РУКОВОДСТВО

по техническому обслуживанию калориферных установок шахт

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕНО
Энергомеханическим управлением
Минуглепрома СССР 29 марта 1982 г.

РУКОВОДСТВО
по техническому обслуживанию калориферных установок шахт

Под общей редакцией Н. И. КАРАСЕВА

МОСКВА «НЕДРА» 1984

УДК 697.921.452—7:627.481.22

Руководство по техническому обслуживанию калориферных установок шахт. Под общей редакцией Н. И. Карасева/Н. И. Карасев, Б. Ф. Негруцкий, А. И. Григорьев и др. М., Недра, 1984, 176 с.

Изложена технология технического обслуживания с периодическим контролем для калориферных установок воздухоподающих стволов шахт. Приведены организация, методы выполнения и периодичность технической диагностики воздушного тракта, технологические схемы основных ремонтно-наладочных работ. Отражены вопросы техники безопасности при выполнении технической диагностики и ремонтно-наладочных работ и методы гидравлических и тепловых расчетов технологических схем в процессе наладки и реконструкции калориферных установок.

Для персонала специализированных наладочных бригад монтажно-наладочных управлений, выполняющих работы по техническому обслуживанию объектов систем теплоснабжения шахт, слесарей и инженерно-технического персонала шахт, а также проектно-конструкторских организаций, выполняющих проекты реконструкции калориферных установок во всех угольных бассейнах.

Табл. 31, ил. 30, список лит. — 35 назв.

Авторы:

Н. И. Карасев, Б. Ф. Негруцкий, А. И. Григорьев, Н. И. Волощенко, И. И. Пасюта, С. С. Байжанов, И. А. Крутев, В. К. Фогель, Б. И. Иванов.

Р $\frac{2501020000-180}{043(01)-84}$ 297—84

© Издательство «Недра», 1984

Николай Иванович Карасев, Борис Федорович Негруцкий, Александр Иванович Григорьев и др.

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК ШАХТ

Редактор издательства С. А. Моисеева
Переплет художника В. Ю. Новикова
Художественный редактор О. Н. Зайцева
Технический редактор А. В. Трофимов
Корректор И. Н. Таранева

ИБ № 4815

Сдано в набор 17.10.83. Подписано в печать 09.04.84. Т-09319. Формат 60 x 90/16. Бумага типографская № 3. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 11,0. Усл. кр.-отт. 11,25. Уч.-изд. л. 13,07. Тираж 4500 экз. Заказ 386/8850-12. Цена 85 коп.

Ордена «Знак почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский пр., 1/19.
Харьковская книжная фабрика «Коммунист», 310012, Харьков-12, ул. Энгельса, 11.

ВВЕДЕНИЕ

Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по ускорению технического перевооружения шахт Министерства угольной промышленности СССР» и «Об усилении работы по экономии и рациональному использованию сырьевых, топливно-энергетических и других материальных ресурсов» являются претворением в жизнь решений XXVI съезда КПСС о подъеме угольной промышленности на основе технического перевооружения шахт, повышения эффективности производства; создания безопасных условий труда, экономного и рационального использования материальных ресурсов.

Угольная промышленность потребляет топливные ресурсы в основном для целей теплоснабжения. Тепловая энергия используется для отопления производственных и административно-бытовых помещений на поверхности шахт, для горячего водоснабжения административно-бытовых комбинатов и для нагрева поступающего в шахту воздуха. Наиболее энергоемкими объектами систем теплоснабжения шахт являются калориферные установки воздухоподающих стволов, поэтому совершенствование методов их проектирования, создание новых технологических схем нагрева воздуха, конструирование и изготовление нестандартного тепломеханического оборудования, а также создание и внедрение систем централизованного технического обслуживания и ремонта являются актуальными задачами для угольной промышленности.

В настоящее время в отрасли нашли преимущественное распространение так называемые безвентиляторные калориферные установки (в дальнейшем — калориферные установки), в которых для перемещения воздуха через теплообменные аппараты используется энергия вентиляторов главного проветривания.

Проектирование безвентиляторных калориферных установок предписывается отраслевым нормативным документом «Основные направления и нормы технологического проектирования угольных шахт, разрезов и обогатительных фабрик».

Нормальное функционирование калориферной установки обеспечивает необходимые климатические условия для ритмичной и надежной работы шахтных подъемных комплексов в холодное время года, а также для передвижения шахтеров к местам работ. Надежное и экономичное функционирование калориферных установок во многом зависит от принятой системы их технического обслуживания и ремонта.

В последние годы в различных отраслях народного хозяйства СССР преимущественно применяются системы централизованного технического обслуживания и ремонта, располагающие средства-

ми организационного, технического, технологического, инструктивно-методического и нормативного обеспечения. В процессе централизованного технического обслуживания и ремонта специализированными организациями выполняются работы по текущему, среднему и капитальному ремонтам, технической диагностике, техническому обслуживанию и наладке.

Повышению эффективности эксплуатации технологического оборудования на шахтах способствуют организационные мероприятия Энергомеханического управления Минуглепрома СССР, в соответствии с которыми в угольных бассейнах были созданы наладочные управления и тресты.

Разрабатываются и внедряются системы централизованного технического обслуживания объектов теплоснабжения шахт.

Технология обслуживания котельных установок, тепловых сетей, систем отопления и горячего водоснабжения достаточно полно разработана в инструктивно-методических материалах специализированных организаций Минэнерго СССР, Минкомхоза СССР, Минмонтажспецстроя СССР, Госстроя СССР [1—5]. Однако вне поля деятельности этих организаций оказались калориферные установки воздухоподающих стволов шахт, имеющие ряд специфических особенностей по сравнению с общепромышленными калориферными установками, применяемыми в системах вентиляции и кондиционирования воздуха цехов и производственных помещений.

Являясь наиболее энергоемким объектом в системе теплоснабжения шахты, калориферная установка оказывает существенное влияние на расходование тепловой энергии в целом по шахте, поэтому разработка и внедрение в отрасли системы технического обслуживания и ремонта калориферных установок могут дать значительный технико-экономический эффект.

Разработка технологии и методологии технического обслуживания калориферных установок шахт выполнялась силами Энергомеханического управления Минуглепрома СССР, управления Спецшахтомонтаж и Карагандинского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института на базе шахт Карагандинского угольного бассейна. Настоящее руководство обобщает многолетний опыт технического обслуживания технологической части калориферных установок шахт с водяным энергоносителем и является инструктивно-методической основой для широкого внедрения системы технического обслуживания объектов теплоснабжения шахт в наладочных управлениях и трестах всех бассейнов страны.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК ВОЗДУХОПОДАЮЩИХ СТВОЛОВ

1.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Для нормального протекания технологических процессов подземных горных работ наряду с множеством технологических операций необходимо выполнять такие, как отопление административно-бытовых комбинатов (АБК) и всех производственных помещений поверхности шахты, горячее водоснабжение АБК и подогрев атмосферного воздуха, поступающего в шахту в холодное время года.

Энергетическое обеспечение всех производственных операций можно выполнить на основе применения электроэнергии. Однако значительные энергозатраты при высокой стоимости электроэнергии не позволяют пока практически использовать на шахтах метод преобразования электрической энергии в тепловую для осуществления горячего водоснабжения, отопления и подогрева атмосферного воздуха. Поэтому в системе энергетического обеспечения производственных процессов шахт имеется система теплоснабжения, в которую входят генераторы тепловой энергии, тепловые сети, теплообменные аппараты потребителей тепловой энергии в АБК, во всех производственных зданиях поверхности шахты и в калориферных установках.

По роду теплоносителя различают водяную и паровую системы теплоснабжения. До недавнего времени основным энергоносителем в системах теплоснабжения шахт был насыщенный водяной пар, однако в последние годы на реконструируемых и вновь строящихся шахтах стали использовать перегретую воду. Основными причинами вытеснения водяного пара как теплоносителя являются трудность возврата конденсата, низкие гигиеничность и надежность конденсатоотводных систем, сложное регулирование теплопроизводительности, чрезмерная коррозия конденсатопроводов, низкая экономичность из-за работы на пролетном паре, а также причины организационного порядка в обслуживании паровых систем теплоснабжения.

Водяные системы теплоснабжения шахт имеют следующие преимущества:

возможность центрального регулирования основной тепловой нагрузки путем изменения температурного или гидравлического режима;

более высокий к. п. д. и повышенная аккумулирующая способность теплоносителя;

сохранность конденсата (в случае использования паровых котлов, работающих в системе с пароводяными подогревателями), благодаря чему значительно повышается эффективность работы котлоагрегатов.

Источником тепловой энергии для шахт могут быть ТЭЦ (если шахта или группа шахт находятся в радиусе ее действия), районная котельная для группы шахт или индивидуальная шахтная котельная.

За последние годы получило широкое распространение строительство районных и индивидуальных котельных для шахт по типовым проектам, разработанным ГПИ Сантехпроект. Применяются

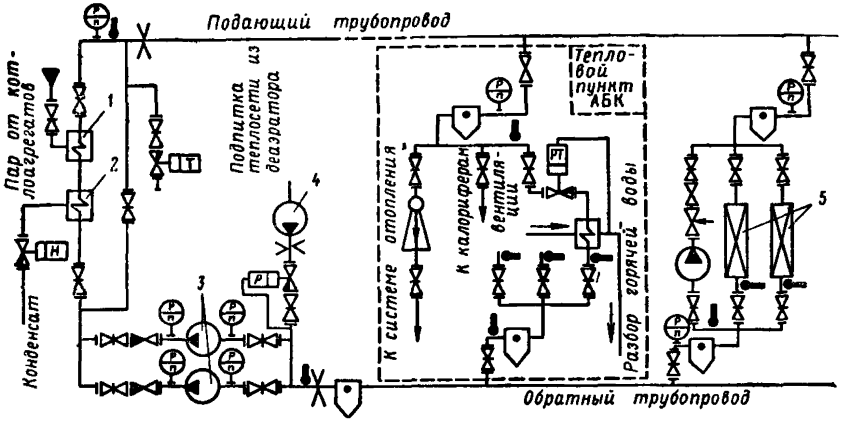

Рис. 1. Технологическая схема водяной системы теплоснабжения с питанием от индивидуальной котельной:

1 и *2* — пароводяной и водоводяной подогреватели; *3* и *4* — сетевой и подпиточный насосы *5* — калориферы

типовые проекты с паровыми котлоагрегатами КЕ-10/14, КЕ-25/14 и водогрейными ТВГМ/30, КВТС-20 с топками для слоевого сжигания топлива на движущихся цепных решетках ТЛЗ и ТЧЗ.

Все оборудование и трубопроводы современных котельных разделены на функциональные группы: котельный агрегат; деаэрационно-питательная установка; водоподогревательная установка; водоподготовка; установка для приготовления и отпуска горячей воды (если для целей горячего водоснабжения потребителей используется вода, подготовленная непосредственно в районной котельной); общекотельное оборудование (золоудаление, топливоподача, газоудаление), магистральные и междублочные соединительные трубопроводы.

На рис. 1 показана технологическая схема водяной системы теплоснабжения с питанием от индивидуальной котельной. Присоединение потребителей осуществляется по зависимой схеме.

К тепловым сетям относят комплекс технических средств, предназначенный для транспортирования теплоносителя от генератора

тепловой энергии к потребителям и обратно. Тепловые сети объединяют теплоизолированные магистральные трубопроводы, опоры, запорную и предохранительную арматуру, отводы для датчиков контрольно-измерительных приборов давления, температуры и расхода энергоносителя. В зависимости от вида теплоносителя тепловые сети могут быть паровыми и водяными.

Паровые сети могут быть двух- и однотрубными соответственно с возвратом и без возврата конденсата. В двухтрубных паровых сетях конденсат рекомендуется собирать по закрытой схеме, при которой в конденсатопроводах и конденсатосборниках поддерживается избыточное давление.

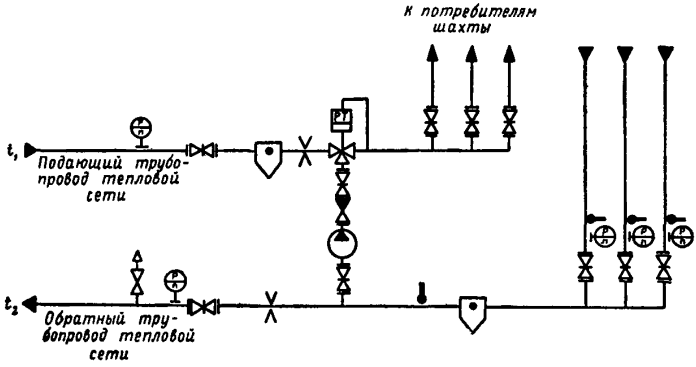

Рис. 2. Технологическая схема ЦТП шахты при зависимом подключении потребителей с подмешивающим насосом

Водяные тепловые сети делятся на две основные группы: двухтрубные закрытые (замкнутые), в которых циркулирующая вода используется как теплоноситель, и двухтрубные открытые (разомкнутые), в которых часть циркулирующей воды разбирается для целей горячего водоснабжения.

В системах теплоснабжения шахт используются двухтрубные закрытые водяные и двухтрубные паровые сети (в случае индивидуальной шахтной котельной). В последние годы как магистральные, так и внутриплощадочные тепловые сети прокладываются надземным способом на железобетонных или стальных опорах, что значительно упрощает монтаж и эксплуатацию трубопроводов.

