерирующей энергоустановки и смене собственника для повторного учета в органах Государственного энергетического надзора предоставляются данные в полном объеме в срок не более 10 дней.

**Книга учета тепловых энергоустановок организации (рекомендуемая форма)
Тепловые энергоустановки предприятия (организации)**

Порядковый N	Дата учета	Наименование тепловой энергоустановки или теплопровода	Характеристики тепловой энергоустановки или теплопровода				Место расположения	Ответственный за исправное состояние и безопасную эксплуатацию	Ф.И.О. ответственного лица	Примечание
			параметры работы (давление, температура)	производительность (Гкал/час, т/час)	пропускная способность (т/час)	теплопотребление (Гкал/час, т/час)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Учебное издание

Громова Екатерина Николаевна

Эксплуатация теплотехнологических установок

Учебное пособие

Редактор и корректор М. Д. Баранова
Техн. редактор Д. А. Романова

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 14.03.2024 г. Рег. № 5104/24

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.