Центральный тепловой пункт (ЦТП) шахты предусматривается тогда, когда теплоснабжение шахты осуществляется от ТЭЦ или районной котельной. ЦТП располагают в специальном помещении, в котором монтируют теплообменные аппараты для подготовки воды в соответствии с отопительным графиком предприятия (при независимой схеме присоединения потребителей), запорную и регулирующую арматуру, подпиточные и сетевые насосы, контрольно-измерительные приборы и аппаратуру автоматического управления, с помощью которой происходит защита и автоматическое цен-

тральное регулирование теплопроизводительности. При зависимой схеме подключения теплопотребителей на ЦТП целесообразно устанавливать подмешивающий насос и благодаря этому создавать автономный температурный режим предприятия (рис. 2).

Для отопления зданий административно-бытового, технологического и вспомогательного назначения на поверхности шахты используются в основном водяные однотрубные проточные системы отопления с замыкающими участками, а также горизонтальные двухтрубные с попутным движением. Для зданий большого объема (надшахтные здания воздухоподающих стволов) применяют воздушные системы отопления (воздушные тепловые завесы у входных ворот надшахтного здания и малогабаритные отопительные агрегаты для создания в рабочей зоне здания требуемых гигиенических условий воздушной среды). В административно-бытовых комбинатах устанавливают общепромышленные калориферные установки в системах воздушного отопления приточной вентиляции. На отопление расходуется до 10 % всего количества используемого на шахте тепла в холодное время года.

Потребителями системы горячего водоснабжения являются также душ, столовая, медицинский пункт и прачечный цех шахты. На шахтах используется в основном система горячего водоснабжения с местным приготовлением горячей воды (непосредственно в АБК шахты) с помощью скоростных водоподогревателей и баков-аккумуляторов.

Затраты тепла на горячее водоснабжение шахты составляют 5—10 % всего количества тепла, используемого на шахте.

1.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЛОРИФЕРНЫМ УСТАНОВКАМ ВОЗДУХОПОДАЮЩИХ СТВОЛОВ

Технологические требования к безвентиляторным калориферным установкам шахт обобщают опыт их проектирования [6], строительства, наладки и эксплуатации. Основными из них являются следующие.

1. Калориферная установка должна обеспечивать нагрев поступающего воздуха до температуры не менее +2 °С при любой температуре наружного воздуха из расчетного диапазона, установленного отраслевыми нормами технологического проектирования, СНиП II-33—75 и СНиП II-А-6—72.

2. Для горных предприятий, расположенных в зонах вечномерзлых грунтов, необходимую температуру нагреваемого воздуха следует выбирать в установленном порядке по согласованию с местными органами Госгортехнадзора.

3. Конструкция воздушного тракта должна удовлетворять требованиям и условиям способов проветривания как всасывающего, так и нагнетательного:

при всасывающем способе здание калориферной установки блокируется с надшахтным зданием воздухоподающего ствола или находится в непосредственной близости от него;

при нагнетательном способе здание калориферной установки блокируется со зданием вентилятора главного проветривания или также располагается рядом.

4. Здание калориферной установки должно удовлетворять основным положениям по унификации объемно-планировочных и конструктивных решений одноэтажных промышленных зданий.

5. Эффективная работа калориферной установки возможна только при герметизации копра и устья воздухоподающего ствола. Относительные подсосы холодного воздуха через все неплотности воздушного тракта не должны превышать 20 %.

6. При всасывающем способе проветривания необходимо отеплять копер нагретым воздухом, подаваемым из помещения калориферной установки по специальному воздуховоду.

7. Конструкция калориферной установки должна обеспечивать возможность производства сварочных работ без попадания огня и дыма в воздухоподающий ствол.

8. Конструкцией воздушного тракта должно быть предусмотрено поступление в шахту атмосферного воздуха в летний период и в аварийных ситуациях помимо калориферов и выход воздуха из ствола в атмосферу также помимо калориферов при реверсе вентилятора главного проветривания.

9. Калориферная установка должна быть оборудована противопожарными средствами для изоляции от ствола и подъемно-транспортными средствами для производства монтажных работ при текущих и капитальных ремонтах.

10. Сечение воздушного тракта калориферной установки, включая подземный канал, соединяющий калориферную установку с воздухоподающим стволом, должно быть рассчитано на полный расход воздуха, поступающего в ствол.

11. Конструкция воздушного тракта должна обеспечивать минимальные утечки нагретого воздуха в атмосферу, а также потери тепла через ограждающие конструкции здания при любом из возможных режимов работы.

12. Воздушный тракт должен быть оборудован смесительной камерой, обеспечивающей смешение потоков холодного и подогретого воздуха, и управляемыми дроссельными клапанами.

13. В качестве греющего теплоносителя должна применяться преимущественно высокотемпературная вода.

14. Теплоотдающая поверхность калориферной установки должна состоять из многоходовых калориферов одного типа и модели, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 7201—80.

15. Для обеспечения технологической надежности должны быть предусмотрены резервные блоки калориферов, снабженные соответствующей арматурой для оперативного подключения в схему гидравлического тракта.

16. Калориферная установка должна иметь технологические средства для защиты теплообменных аппаратов от замерзания в них воды в аварийных ситуациях.

17. Высокотемпературная вода должна поступать в гидравлический тракт калориферной установки через устройства для осаждения твердых включений (грязевики).

18. В гидравлическом тракте должны быть предусмотрены средства для удаления воздуха из внутренних полостей калориферов, а также выпуска воды из системы в аварийных ситуациях.

19. Калориферная установка должна соединяться с источником тепла автономным двухтрубным теплопроводом.

20. Компоновка калориферов должна обеспечивать одинаковые расходы воды через все работающие блоки калориферов.

21. Преимущественным направлением движения воды в трубках калориферов должно быть сверху вниз со скоростью не менее 0,3 и не более 0,8 м/с.

22. Конструкция воздушного тракта должна обеспечивать одинаковые расходы воздуха через блоки калориферов и отдельные калориферы внутри блоков. Степень неравномерности нагрузки колонн калориферов воздухом должна быть не более 15 %.

23. Давление воды в любой точке гидравлического тракта калориферной установки допускается не более 1,2 МПа по условию механической прочности калориферов и не менее 0,3—0,5 МПа по условию невскипания энергоносителя.

24. Относительная мощность вентилятора главного проветривания, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки, должна быть не более 10 %.

25. Поток атмосферного воздуха должен входить в воздушный тракт калориферной установки на высоте не менее 2 м от уровня земли.

26. Воздушный и гидравлический тракты должны быть оборудованы необходимым набором запорной арматуры для подключений и отключений потоков энергоносителей, а также для изменения направления их движения.

27. Калориферная установка должна быть снабжена регулирующей арматурой для плавного изменения расходов греющего и нагреваемого энергоносителей в целях регулирования теплопроизводительности и защиты калориферов от замерзания в них воды.

28. Конструкция гидравлического тракта должна допускать установку отборных устройств для датчиков расхода, давления и температуры воды.

29. В гидравлическом тракте калориферной установки должны быть предусмотрены средства защиты от повышенного давления воды.

30. Калориферная установка должна быть снабжена аппаратурой автоматического управления, обеспечивающей: автоматическую стабилизацию температуры воздуха в стволе в пределах $+2 \div +5$ °С или $-7 \div -4$ °С (для условий многолетней мерзлоты) во всем возможном диапазоне значений температуры атмосферного воздуха; защиту калориферов от замерзания в них воды в аварийных ситуациях; блокировку технологического оборудования от непредусмотренного способа использования; регистрацию температу-

ры воздуха в стволе и атмосферного воздуха, температуры воды на входе и выходе из калориферной установки, температуры воды на входе в калориферы (для установок со смесительными насосами), расхода воды через калориферную установку, расхода воды через подмешивающий насос (для установок со смесительными насосами); сигнализацию о снижении температуры воздуха в стволе ниже +2 °С или ниже —7 °С и повышении ее выше +5 °С или —4 °С, снижении температуры воды на выходе из калориферной установки ниже +20 °С и повышении выше +70 °С, повышении давления воды на входе в калориферную установку более 1,2 МПа и снижении менее 0,5 или 0,3 МПа, снижении расхода воды через калориферы ниже расчетного значения, реверсе вентилятора главного проветривания, состоянии исполнительных механизмов и смесительных насосов.

31. Внутри здания калориферной установки должно быть изолированное помещение для размещения аппаратуры автоматического управления, регистрирующих и показывающих приборов, аппаратуры электроснабжения.

32. Электродвигатели технологического оборудования и исполнительных механизмов в помещении калориферной установки должны иметь взрывобезопасное (РВ) или рудничное нормальное исполнение в зависимости от газообильности отрабатываемого месторождения.

1.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК

Технологическая схема калориферной установки состоит из технологического оборудования; соединенного между собой трактами греющего и нагреваемого энергоносителей.

Многообразие технологических схем определяется приведенными ниже вариантами компоновок калориферов.

Компоновкой теплообменных аппаратов калориферной установки будем называть вариант их соединения между собой и тепловой сетью и размещения в пространстве по ходу движения греющего и нагреваемого энергоносителей в целях обеспечения требуемой установленной тепловой мощности.

Карагандинским политехническим институтом (КарПТИ) предложены следующие компоновочные единицы: калорифер, колонна, блок, ярус, ряд. Ниже приведены их краткие определения.

Калорифер — стальной поверхностный теплообменный аппарат с перекрестным током энергоносителей, выпускаемый серийно по ГОСТ 7201—80.

Колонна — совокупность нескольких калориферов, соединенных между собой последовательно по ходу греющего энергоносителя и установленных вертикально и перпендикулярно потоку нагреваемого воздуха.

Блок — совокупность нескольких колонн, соединенных между

собой последовательно по ходу греющего энергоносителя, присоединенных к подающему трубопроводу установки на входе и обратному трубопроводу на выходе и установленных перпендикулярно потоку нагреваемого воздуха.

Ярус — совокупность нескольких блоков, установленных перпендикулярно потоку нагреваемого воздуха на одной и той же геодезической отметке.

Ряд — совокупность нескольких блоков при одноярусной компоновке или нескольких ярусов при многоярусной компоновке,

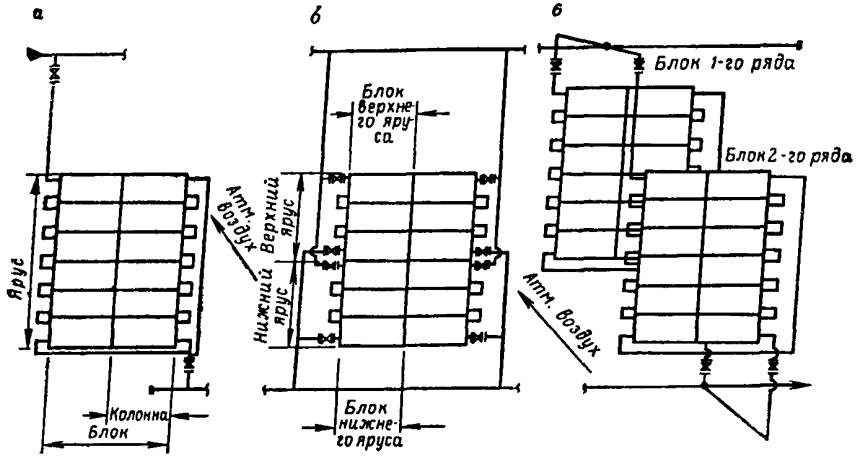

Рис. 3. Технологические схемы блоков при одно- и многорядной компоновках

установленных перпендикулярно потоку нагреваемого воздуха. При одноярусной компоновке понятия ярус и ряд идентичны.

На рис. 3, *а* показана схема однорядной компоновки с одноярусным размещением блоков. При однорядной компоновке поток нагреваемого воздуха проходит только одну ступень нагрева. В блоке, как правило, несколько колонн соединены последовательно по ходу воды и развернуты вдоль фронта воздушного потока.

Блок снабжен набором запорной арматуры, с помощью которого обеспечивается нормальное его подключение к тепловой сети и аварийное отключение. При такой компоновке ряд является наиболее крупной компоновочной единицей, обеспечивающей заданную теплопроизводительность установки.

На рис. 3, *б* показана схема однорядной компоновки с двумя ярусами блоков. Допустимый размер помещения калориферной установки по высоте делится между блоками каждого яруса и поэтому число калориферов в колонне уменьшается. Преимуществом многоярусной компоновки является возможность подачи воды высокой температуры в калориферы нижнего яруса,

которые из-за явления гравитационного напора оказываются нагруженными воздухом более, чем калориферы верхнего яруса. Это свойство многоярусной компоновки уменьшает опасность замерзания энергоносителя в трубной системе калориферов в аварийных ситуациях.

На рис. 3, *в* показана схема двухрядной компоновки с одноярусным соединением блоков в рядах. При многорядных компоновках образуется столько ступеней последовательного нагрева воздуха, сколько рядов в компоновке. Это уменьшает живое сечение для прохода воздуха, увеличивает потери де-

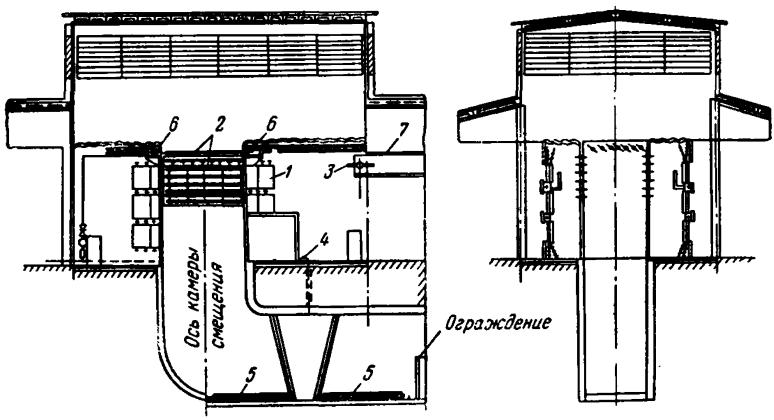

Рис. 4. Технологическая схема воздушного тракта калориферной установки института Карагандагипрошахт:

1 — калориферы; *2* — воздухораспределяющие жалюзи; *3* — клапан подачи горячего воздуха в копер; *4* — лебедка; *5* — противопожарные ляды; *6* — привод воздухораспределяющих жалюзи; *7* — воздуховод

прессии на воздушном тракте калориферной установки, но позволяет сократить требуемый объем помещения калориферной установки на единицу установленной тепловой мощности. Многорядные компоновки возможны как с параллельным соединением всех блоков в тепловой сети, так и последовательным соединением блоков между рядами, т. е., когда выходной патрубок блока первого ряда соединяется с входным патрубком блока следующего ряда. Для любых конкретных условий может быть рассчитана оптимальная компоновка по критерию минимума приведенных затрат, обеспечивающая допустимые значения температуры воздуха в стволе, температуры обратной воды, скорости воды в трубах калориферов, допустимую надежность компоновки и допустимые габариты.

В Карагандинском бассейне распространена схема безвентиляторной калориферной установки института Карагандагипрошахт (рис. 4 и 5). Компоновка калориферов однорядная с одноярусным размещением блоков. Калориферы располагаются с двух противоположных сторон смесительной камеры, находящейся над вентиля-

ционным каналом и снабженной управляемым дроссельным жалюзийным органом. Поступление холодного воздуха к калориферам осуществляется через воздухозаборные проемы с металлической решеткой, расположенные в стене здания. Часть воздуха проходит через теплообменные аппараты и, нагреваясь, попадает через управляемые жалюзи в камеру смешения. Здесь нагретый воздух смешивается с холодным, попадающим непосредственно в камеру смешения через верхнее отверстие дроссельного регулирующего органа, также оборудованное управляемыми жалюзи. Верхние и боковые жалюзи имеют самостоятельные приводы, работающие

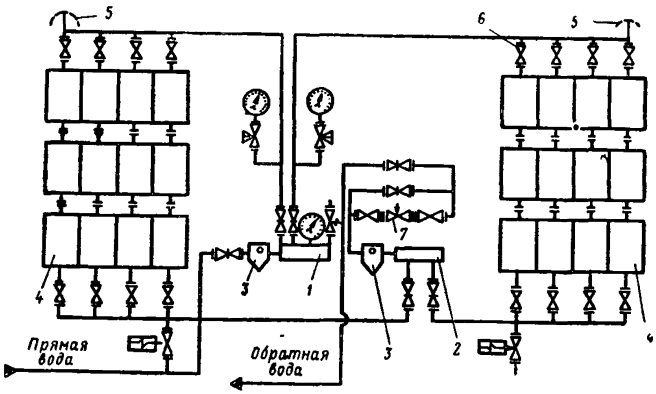

Рис. 5. Технологическая схема гидравлического тракта калориферной установки института Карагандагипрошахт:

1 — раздающий коллектор прямой воды; *2* — собирающий коллектор обратной воды; *3* — грязевик; *4* — водяные калориферы; *5* — воздухоотводчик; *6* — вентиль; *7* — регулирующий клапан

таким образом, что если верхние жалюзи увеличивают расход холодного воздуха в смесительную камеру, то боковые уменьшают расход нагретого и наоборот, оставляя общее количество воздуха постоянным. Смешанный воздух попадает из смесительной камеры в ствол по вентиляционному каналу. Незначительная часть подогретого воздуха (5—10 %) общего количества воздуха, подаваемого в шахту) из калориферной через дроссельный клапан попадает по воздуховоду в копер для его обогрева.

Каждый блок представлен одной колонной. На входе и выходе каждой колонны установлены вентили, позволяющие регулировать гидравлические сопротивления всех колонн для создания их равномерной нагрузки и отключения любой из них в случае аварии. Перегретая вода поступает из тепловой сети на раздающий коллектор калориферной установки через грязевик, служащий для защиты теплообменных аппаратов и арматуры от загрязнения. По распределительным трубопроводам вода поступает в калориферы и, охладившись, попадает в собирающий коллектор калориферной

установки, соединенный с обратным трубопроводом тепловой сети. На выходе собирающего коллектора воды установлен регулирующий клапан, предназначенный для количественного регулирования теплопроизводительности. Отвод воздуха из трубной системы калориферов осуществляется с помощью воздухоотводчиков.

Технологическая схема гидравлического тракта калориферной установки со смесительными насосами показана на рис. 6. В приведенном варианте схемы принята однорядная двухъярусная компоновка. Присоединение гидравлического тракта к тепловой сети выполнено через электрифицированные задвижки *1*, *2*, что обеспе-

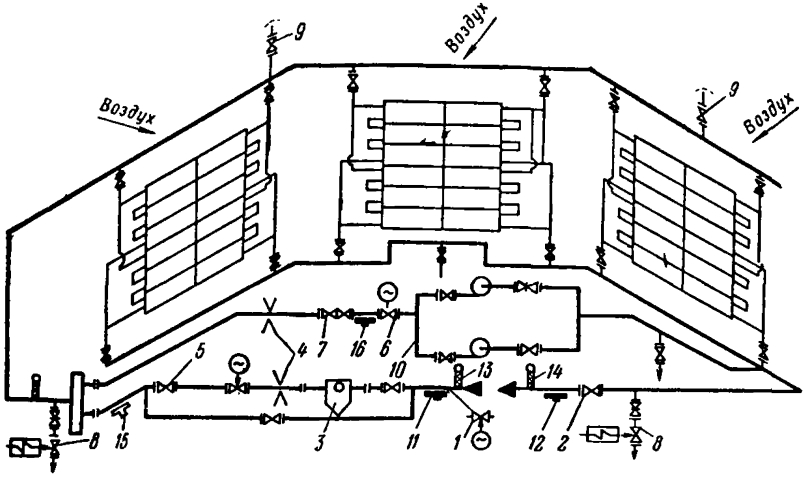

Рис. 6. Технологическая схема гидравлического тракта калориферной установки со смесительными насосами

чивает возможность как дистанционного ручного, так и автоматизированного управления установкой. Для регулирования теплопроизводительности калориферной установки во всем диапазоне нагрузок используются дроссельные регулирующие клапаны *5* и *6* и смесительный насос. Регулирующий клапан *5* изменяет подачу сетевой воды, а клапан *6* подачу подмешиваемой воды, охлажденной в калориферах и поступающей в обратную магистраль тепловой сети. В расчетном режиме регулирующий клапан *6* полностью закрыт, а смесительный насос остановлен. При этом в калориферы поступает только сетевая вода с температурой, определяемой используемым в данной системе теплоснабжения температурным графиком качественного регулирования. По мере повышения температуры атмосферного воздуха, т. е. снижения нагрузки ниже расчетного режима, регулирующий клапан *5* прикрывается, а клапан *6* открывается и включается смесительный насос. Соотношение расходов сетевой и подмешиваемой воды выбирается таким, чтобы для данной нагрузки скорость воды в трубках калориферов была не ниже допустимой, а температура нагреваемого воздуха в воз-

духоподающем стволе соответствовала заданному значению. Таким образом, по мере снижения нагрузки калориферной установки расход воды из подающей магистрали тепловой сети уменьшается, а расход подмешиваемой воды увеличивается. Преимуществом такого регулирования теплопроизводительности является практическое исключение явлений неупорядоченности циркуляции воды в калориферах при низких нагрузках, так как за счет подмешивания скорость воды в трубках калориферов может быть всегда установлена более 0,3 м/с, ниже которой возможно замерзание воды. Кроме этого такой способ обеспечивает качественное регулирование теплопроизводительности во всем диапазоне нагрузок при незначительных дополнительных затратах электроэнергии на перемещение подмешиваемой воды. Для калориферной установки с расходом воздуха 100 м³/с установленная мощность двигателя смесительного насоса не превышает 7 кВт, а для установки с расходом воздуха 400 м³/с — 28 кВт. Для обеспечения соответствующей технологической надежности предусмотрены два смесительных насоса, один из которых — рабочий, а второй — резервный. Узел смесительных насосов снабжен соответствующим набором предохранительной и запорной арматуры, допускающей замену насоса без отключения калориферной установки от тепловой сети и исключающей переток сетевой воды из подающей линии в обратную (обратный клапан *7*) при остановке смесительного насоса или при увеличении располагаемого давления на входе в гидравлический тракт калориферной установки.

Для защиты затворов регулирующих клапанов от попадания взвешенных частиц сетевая вода подается в гидравлический тракт через грязевик *3*. Узел регулирующего клапана подачи сетевой воды *5* снабжен набором задвижек, обеспечивающих ремонт и замену клапана без отключения калориферной установки от тепловой сети. Для отвода воздуха от гидравлического тракта предусмотрены ручные или автоматические воздухоотводчики *9*, подключаемые к распределительному трубопроводу в наиболее высоких точках.

Для защиты теплообменных аппаратов от замерзания в них энергоносителя предусмотрены клапаны *8* с электромагнитным приводом, обеспечивающие быстрое опорожнение гидравлического тракта от воды в аварийных ситуациях. При этом задвижки *1* и *2* закрываются и отключают калориферную установку от тепловой сети, клапаны *8* и *6* открываются, клапан *5* закрывается, а смесительный насос включается для более быстрого опорожнения калориферов от воды через клапан *8*. Если калориферная установка снабжена дроссельными воздушными клапанами смесительной камеры с малым пропуском в закрытом состоянии, то технологически возможен другой способ защиты калориферов от замерзания, пригодный при сравнительно кратковременных нарушениях в подаче сетевой воды в калориферы. Он заключается в том, что в аварийной ситуации расход воздуха через калориферы прекращается, задвижки *1* и *2* закрываются, клапаны *8* остаются закрытыми, клапан *5*

закрывается, а клапан *6* открывается. При этом в трубках калориферов создается упорядоченная циркуляция воды с помощью смесительного насоса при нулевой нагрузке калориферов воздухом, что исключает возможность замораживания энергоносителя. Эффективность этого способа защиты не уменьшается при аварийных состояниях задвижек *1* и *2*, когда они, например, полностью не закрываются.

Для оперативной оценки и сигнализации состояния гидравлического тракта технологически необходимы средства измерения следующих технологических величин:

давления на входе и на выходе из гидравлического тракта (отборные устройства давления соответственно *11* и *12*);

температуры воды на входе и на выходе из гидравлического тракта (отборные устройства температуры соответственно *13* и *14*);

давления на выходе регулирующих клапанов *5* и *6* (отборные устройства *15* и *16*);

температуры воды на выходе смесительного коллектора *10* (отборное устройство температуры *16*);

расхода воды, поступающей через клапаны подачи сетевой и подмешивающей воды (отборное устройство расхода *4*).

1.4. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Отечественная промышленность выпускает калориферы, которые отличаются конструктивными и теплогидравлическими характеристиками и в которых греющим теплоносителем являются перегретая вода и пар, наиболее распространенными являются следующие разновидности калориферов.

1. Калориферы со стальным пластинчатым теплообменным элементом, одноходовые или многоходовые с цилиндрическими трубками и с коридорным или зигзагообразным порядком их расположения в трубной решетке типов КВБ, КФС, КФБ, КМС, КМБ, К3ПП, К4ПП, К3ВП, К4ВП, КВСА-П, КВБА-П.

2. Калориферы со стальным пластинчатым теплообменным элементом, одноходовые или многоходовые с плоскоовальными трубками, расположенными в один ряд по ходу воздуха, типа СТД 3009В, СТД 3010В, КВБ-П-01.

3. Калориферы со стальным пластинчатым теплообменным элементом, одноходовые с цилиндрическими трубками, расположенными зигзагообразным порядком в трубной решетке типа КФСО, КФБО.

4. Калориферы с биметаллическим пакетным теплообменным элементом, одноходовые и многоходовые с цилиндрическими трубками, расположенными зигзагообразным порядком в трубной решетке типа КСК-3, КСК-4, КП3-СК, КП4-СК.

В конструктивном отношении калориферы представляют собой пучок цилиндрических или плоскоовальных оребренных трубок определенной длины, фиксированных трубными решетками, которые закрыты крышками и образуют в совокупности входной и

Таблица 1

Техническая характеристика калориферов типа КФСО

Модель и номер калорифера	Поверхность нагрева, м²	Живое сечение, м²		Размеры, мм									Масса, кг	$П_1$	$П_2$
		по воздуху	по теплоносителю	$А$	$А_1$	$А_2$	$А_3$	$Б$	$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	$В$			
КФСО-7	30,05	0,271	0,0122	860	900	924	1100	722	760	782	630	200	123,1	6	6
КФСО-8	35,28	0,318	0,0122	1010	1050	1080	1250	710	760	782	630	200	140,0	6	7
КФСО-9	41,89	0,375	0,0145	1010	1050	1080	1250	840	880	902	750	200	159,7	7	7
КФСО-10	48,22	0,431	0,0145	1160	1200	1230	1400	840	880	902	750	200	178,3	7	9
КФСО-11	55,84	0,497	0,0168	1160	1200	1230	1420	970	1010	1032	870	200	206,0	8	9

Коэффициент теплопередачи для калорифера типа КФСО (теплоноситель — вода): $K_т = 16{,}38\ (v\rho)^{0{,}501}\ w^{0{,}122}$ Вт/(м²·К).

Сопротивление проходу воздуха: $\Delta P = 3{,}29\ (v\rho)^{2{,}01}$ Па.

Таблица 2

Техническая характеристика калориферов типа КФБО

Модель и номер калорифера	Поверхность нагрева, м²	Живое сечение, м²		Размеры, мм									Масса, кг	$П_1$	$П_2$
		по воздуху	по теплоносителю	$А$	$А_1$	$А_2$	$А_3$	$Б$	$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	$В$			
КФБО-7	40,06	0,271	0,0163	860	900	924	1100	720	760	782	680	240	152,2	6	6
КФБО-8	47,04	0,318	0,0163	1010	1050	1080	1250	710	760	782	630	240	174,8	6	7
КФБО-9	55,86	0,375	0,0193	1010	1080	1060	1250	842	880	902	750	240	206,5	7	7
КФБО-10	64,29	0,431	0,0193	1160	1200	1230	1400	842	880	902	750	240	230,2	7	9
КФБО-11	71,06	0,475	0,0213	1160	1200	1230	1420	926	1010	1032	870	240	258,0	8	9

Коэффициент теплопередачи для калориферов типа КФБО (теплоноситель — вода): $K_т = 14{,}72\ (v\rho)^{0{,}517}\ w^{0{,}133}$ Вт/(м²·К).

Сопротивление проходу воздуха: $\Delta P = 4{,}23\ (v\rho)^{1{,}94}$ Па.

выходной коллекторы с патрубками для подачи теплоносителя. Оребрение трубок выполняется плоскими или гофрированными пластинами. Калориферы снабжены типовыми съемными щитками, с помощью которых отдельные калориферы соединяются в теплоотдающие поверхности требуемых размеров с плотным прилеганием друг к другу, чтобы уменьшились свободные пропуски холодного воздуха.

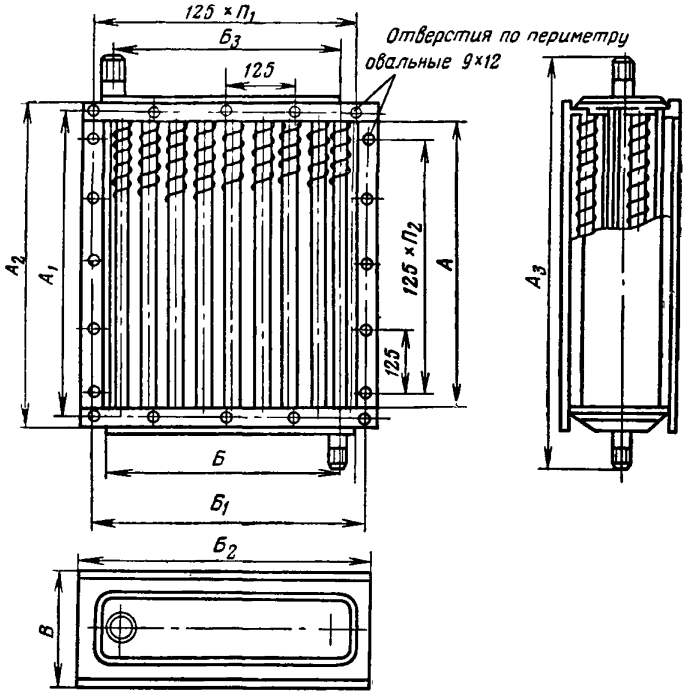

Рис. 7. Общий вид калориферов типов КФБО и КФСО

В настоящее время в калориферных установках шахт используются калориферы, технические характеристики которых приведены в табл. 1—6, а общие виды показаны на рис. 7—9.

1.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Вспомогательное тепломеханическое оборудование в технологической схеме калориферной установки обеспечивает регулирование теплопроизводительности путем изменения расходов энергоносителей, отключение и подключение к тепловой сети, защиту от технологически недопустимых значений параметров греющего энергоносителя, улавливание из энергоносителя взвешенных частиц, удаление воздуха из трубной системы калориферов, защиту

Таблица 3

Техническая характеристика калориферов типа КВСА-П

Модель и номер калорифера	Поверхность нагрева, м²	Живое сечение, м²		Размеры, мм							Масса, кг	Число ходов
		по воздуху	по теплоносителю	A	A_1	A_2	A_3	A_4	B	$Д_у$		
КВС6А-ПУЗ	11,40	0,1392	0,000870	578	551	650	575	430	180	32	56,2	6
КВС7А-ПУЗ	14,16	0,1720	0,000870	703	551	775	575	430	180	32	65,6	6
КВС8А-ПУЗ	16,92	0,2048	0,000870	828	551	900	575	430	180	32	74,8	6
КВС9А-ПУЗ	19,56	0,2376	0,000870	953	551	1025	575	430	180	32	83,8	6
КВС10А-ПУЗ	25,08	0,3033	0,000870	1203	551	1275	575	430	180	32	102,2	6
КВС11А-ПУЗ	72,0	0,8665	0,002316	1703	1051	1770	1075	815	180	50	267,6	4
КВС12А-ПУЗ	108,0	1,2985	0,003474	1703	1551	1770	1575	1315	180	50	411,0	4

Коэффициент теплопередачи для калориферов типа КВСА-П (теплоноситель — вода): $K_т = 29{,}88\ (v\rho)^{0{,}32}\ w^{0{,}132}$ Вт/(м²·К).

Сопротивление проходу воздуха: $\Delta P = 2{,}156\ (v\rho)^{1{,}62}$ Па.

Таблица 4

Техническая характеристика калориферов типа КВБА-П

Модель и номер калорифера	Поверхность нагрева, м²	Живое сечение, м²		Размеры, мм							Масса, кг	Число ходов
		по воздуху	по теплоносителю	A	A_1	A_2	A_3	A_4	B	$Д_у$		
КВБ6А-ПУЗ	15,14	0,1392	0,001160	578	551	650	575	430	220	32	72,7	6
КВБ7А-ПУЗ	18,81	0,1720	0,001160	703	551	775	575	430	220	32	84,0	6
КВБ8А-ПУЗ	22,44	0,2048	0,001160	828	551	900	575	430	220	320	96,6	6
КВБ9А-ПУЗ	26,0	0,2376	0,001160	953	551	1025	575	430	220	32	109,1	6
КВБ10А-ПУЗ	33,34	0,3034	0,001160	1203	551	1275	575	430	220	32	133,7	6
КВБ11А-ПУЗ	95,63	0,8665	0,003090	1703	551	1770	1075	815	220	50	373,0	4
КВБ12А-ПУЗ	143,50	1,2985	0,004632	1703	551	1770	1575	1394	220	65	558,0	4

Коэффициент теплопередачи для калориферов типа КВБА-П (теплоноситель — вода): $K_т = 28{,}3\ (v\rho)^{0{,}32} w^{0{,}13}$ Вт/(м²·К).

Сопротивление проходу воздуха: $\Delta P = 2{,}74\ (v\rho)^{1{,}65}$ Па.

Таблица 5

Техническая характеристика калориферов типа КСК3

Модель и номер калорифера	Поверхность нагрева, м²	Живое сечение, м²		Размеры, мм							Масса, кг	Число ходов
		по воздуху	по теплоносителю	A	A_1	A_2	A_3	A_4	B	$Д_у$		
КСК3-6-02ХЛ3	10,85	0,1135	0,000847	578	551	687	575	436	180	25	46,0	6
КСК3-7-02ХЛ3	13,37	0,1395	0,000847	703	551	812	575	436	180	25	51,8	6
КСК3-8-02ХЛ3	15,89	0,1659	0,000847	828	551	937	575	436	180	25	58,9	6
КСК3-9-02ХЛ3	18,41	0,1923	0,000847	953	551	1062	575	436	180	25	65,4	6
КСК3-10-02ХЛ3	23,43	0,2451	0,000847	1203	551	1312	575	436	180	25	76,3	6
КСК3-11-02ХЛ3	68,01	0,6988	0,001300	1703	1051	1774	1075	924	180	40	193,0	8
КСК3-12-02ХЛ3	102,50	1,0469	0,001943	1703	1551	1774	1575	1424	180	50	286,0	8

Коэффициент теплопередачи для калориферов типа КСК3 (теплоноситель — вода): $K_т = 19{,}26\ (v\rho)^{0{,}455}\omega^{0{,}14}$ Вт/(м².К).

Сопротивление проходу воздуха: $\Delta P = 1{,}58\ (v\rho)^{1{,}71}$ Па.

Таблица 6

Техническая характеристика калориферов типа КСК4

Модель и номер калорифера	Поверхность нагрева, м²	Живое сечение, м²		Размеры, мм							Масса, кг	Число ходов
		по воздуху	по теплоносителю	A	A_1	A_2	A_3	A_4	B	$Д_у$		
КСК4-6-02ХЛ3	14,26	0,1135	0,001113	578	551	687	575	436	180	25	57,1	6
КСК4-7-02ХЛ3	17,57	0,130	0,001113	703	551	812	575	436	180	25	65,4	6
КСК4-8-02ХЛ3	20,88	0,1659	0,001113	828	551	937	575	436	180	25	73,8	6
КСК4-9-02ХЛ3	24,19	0,1923	0,001113	953	551	1062	575	436	180	25	82,1	6
КСК4-10-02ХЛ3	30,82	0,2451	0,001113	1203	551	1312	575	436	180	25	98,8	6
КСК4-11-02ХЛ3	90,04	0,6988	0,001707	1703	1051	1774	1075	910	180	40	251,0	8
КСК4-12-02ХЛ3	136,02	1,0469	0,002580	1703	1551	1774	1575	1410	180	50	370,0	8

Коэффициент теплопередачи для калориферов типа КСК4 (теплоноситель — вода): $K_т = 15{,}9\ (v\rho)^{0{,}547}\omega^{0{,}17}$ Вт/(м².К).

Сопротивление проходу воздуха: $\Delta P = 1{,}88\ (v\rho)^{1{,}73}$ Па.

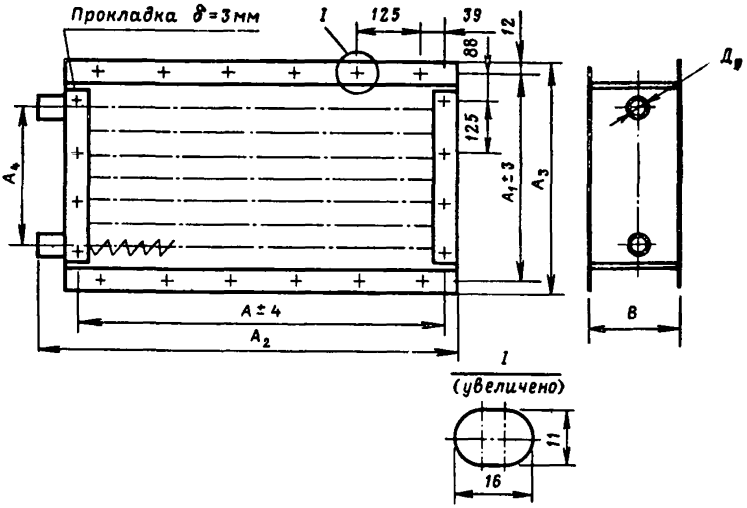

Рис. 8. Общий вид калориферов типов КВБА-П и КВСА-П

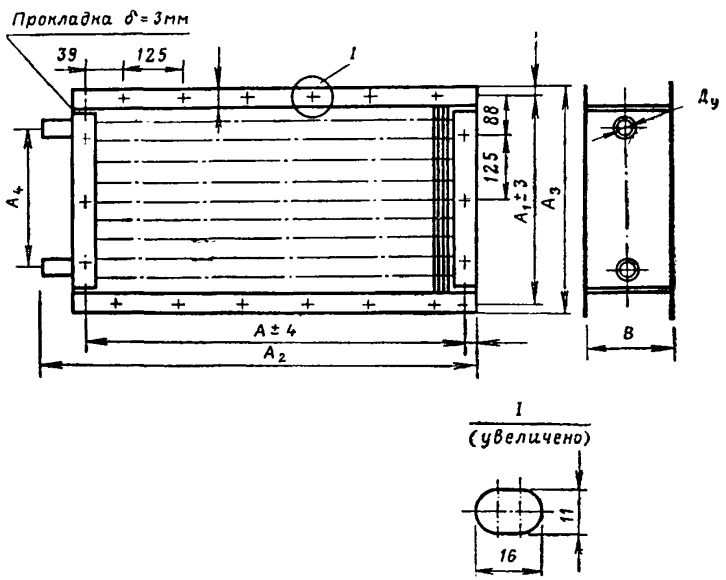

Рис. 9. Общий вид калориферов типов КСК3 и КСК4

калориферов от замерзания в них воды в аварийных ситуациях, изменение направления и формирование структуры воздушного потока.

1.5.1. Вспомогательное оборудование воздушного тракта

Вспомогательное оборудование воздушного тракта состоит из вентиляционных решеток, приточных камер и входных проемов, обеспечивающих формирование структуры и направление воздуш-

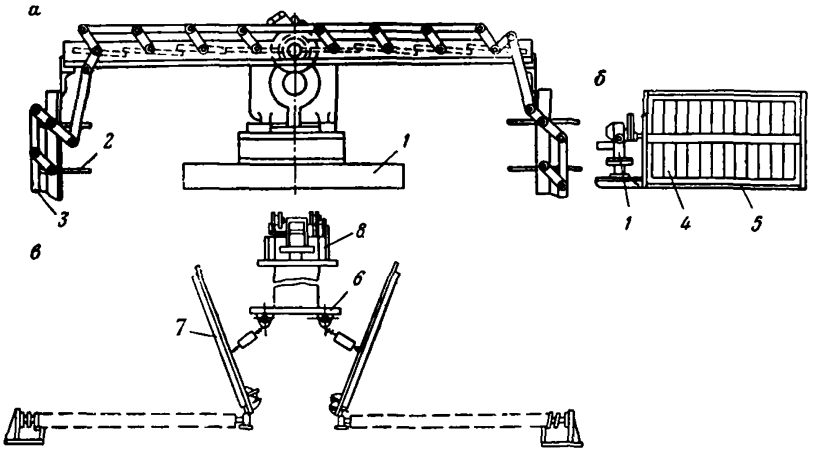

Рис. 10. Вспомогательное оборудование воздушного тракта, разработанное институтом Карагандагипрошахт:

а — жалюзийный дроссельный регулирующий орган смесительной камеры; *б* — поворотная заслонка воздуховода копра; *в* — противопожарная ляда вентиляционного канала; *1* — исполнительный механизм; *2* — створки; *3* — тяга; *4* — поворотная заслонка; *5* — корпус воздуховода; *6* — блок; *7* — противопожарная ляда; *8* — лебедки

ного потока, из воздуховода для подачи нагретого воздуха в копер, дроссельных регулирующих клапанов смесительной камеры, которые позволяют изменять соотношение нагретого и холодного воздуха, поступающего в смесительную камеру, дроссельного регулирующего клапана воздуховода копра и противопожарных ляд в вентиляционном канале вместе с электроприводом.

Все перечисленное оборудование, за исключением исполнительных механизмов дроссельных клапанов и привода противопожарных ляд, изготовляется индивидуально по чертежам проектных организаций. На рис. 10 показаны общие виды вспомогательного оборудования воздушного тракта, разработанного институтом Карагандагипрошахт.

1.5.2. Вспомогательное оборудование гидравлического тракта

К вспомогательному оборудованию гидравлического тракта относятся: арматура запорная для включения или отключения установки от тепловой сети; арматура предохранительная для защиты от недопустимого давления греющего энергоносителя; арматура регулирующая для направленного изменения расхода греющего энергоносителя; воздухоотводчики для удаления воздуха из трубной системы калориферов; грязевики для отделения от энергоносителя твердых включений во избежание выхода из строя арматуры; обратные клапаны, исключающие переток воды из подающего трубопровода тепловой сети в обратный при останове смесительного насоса; смесительные насосы для обеспечения непрерывного регулирования теплопроизводительности и защиты калориферов от замерзания в них воды.

В табл. 7 приведены перечень и основные характеристики запорной и предохранительной арматуры гидравлического тракта, используемой в калориферных установках. Выбор арматуры осуществляют в соответствии с требованиями СНиП I-33—75 и СНиП I-36—73 с учетом вида энергоносителя, рабочих и максимальных значений давления и температуры, а также необходимого диаметра условного прохода. При выборе предохранительного клапана и его настройке необходимо учитывать рабочее давление калориферов: $P=0{,}8$ и 1,2 МПа (для калориферов, изготовленных соответственно по ГОСТ 7201—62 и ГОСТ 7201—80).

На рис. 11 и 12 показаны конструкции и схемы проточных и автоматических воздухоотводчиков, а на рис. 13 — грязевиков. Данные конструкции изготавливаются индивидуально по рабочим проектам проектных организаций.

Регулирующие клапаны в гидравлическом тракте используются в калориферных установках со смесительными насосами для целенаправленного изменения расхода сетевой и подмешиваемой воды, поступающих в калориферы при изменении температуры атмосферного воздуха. Серийно выпускаемые регулирующие клапаны аттестуются по удельной пропускной способности, которая является основной гидравлической характеристикой клапана и количественно определяет объемный расход жидкости с плотностью 1 г/см^3 через клапан при полном открытии затвора и перепаде давления на нем $9{,}81 \cdot 10^{-2}$ МПа. Зависимость пропускной способности от перемещения затвора называется пропускной характеристикой. Регулирующие клапаны могут поставляться с линейной или равнопроцентной пропускной характеристикой. При линейной характеристике приращение пропускной способности пропорционально перемещению затвора, а при равнопроцентной — пропорционально текущему значению расхода.

Расходная характеристика регулирующего клапана определяет зависимость расхода энергоносителя от перемещения его затвора в рабочих условиях и значение коэффициента передачи клапана,

Таблица 7

Запорная и предохранительная арматура

Арматура	Шифр	Условное давление P_y, МПа	Предельно допустимая рабочая температура, °С	Условный проход D_y, мм	Привод
Вентиль запорный, муфтовый, чугунный	15ч8п2	1,5	225	15—80	Ручной
	15кч18п1	1,6	225	15—50	»
	15кч18п2	1,6	225	15—50	»
Вентиль запорный, фланцевый, чугунный	15ч9п2	1,6	225	25—50	»
	15ч14бр	1,6	225	65—200	»
	15кч16п	2,5	225	32—80	»
	15кч16бр	2,5	225	32—80	»
Вентиль запорный, фланцевый, стальной	15с22нж	4,0	425	40—200	»
Вентиль запорный, прямоточный, фланцевый, стальной	15с58нж	1,6	425	25—150	»
Вентиль запорный, с электроприводом, фланцевый, стальной	15с922нж	4,0	425	50—200	Электродвигательный
Вентиль запорный, с электромагнитным приводом, фланцевый	15кс77бр	1,6	150	25	Магнитный
		1,6	150	50	»
		0,6	150	65	»
Задвижка параллельная, чугунная	30ч6бр	1,0	225	50—400	Ручной
То же	30ч6бр	1,0	225	50—400	»
Задвижка клиновая, чугунная	31ч6нж	1,0	225	50—150	»
Задвижка параллельная, чугунная, с электроприводом	30ч906бр	1,0	225	100—400	Электродвигательный
Задвижка клиновая, чугунная, с электроприводом	31ч906нж	1,0	225	100—150	То же
Задвижка клиновая, стальная, с электроприводом	30с997нж	2,5	300	100—250	»
Клапан предохранительный, фланцевый, чугунный	17ч3бр1	1,6	225	25—50	Однорычажный
	17ч5бр	1,6	225	80—125	Двухрычажный
Клапан предохранительный, стальной	17с3нж	2,5	425	50—80	Однорычажный
	17с5нж	2,5	425	80—125	Двухрычажный
Клапан обратный, фланцевый, чугунный	16ч6бр	1,6	225	65—150	—
	16ч6п	1,6	225	65—150	
Клапан обратный, фланцевый, стальной	16с13нж	4,0	425	40—200	—
Клапан обратный, фланцевый, чугунный	19ч16бр	1,6	225	50—150	
	19ч16бр	1,0	225	200—300	—
Клапан обратный, фланцевый, стальной	19с17нж	4,0	425	50—600	—

используемого как регулирующий орган в системе автоматического регулирования. В общем случае расходная характеристика зависит как от пропускной характеристики клапана, так и от гидравлического сопротивления сети, в которую клапан включается в рабочих условиях.

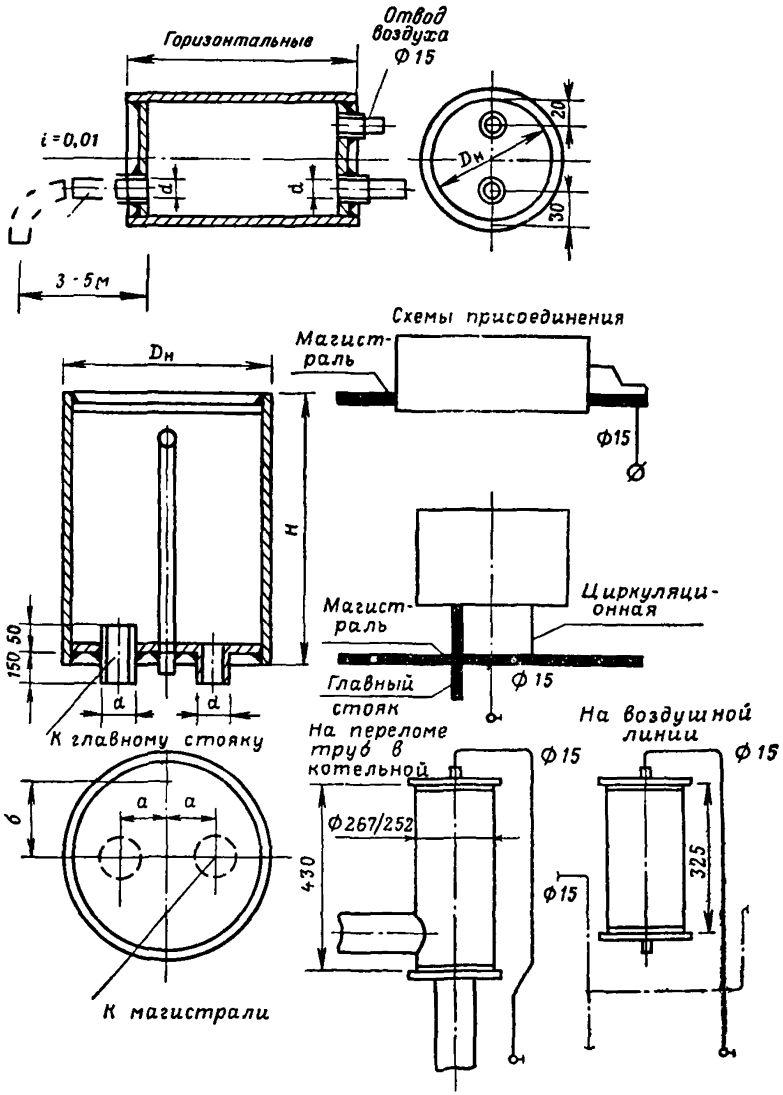

Рис. 11. Конструкции и схемы проточных воздухоотводчиков

Выбрать конкретные типоразмеры регулирующих клапанов для изменения расхода сетевой и подмешиваемой воды в калориферных установках со смесительными насосами можно только на основе гидравлического и теплового расчетов калориферной установки

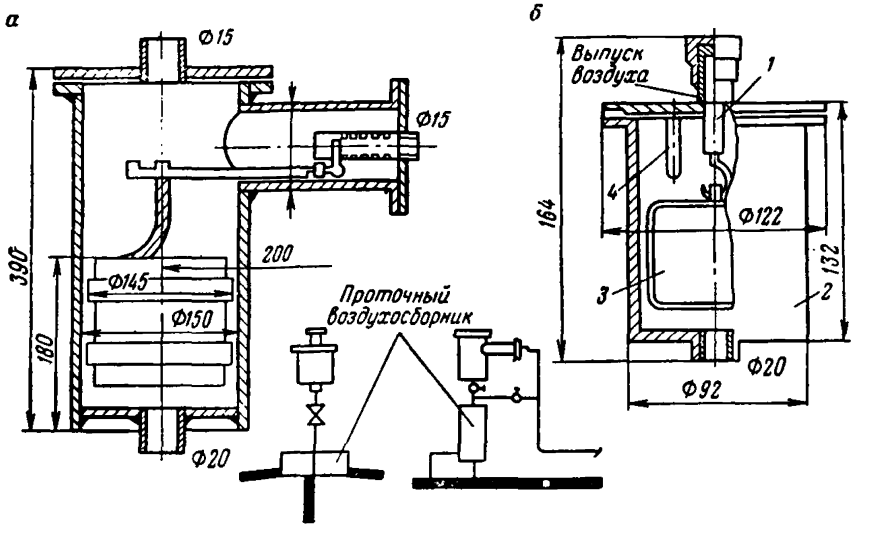

Рис. 12. Конструкции (*а* — А. В. Хлудова; *б* — ВНИИГС) и схемы автоматических воздухоотводчиков:

1 — клапан; *2* — корпус; *3* — поплавок; *4* — упор

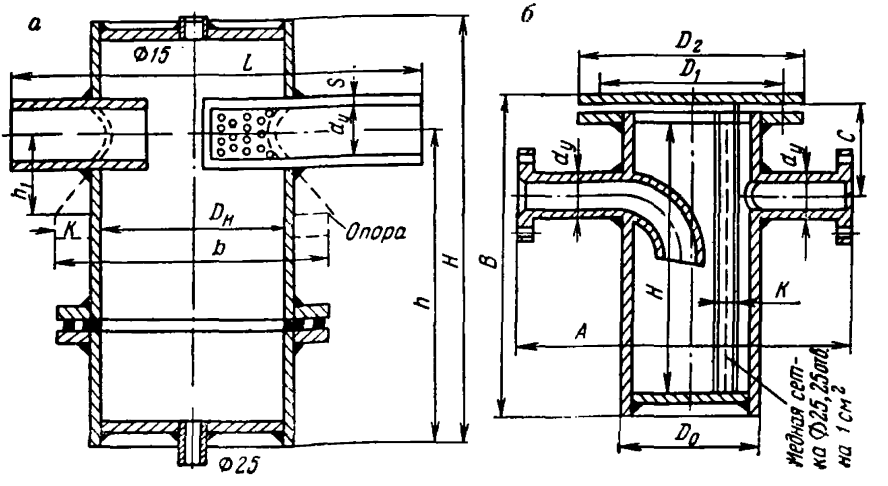

Рис. 13. Конструкции (*а* — Сантехмонтажпроект; *б* — с сеткой в корпусе) и схемы грязевиков

для максимальной и минимальной нагрузок. В табл. 8 приведены основные характеристики серийных регулирующих клапанов, пригодных для использования в калориферных установках.

Таблица 8.

Технические характеристики регулирующих клапанов

Клапан	Наибольшее допустимое рабочее давление P_y, МПа	Условный проход $Д_y$, мм	Площадь условного прохода F_y, мм	Допустимая рабочая температура T, °С	Условная пропускная способность K_{vy}, м³/с
6с-7-2	2,5	100	0,007	300	0,0686
6с-7-3	2,5	100	0,005	300	0,049
6с-7-4	2,5	150	0,014	300	0,1372
6с-7-5	6,4	150	0,083	300	0,08134
8с-7-1	6,4	50	0,0018	300	0,01764
9с-3-3-4	42,5	50	0,00029	425	0,002347
В-423-Э1	10	65	0,00065	230	0,00637
В-423-Э2	10	65	0,00125	230	0,01225
В-627-(4)	38	50	0,00038	280	0,003724
В-627-(5)	38	50	0,00062	280	0,006076
25ч931нж	1,6	40	0,001158	300	0,01111
25ч931нж	1,6	50	0,001824	300	0,0175
25ч931нж	1,6	80	0,004633	300	0,0444

Смесительные насосы устанавливают в помещении калориферной установки и используют как средство, во-первых, регулирования теплопроизводительности при изменении нагрузки в полном диапазоне и, во-вторых, защиты от замерзания воды в калориферах.

В качестве смесительных в калориферных установок могут применяться только серийные горячеводные насосы.

Таблица 9

Технические характеристики горячеводных насосов (температура рабочей среды до 105 °С)

Насос	Подача, м³/с · 10—4	Полный напор, кПа	Диаметр рабочего колеса, м · 10—3	Электродвигатель		
				тип	мощность, кВт	частота вращения, с—1
К8/18	16—39	200—140	128	АОЛ2-21-2	1,5	47,67
К20/30	28—83	340—235	162	АОЛ2-32-2	4	48,0
К20/18	30—61	205—170	129	АОЛ2-22-2	2,2	47,67
К45/55	83—167	600—420	218	АО2-62-2	17	48,33
К45/30	83—167	330—250	168	АО2-42-2	7,5	48,5
К90/85	194—390	930—590	272	АО2-82-2	55	48,7
К90/55	150—306	600—470	218	АО2-72-2	22	48,33
К90/35	189—334	360—265	174	АО2-62-2	17	48,33
К90/20	166—278	250—185	148	АО2-42-2	7,5	48,5
К160/30	305—665	350—235	328	АО2-72-4	30	24,25
К160/20	305—500	225—160	264	АО2-61-4	13	24,17
К290/30	560—950	320—245	315	АО2-81-4	40	24,25
К290/18	560—1005	205—120	268	АО2-71-4	22	24,25

В табл. 9 приведены типы и основные характеристики горячеводных насосов, пригодных для применения в калориферных установках.

1.6. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ УСТЬЯ СТВОЛА И НАДШАХТНОГО ЗДАНИЯ

Одной из причин неудовлетворительной работы шахтных калориферных установок (КУ) является недостаточная герметичность устья воздухоподающего ствола и надшахтного здания. При недостаточной герметичности имеют место большие подсосы наружного воздуха (до 50—60 % от общего расхода воздуха), которые обусловливают резкое уменьшение подачи тепла в ствол.

Для уменьшения подсосов воздуха и обеспечения нормальной работы шахтной КУ предусматривается ряд строительных и конструктивно-технологических мероприятий.

Надшахтное здание воздухоподающего ствола должно быть снабжено шлюзовыми камерами с герметическими дверями. Наличие шлюзовых камер обеспечивает постоянную герметичность надшахтного здания во время операций по обмену вагонеток.

Двери в герметических шлюзах должны быть автоматизированы или сблокированы так, чтобы открывание или закрывание их происходило попеременно. Основные габаритные размеры дверей и ворот, рекомендуемые для шлюзов и надшахтных зданий, принимаются с учетом возможности установки унифицированных клетей. Кроме автоматизированных дверей в шлюзах, через которые осуществляется движение вагонеток, необходимо предусматривать специальные двери для прохода людей. Благодаря шлюзовым камерам возможно также попутное воздушное отопление надшахтного здания частью воздуха, подогретого в калориферной установке.

Другим мероприятием, обеспечивающим нормальную работу шахтной калориферной установки, является герметизация устья ствола и отопление надшахтного здания с помощью воздушно-тепловых завес. Для этого стенки копра по всей высоте ограждают сплошной герметичной обшивкой, а на уровне подкопровой рамы все зазоры герметизируют и оставляют проемы для прохода клети. В устье ствола все зазоры между подкопровой рамой и крепью перекрывают железобетонной плиткой, а зазоры внутри копра — металлическими листами. Проем станка копра ограждают от приемной площадки герметичной дверью гильотинного типа. Двери передвигаются вверх-вниз по направляющим рельсам. При подходе клети к приемной площадке ее верхняя рама задевает за планки, прикрепленные к дверям, и поднимает их. При движении клети вниз дверь опускается на мягкие резиновые подушки.

В целях уменьшения подсосов воздуха необходима также герметизация практически всех элементов и узлов надшахтного здания (фундаменты, стены, перекрытия и пр.).

2. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК

Эффективное использование калориферных установок становится невозможным без создания и внедрения системы технического обслуживания и ремонта, учитывающей специфику технологии

нагрева воздуха в калориферных установках воздухоподающих стволов и источников теплоснабжения шахт. В основе системы технического обслуживания и ремонта калориферных установок лежат базовые понятия систем технического обслуживания и ремонта техники, регламентированных ГОСТ 18322—78, анализ работоспособности и эффективности эксплуатации калориферных установок в Карагандинском бассейне, методы и средства математической теории надежности [8] и математической теории технической диагностики [9].

1. Система технического обслуживания и ремонта калориферной установки — совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта, исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества технологического оборудования калориферной установки и обеспечения ее функционирования с заданными значениями технико-экономических показателей.

2. Техническое обслуживание калориферной установки — комплекс операций (работ) по поддержанию работоспособности или исправности технологического оборудования калориферной установки и обеспечению ее функционирования с заданными значениями технико-экономических показателей.

3. Ремонт калориферной установки—комплекс операций (работ) по восстановлению исправности или работоспособности технологического оборудования и восстановления ресурсов оборудования или его составных частей.

4. Средства технического обслуживания и ремонта — технологическое оснащение и сооружения, предназначенные для выполнения операций технического обслуживания и ремонта.

5. Метод технического обслуживания и ремонта калориферной установки — совокупность технологических и организационных правил выполнения операций технического обслуживания и ремонта.

6. Метод технического обслуживания эксплуатационным персоналом калориферной установки — выполнение технического обслуживания персоналом энергомеханической службы шахты.

7. Метод технического обслуживания калориферной установки специализированной организацией — выполнение технического обслуживания персоналом монтажно-наладочных управлений производственных объединений по добыче угля.

8. Ремонтно-наладочные работы технического обслуживания — обеспечение восстановления исправности технологического оборудования и изменение фактических показателей качества технологической схемы в направлении достижения допустимых значений, предусмотренных техническими требованиями.

9. Техническая диагностика калориферной установки — выполнение совокупности работ в целях определения технического состояния технологической схемы, компоновки технологического оборудования и аппаратуры автоматического управления.

10. Наладка калориферной установки — выполнение работ, обеспечивающих требуемое соответствие между фактическими и

допустимыми показателями качества технологической схемы калориферной установки, предусмотренными техническими требованиями.

11. Технология технического обслуживания калориферной установки — совокупность работ, необходимых и достаточных для достижения целей наладки, а также правила и порядок их выполнения.

12. Система технического обслуживания калориферной установки — совокупность работ технического обслуживания и совокупность средств их организационного, технологического, технического, нормативного и инструктивно-методического обеспечения.

2.1. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

Цель технического обслуживания калориферной установки заключается в обеспечении и поддержании ее безопасного и работоспособного функционирования с допустимым значением показателей качества технологической схемы. Система технического обслуживания калориферной установки является частью общей системы технического обслуживания объектов теплоснабжения шахт и должна отвечать следующим требованиям.

В соответствии со сложившимися в угольных бассейнах организационными формами технического обслуживания технологического оборудования шахт для калориферных установок воздухоподающих стволов целесообразны два вида обслуживания: периодическое и техническое с периодическим контролем.

Периодическое техническое обслуживание должно выполняться в течение отопительного сезона через интервалы времени, установленные в эксплуатационной документации на отдельные виды технологического оборудования, а также в летний период при подготовке калориферной установки к использованию в отопительном сезоне. Периодическое техническое обслуживание выполняется, как правило, силами энергомеханической службы шахты.

Техническое обслуживание с периодическим контролем должно выполняться в каждые три года и обеспечивать определение технического состояния технологической схемы калориферной установки и эффективное выполнение объема необходимых ремонтно-наладочных работ.

Техническое обслуживание с периодическим контролем выполняется обычно силами специализированного монтажно-наладочного управления.

Калориферная установка — один из объектов системы теплоснабжения шахты и поэтому ее техническое обслуживание должно выполняться в технологическом и организационном соответствии с процессами технического обслуживания источника теплоснабжения и тепловой сети.

Объектами технического обслуживания калориферной установки являются: калориферы, распределительная тепловая сеть внутри помещения калориферной установки, смесительные насосы,

запорная, предохранительная и регулирующая арматура, смесительная камера с дроссельными клапанами, проемы воздушного тракта с жалюзийными решетками, воздуховод копра вместе с его дроссельным клапаном, противопожарная ляда, строительные конструкции и средства герметизации копра и надшахтного здания, технологическая схема калориферной установки в целом, аппаратура электроснабжения и автоматизированного управления.

В зависимости от структурных и организационных особенностей энергомеханической службы конкретного угольного бассейна возможно техническое обслуживание калориферных установок персоналом энергомеханической службы шахты или специализированного монтажно-наладочного управления.

Результаты технического обслуживания с периодическим контролем должны отражаться в отчетно-технических документах установленного формата и содержания, утверждаемых главным механиком производственного объединения при техническом обслуживании специализированной организацией или главным механиком шахты при обслуживании персоналом шахты.

Производственный персонал, выполняющий работы по техническому обслуживанию, должен быть знаком с «Правилами технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей», «Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах», «Правилами устройства электроустановок».

Работы технического обслуживания с периодическим контролем должны выполняться после монтажа строящихся, либо реконструируемых установок, а также на всех действующих установках по утвержденному производственным объединением плану технического обслуживания.

Наладку аппаратуры электроснабжения и автоматизированного управления следует начинать после завершения наладки технологической схемы калориферной установки и продолжать как наладку системы автоматического управления, состоящей из объекта управления и аппаратуры управления.

Техническое обслуживание с периодическим контролем для технологической части калориферных установок должно предусматривать следующие виды работ: подготовительные, по технической диагностике воздушного тракта и технологической схемы, ремонтно-наладочные, по реконструкции, заключительные. Работы по технической диагностике, ремонтно-наладочные, подготовительные и заключительные выполняют после монтажа строящихся или реконструкции действующих установок и для всех действующих установок в соответствии с установленной периодичностью и планом технического обслуживания, утверждаемым энергомеханической службой производственного объединения.

Работы технического обслуживания с периодическим контролем необходимо выполнять со следующей периодичностью, установленной на основе анализа отказов и аварийных ситуаций технологи-

ческого оборудования калориферных установок шахт Карагандинского бассейна.

Первичную техническую диагностику воздушного тракта и технологической схемы действующих калориферных установок, направленную на определение состояния и необходимого объема ремонтно-наладочных работ, следует производить с периодичностью один раз в три года в зимний период.

Целью вторичной технической диагностики является установление эффективности ремонтно-наладочных работ и выполнять ее следует после завершения ремонтно-наладочных работ как на действующих, так и на строящихся или реконструируемых установках в зимний период.

Работы по технической диагностике производятся силами энергомеханической службы шахты или силами специализированного монтажно-наладочного управления в зависимости от принятых в бассейне методов технического обслуживания.

Ремонтно-наладочные работы выполняются один раз в три года в летне-осенний период после первичной технической диагностики.

Подготовительные и заключительные работы, направленные соответственно на подготовку и завершение технического обслуживания калориферной установки, выполняются с периодичностью технической диагностики и монтажно-наладочных работ.

Работы по реконструкции предусматривают коренное изменение воздушного тракта и технологической схемы. Выполняются они по результатам анализа первичной технической диагностики рядом отраслевых организаций с установленным разделением труда (проектная и монтажная организации, наладочное управление).

Ниже приведен объем основных работ технического обслуживания с периодическим контролем.

Подготовительные работы

1. Изучение проектной и эксплуатационной документации технологической части калориферной установки.

2. Внешний осмотр тепломеханического оборудования и подготовка ведомости состояния.

3. Подготовка технической документации на производство работ, устраняющих недопустимые отклонения от проектных решений.

4. Производство работ по устранению недопустимых отклонений от проектных решений.

5. Разработка программы работ по технической диагностике.

Техническая диагностика воздушного тракта

6. Определение объемного и массового расходов воздуха через калориферы при полной нагрузке их воздухом.

7. То же, через воздуховод копра при полной нагрузке калориферов воздухом.

8. То же, через дроссельный клапан для подачи подогретого воздуха в смесительную камеру.

9. То же, через вентиляционный канал смесительной камеры.
10. То же, через воздухоподающий ствол.
11. Определение степени неравномерности нагрузки калориферов воздухом.
12. Определение потери давления вентилятора главного проветривания на отдельных участках воздушного тракта при полной нагрузке калориферов воздухом.
13. Определение относительных подсосов холодного воздуха через неплотности в блоках калориферов, в копре и надшахтном здании, в регулирующем органе смесительной камеры и в целом по воздушному тракту.
14. Определение коэффициента гидравлического сопротивления и расходной характеристики дроссельного клапана смесительной камеры (для установок с регулированием теплопроизводительности изменением расхода воздуха через калориферы).
15. Определение относительных затрат мощности вентилятора главного проветривания на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки.
16. Обработка результатов аэродинамических испытаний.

Техническая диагностика технологической схемы калориферной установки

17. Определение температурных и расходных параметров стационарного режима работы калориферной установки.
18. Определение давления воды на входе и выходе из гидравлического тракта.
19. Определение гидравлического сопротивления калориферной установки по каналу греющего энергоносителя.
20. Определение коэффициентов гидравлических сопротивлений и расходных характеристик клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды (для установок со смесительными насосами).
21. Определение минимально допустимого располагаемого давления на гидравлическом тракте калориферной установки (для установок со смесительными насосами).
22. Определение характеристики смесительного насоса.
23. Определение отклонения массового расхода воды через калориферы от расчетного значения.
24. Определение отклонения температуры воды на входе и выходе из калориферов от температурного графика.
25. Определение отношения фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме.
26. Определение относительной управляемости теплопроизводительностью калориферной установки.
27. Определение коэффициента загрязнения поверхности нагрева калориферной установки.
28. Определение средней скорости воды в живом сечении калориферов.
29. Обработка результатов тепловых и гидравлических испытаний.

30. Анализ состояния технологической схемы калориферной установки.

31. Подготовка промежуточного отчета по технической диагностике.

32. Разработка задания на наладку сетевой водонагревательной установки.

33. Разработка задания на наладку тепловой сети.

Ремонтно-наладочные работы

34. Разработка программы работ по наладке калориферной установки.

35. Восстановление элементов оребрения калориферов.

36. Восстановление уплотнений между калориферами и на всех соединениях воздушного тракта.

37. Проверка работоспособности и ремонт средств герметизации надшахтного здания и устья ствола.

38. Ремонт жалюзийных решеток приточных проемов.

39. Проверка работоспособности и ремонт дроссельных клапанов смесительной камеры и клапана воздуховода копра.

40. Проверка работоспособности и ремонт противопожарных ляд.

41. Определение сечения направляющих заслонок, выравнивающих нагрузку калориферов воздухом.

42. Установка направляющих заслонок и экспериментальное определение углов их наклона.

43. Проверка работоспособности и ремонт исполнительных механизмов регулирующих клапанов смесительной камеры.

44. Расчет и изменение сечений отдельных участков воздушного тракта.

45. Продувка калориферов сжатым воздухом, паром или гидропневматическим способом.

46. Проверка работоспособности и ремонт запорной, регулирующей и предохранительной арматуры.

47. Проверка работоспособности и ремонт смесительных насосов.

48. Проверка работоспособности и ремонт исполнительных механизмов регулирующих клапанов.

49. Проверка работоспособности и ремонт приводов электрифицированных задвижек.

50. Проверка работоспособности и ремонт отборных устройств для датчиков температуры, давления, расхода воды на гидравлическом тракте.

51. Проверка работоспособности и ремонт датчика температуры воздуха в стволе.

52. Расчет компоновки калориферов и изменение способа их включения.

53. Гидропневматическая промывка гидравлического тракта.

54. Вскрытие и чистка грязевиков.

55. Опрессовка гидравлического тракта.

Работы по реконструкции калориферной установки

56. Разработка задания на полную реконструкцию калориферной установки.

57. Расчет оптимальной компоновки калориферов.

58. Расчет и выбор технологического оборудования воздушно-гидравлического тракта.

59. Расчет и выбор сечений элементов воздушного тракта.

60. Разработка рабочего проекта реконструкции.

61. Строительно-монтажные работы по полной реконструкции калориферной установки.

Заключительные работы

62. Подготовка технического паспорта калориферной установки.

63. Подготовка заключительного отчета по наладке калориферной установки.

Основные работы периодического технического обслуживания должны выполняться в следующем объеме.

1. Техническое обслуживание электропривода противопожарных ляд, исполнительных механизмов регулирующих клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды, дроссельных клапанов смесительной камеры, дроссельного клапана воздуховода копра, электропривода электрифицированных задвижек, вентилей с электромагнитными приводами по регламенту эксплуатационной документации заводов-изготовителей.

2. Техническое обслуживание смесительных насосов и их привода по регламенту эксплуатационной документации заводов-изготовителей.

3. Продувка калориферов сжатым воздухом, паром или гидропневматическим способом.

4. Гидропневматическая промывка гидравлического тракта.

5. Вскрытие и чистка грязевиков.

6. Опрессовка гидравлического тракта.

2.2. СИСТЕМА РЕМОНТА

Система ремонта является частью общей системы ремонта горношахтного оборудования производственного объединения по добыче угля и направлена на восстановление работоспособности и ресурсов технологического оборудования калориферной установки. В систему ремонта входят: текущий ремонт, ремонт по техническому состоянию и капитальный ремонт. В зависимости от организации ремонтной службы возможны методы ремонта калориферных установок эксплуатирующей (шахтой) или специализированной организацией (монтажно-наладочным управлением, заводом по ремонту горношахтного оборудования).

Текущий ремонт выполняется в процессе эксплуатации для обеспечения или восстановления работоспособности технологического

оборудования и заключается в замене и (или) восстановлении отдельных его частей. Текущий ремонт в калориферных установках является неплановым и проводится в целях устранения последствий отказов технологического оборудования в отопительном сезоне. Объектом текущего ремонта может быть любой вид технологического оборудования калориферной установки или любая часть оборудования. Текущий ремонт выполняется силами энергомеханической службы шахты.

Ремонт по техническому состоянию технологического оборудования калориферной установки является плановым ремонтом и выполняется ежегодно в весенне-летний период силами энергомеханической службы шахты.

В объем ремонта по техническому состоянию входят следующие работы:

восстановление элементов оребрения калориферов;

восстановление уплотнений между калориферами и на всех соединениях воздушного тракта;

проверка работоспособности и ремонт средств герметизации устья ствола и надшахтного здания;

ремонт жалюзийных решеток приточных проемов;

проверка работоспособности и ремонт дроссельных клапанов смесительной камеры, воздуховода копра и их приводов;

ремонт противопожарных ляд и их приводов;

вскрытие и ремонт запорной, дренажной, воздухоотводящей и регулирующей арматуры (задвижек, вентилей, регулирующих, обратных, предохранительных клапанов), притирка уплотняющих поверхностей, набивка или смена сальниковых уплотнений, смена прокладок, подтяжка болтовых соединений;

проверка работоспособности и ремонт исполнительных механизмов регулирующих клапанов;

проверка работоспособности и ремонт насосов: вскрытие, осмотр дисков, смена набивки сальниковых уплотнений, смена подшипников;

проверка работоспособности и ремонт электрических приводов запорной арматуры;

смена и ремонт гильз для термометров и кранов для контрольно-измерительных приборов;

разборка и очистка импульсных линий, измерительных диафрагм;

сварка отдельных стыков труб с восстановлением антикоррозийных покрытий.

Один раз в три года ремонт по техническому состоянию включается в объем ремонтно-наладочных работ, выполняемых по плану технического обслуживания с периодическим контролем силами специализированного монтажно-наладочного управления.

Капитальный ремонт — это ремонт, выполняемый для восстановления неисправности и полного (или близкого к полному) восстановления ресурса установки с заменой или восстановлением любых частей установки, включая базовые.

В объем капитального ремонта входят все ремонтные работы по техническому состоянию, а также:

замена задвижек или другой запорной, регулирующей, предохранительной арматуры;

замена или ремонт со сменой деталей электрических приводов задвижек и исполнительных механизмов регулирующих органов;

замена или ремонт со сменой деталей насосов, грязевиков;

замена или ремонт со сменой деталей дроссельных клапанов смесительной камеры, воздуховода копра;

замена разводящей трубопроводной сети;

замена опорных конструкций калориферов;

расширение входных проемов воздушного тракта;

расширение смесительной камеры;

замена или ремонт дроссельных клапанов смесительной камеры.

Капитальный ремонт должен выполняться силами специализированной монтажно-наладочной организации с периодичностью в шесть лет.

При соответствующей организации технического обслуживания и ремонта в бассейне определенный объем работ капитального ремонта может входить в объем ремонтно-наладочных работ, выполняемых специализированной организацией по плану технического обслуживания с периодическим контролем, а основной объем строительно-монтажных работ должен выполняться специализированными строительными и ремонтными организациями.

2.3. ТЕХНОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК С ПЕРИОДИЧЕСКИМ КОНТРОЛЕМ

Обобщение опыта технического обслуживания калориферных установок шахт Карагандинского бассейна позволило установить согласованную последовательность выполнения работ и структуру технологии технического обслуживания, под которой будем понимать множество работ и определенные между этими работами отношения порядка их выполнения.

Для наглядного графического представления о структуре технического обслуживания воспользуемся направленным графом, узлам которого будут соответствовать виды работ, а дугам (связям) — отношения порядка (последовательности) их выполнения.

На рис. 14 показана общая структура технологии, где работа, связанная с принятием решения, обозначена P_i, а все остальные работы — A_i. Индекс i во всех работах соответствует номеру работы из приведенного в 2.1 объема работ по техническому обслуживанию. Внешняя связь на работу A_1 означает начало работ по обслуживанию, которые становятся возможными после утверждения плана технического обслуживания калориферных установок в энергомеханической службе производственного объединения и наладочного управления. Работы технической диагностики в основном выполняются последовательно, а большая часть ремонтно-наладочных работ воздушного тракта и технологической схемы —

параллельно во времени и пространстве. Структура имеет циклический характер, так как техническая диагностика калориферной установки состоит из первичной, выполняемой для определения фактического состояния и необходимого объема ремонтно-наладоч-

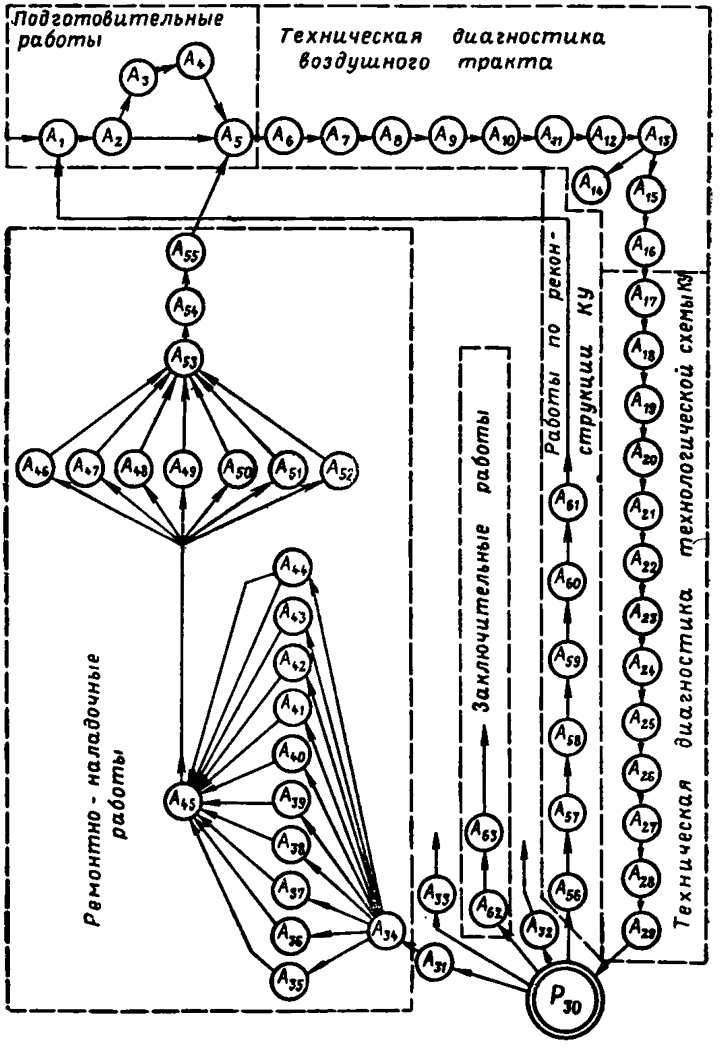

Рис. 14. Структура технологии технического обслуживания с периодическим контролем

ных работ, и вторичной, при которой устанавливается эффективность наладочных работ.

Внешняя связь от работы A_{63} означает конец наладочных работ, а внешние связи от работ A_{32} и A_{33} — подключение к процессу наладки калориферной установки наладочных работ на тепловой сети и сетевой водонагревательной установке.

Если в процессе первичной технической диагностики состояние калориферной установки окажется в целом недопустимым, то выполняется полный объем работ по реконструкции ($A_{56} - A_{61}$) и затем полный объем работ технического обслуживания, начиная с работы A_1.

Рассматриваемая структура технологии обслуживания является общей для калориферных установок со смесительными насосами и без насосов. В зависимости от особенностей технологической схемы конкретной калориферной установки и ее состояния может быть разработана технологическая структура обслуживания конкретной обслуживаемой калориферной установки. Разработка конкретной технологии обслуживания выполняется для каждой калориферной установки на этапе подготовки программ работ по технической диагностике и наладке. В технологии обслуживания конкретной установки могут отсутствовать некоторые работы из общего перечня, не свойственные данной установке.

2.4 ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

При ремонтно-наладочных работах должно ликвидироваться несоответствие между фактическими и заданными значениями показателей качества технологической схемы калориферной установки, которое возникает под действием многих факторов, оказывающих влияние на технологическую схему в процессе проектирования, монтажа и эксплуатации. Такими факторами являются:

несоответствие фактических и проектных параметров греющего энергоносителя;

ошибочность исходных данных при проектировании;

ошибочность или неточность методик проектирования;

неудовлетворительное качество выполнения строительно-монтажных работ;

несоответствие фактически установленного оборудования проекту;

нарушение правил эксплуатации технологического оборудования;

плановое увеличение расхода воздуха через ствол.

Добиться абсолютного соответствия фактических и заданных значений показателей качества технологической схемы не представляется возможным, однако из практики ремонтно-наладочных работ установлены практически достижимые допустимые значения, отвечающие требуемой эффективности функционирования калориферной установки.

Качество технологической схемы калориферной установки в процессе ее технического обслуживания удобно оценивать следующей системой показателей, для каждого из которых установлены допустимые значения.

1. Отклонение температуры воды на входе в калориферы от температурного графика должно быть меньше или равно 2 %:

$$\psi_{t\,вх} = \frac{(t_{о.н.р} - t_{о.н})}{t_{о.н.р}} 100,$$

где $t_{о.н.р}$, $t_{о.н}$ — температура воды на входе в калориферы соответственно по температурному графику и фактическая температура воды, полученная в процессе технической диагностики, °С.

2. Отклонение массового расхода воды через калориферы от расчетного значения должно быть меньше или равно 5 %

$$\psi_G = \frac{|G_{о.р} - G_о|}{G_{о.р}} 100,$$

где $G_{о.р}$, $G_о$ — соответственно расчетный и фактический массовые расходы воды через калориферы, кг/с.

3. Давление воды на входе в гидравлический тракт должно быть не более 1,2 МПа по условию механической прочности калориферов и не менее 0,3 МПа или 0,5 МПа в зависимости от принятого в системе теплоснабжения температурного графика по условию невскипания воды.

4. Давление воды на выходе из гидравлического тракта должно быть больше или равно 0,1 МПа.

5. Отношение фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме должно быть меньше или равно 110 % и больше или равно 100 %:

$$\psi_Q = \frac{Q_ф}{Q_т} 100,$$

где $Q_ф$, $Q_т$ — соответственно фактическая и требуемая теплопроизводительность в расчетном режиме, кВт.

6. Относительная управляемость теплопроизводительностью.

Если в калориферной установке регулирование теплопроизводительности осуществляется изменением расхода воздуха через калориферы с помощью дроссельных клапанов смесительной камеры, то относительная управляемость теплопроизводительностью должна быть больше или равна 85 %:

$$\psi_{ув} = \frac{Q_{ф.о.в} - Q_{ф.з.в}}{Q_{ф.о.в}} 100,$$

где $Q_{ф.о.в}$, $Q_{ф.з.в}$ — фактическая теплопроизводительность, вычисленная по параметрам греющего теплоносителя при положениях дроссельного клапана смесительной камеры соответственно «Открыто» и «Закрыто», кВт.

Для калориферных установок со смесительными насосами регулирование теплопроизводительности осуществляется с помощью дроссельных клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды, и относительная управляемость теплопроизводительностью должна определяться для каждого клапана.

Относительная управляемость теплопроизводительностью расходом сетевой воды должна быть больше или равна 60 %:

$$\psi_{у.о} = \frac{Q_{ф.о.с} - Q_{ф.з.с}}{Q_{ф.о.с}} 100,$$

где $Q_{ф.о.с}$, $Q_{ф.з.с}$ — фактическая теплопроизводительность калориферной установки, вычисленная по параметрам греющего теплоноси-

теля при положениях дроссельного клапана подачи сетевой воды соответственно «Открыто» и «Закрыто», кВт.

Относительная управляемость теплопроизводительностью расходом подмешиваемой воды должна быть больше или равна 30 %:

$$\psi_{у.п} = \frac{Q_{ф.з.п} - Q_{ф.о.п}}{Q_{ф.з.п}} 100,$$

где $Q_{ф.з.п}$, $Q_{ф.о.п}$ — фактическая теплопроизводительность калориферной установки, вычисленная по параметрам греющего теплоносителя при положениях дроссельного клапана подачи подмешиваемой воды соответственно «Закрыто» и «Открыто», кВт.

7. Коэффициент загрязнения поверхности нагрева калориферной установки должен быть меньше или равен 20 %:

$$\psi_з = \left(1 - \frac{K_{tф}}{K_{tк}}\right) 100,$$

где $K_{tф}$, $K_{tк}$ — соответственно фактический и каталожный коэффициенты теплопередачи калориферной установки, определенные в процессе технической диагностики, кВт/(м^2·°С).

8. Средняя скорость воды в живом сечении калориферов должна быть $\geqslant$ 0,3 м/с и $\leqslant$ 0,8 м/с.

9. Отклонение температуры воды на выходе из калориферов от температурного графика должно быть $\leqslant 5 \div 10$ %:

$$\psi_{t\ вых} = \frac{t_{о.кр} - t_{о.к}}{t_{о.кр}} 100,$$

где $t_{о.кр}$, $t_{о.к}$ — температура воды на выходе из калориферов соответственно по температурному графику и фактическая, °С.

10. Степень неравномерности нагрузки колонн калориферов воздухом должна быть $\leqslant$15 %:

$$\psi_{нк} = \frac{G_б - G_м}{G_б} 100,$$

где $G_б$, $G_м$ — массовый расход воздуха через соответственно более и менее нагруженный калорифер определенной колонны и определенного блока калориферов, кг/с.

11. Относительные подсосы воздуха (холодного) через все неплотности воздушного тракта должны быть $\leqslant$20 %:

$$\psi_{под} = \frac{G_с - G_к}{G_с} 100,$$

где $G_с$, $G_к$ — массовый расход воздуха через соответственно воздухоподающий ствол и калориферы калориферной установки, кг/с.

12. Относительные затраты мощности вентилятора главного проветривания на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки должны быть $\leqslant$10 %:

$$\psi_N = \frac{N_к}{N_в} 100,$$

где $N_в$, $N_к$ — соответственно установленная мощность работающих вентиляторов главного проветривания и мощность, затрачиваемая не преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки, кВт.

Допустимые значения показателей качества функционирования действующих калориферных установок получены по данным анализа и обобщения многолетнего опыта технической диагностики на шахтах Карагандинского угольного бассейна.

Техническая диагностика технологической схемы позволяет получить фактические значения показателей качества, сравнить их с допустимыми значениями и объяснить причины их несоответствия. По выявленным причинам несоответствия показателей можно определить и выполнить определенный объем ремонтно-наладочных работ, которые обеспечат изменение фактических показателей качества в направлении допустимых значений и добиться допустимого качества функционирования калориферной установки.

2.5. УСЛОВИЯ ДОПУСТИМОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Состояние технологической схемы калориферной установки удобно количественно оценивать с помощью системы неравенств, объединяющих фактические и допустимые значения показателей качества технологической схемы.

Фактические значения температуры, давления и расхода воды на входе в калориферную установку определяют успешность наладки и регулировки системы теплоснабжения в целом. Состояние термодинамических и расходных параметров греющего энергоносителя на входе в калориферную установку определяется следующей системой неравенств:

$$\psi_{t\,вх} = \frac{(t_{о.н.р} - t_{о.н})}{t_{о.н.р}} 100\ \% < 2\ \%; \qquad (1)$$

$$\psi_G = \frac{(G_{о.р} - G_о)}{G_{о.р}} 100\ \% < 5\ \%; \qquad (2)$$

$$0{,}3 - 0{,}5\ МПа < P_п < 1{,}2\ МПа; \qquad (3)$$

$$P_о \geqslant 0{,}1\ МПа. \qquad (4)$$

Допустимое значение температуры воды $t_{о.н.р}$ определяется по температурному графику качественного регулирования, принятому в системе теплоснабжения в зависимости от температуры атмосферного воздуха. Если условие (1) выполняется, то имеет место допустимое качество работы сетевой нагревательной установки и системы автоматического регулирования температуры воды в подающем трубопроводе. В противном случае водонагревательная установка и система автоматического регулирования нуждаются в наладке.

Если выполняется условие (2), то можно считать допустимым поступление воды в калориферную установку. В противном случае

следует изменить массовый расход воды через калориферы в нужном направлении путем реализации мероприятий по наладке и регулировке тепловой сети. Если при этом $G_o > G_{o.p}$ то причиной является избыточное располагаемое давление на входе гидравлического тракта калориферной установки. Соотношение $G_o < G_{o.p}$ может быть результатом либо заниженного располагаемого давления на входе гидравлического тракта, либо завышенного сопротивления гидравлического тракта. Возрастание гидравлического сопротивления тракта возможно из-за засорения или отказов запорной арматуры. При $G_o > G_{o.p}$ наладочные мероприятия связаны с расчетом и установкой дроссельной диафрагмы, гасящей избыточное располагаемое давление, а при $G_o < G_{o.p}$ с расчетом и реализацией нового гидравлического режима системы теплоснабжения или с проверкой, восстановлением запорной арматуры и промывкой гидравлического тракта.

Если условия (3) и (4) выполняются, то гидравлический режим калориферной установки по давлениям является нормальным. В противном случае необходимо изменить гидравлический режим по давлениям в нужном направлении путем реализации мероприятий по наладке и регулировке тепловой сети.

При нарушении верхней или нижней границы давления на входе в гидравлический тракт требуется разработка и реализация нового гидравлического режима системы теплоснабжения, обеспечивающего такое давление в подающем трубопроводе, которое исключало бы разрушение калориферов или вскипание перегретой воды. Если давление на выходе из гидравлического тракта будет $<0{,}1$ МПа, то требуются разработка и реализация нового гидравлического режима системы теплоснабжения, так как при заниженном давлении в обратном трубопроводе возможна кавитация сетевых, подпиточных и смесительных насосов, а также подсосы воздуха в тепловую сеть и калориферы.

Состояние воздушного тракта и технологической схемы калориферной установки в целом определяются системой неравенств (5)—(12):

$$100\ \% \leqslant \psi_Q = \frac{Q_{\text{ф.р}}}{Q_{\text{т}}}\ 100\ \% \leqslant 110\ \%; \tag{5}$$

$$\psi_{\text{у.в}} \geqslant 85\ \%;\quad \psi_{\text{у.о}} \geqslant 60\ \%;\ \psi_{\text{у.п}} \geqslant 30\ \%; \tag{6}$$

$$\psi_{\text{з}} = \left(1 - \frac{K_{t\,\text{ф}}}{K_{t\,\text{к}}}\right) 100\ \% \leqslant 20\ \%; \tag{7}$$

$$0{,}3 \leqslant w_{\text{ср}} \leqslant 0{,}8\ \text{м/с}; \tag{8}$$

$$-10\ \% \leqslant \psi_{t\ \text{вых}} = \frac{t_{\text{о.к.р}} - t_{\text{о.к}}}{t_{\text{о.к.р}}}\ 100\ \% \leqslant +5\ \%; \tag{9}$$

$$\psi_{\text{н.к}} = \frac{G_{\text{б}} - G_{\text{м}}}{G_{\text{б}}}\ 100\ \% \leqslant 15\ \%; \tag{10}$$

$$\psi_{под} = \frac{G_с - G_к}{G_с} 100\ \% \leqslant 20\ \%; \qquad (11)$$

$$\psi_N = \frac{N_к}{N_в} 100\ \% < 10\ \%. \qquad (12)$$

Если неравенство (5) выполняется, то состояние технологической схемы допустимо и не требуется планирование наладочных мероприятий. Если неравенство (5) не выполняется и при этом $\psi_Q > 110\ \%$, то состояние технологической схемы недопустимо, так как установка имеет резерв теплопроизводительности больше нормативного значения. Этот резерв может быть вызван либо работой установки на завышенных параметрах греющего энергоносителя, либо избытком установленных и подключенных к сети калориферов. Наладочные мероприятия в этой ситуации связаны с определением нормативной теплоотдающей поверхности и отключением избыточных блоков калориферов. Если неравенство (5) не выполняется и при этом $\psi_Q < 100\ \%$, то состояние технологической схемы недопустимо. Наладочные мероприятия при этом связаны с расчетом и монтажом новой компоновки калориферов, а также повторной технической диагностикой в целях определения эффективности наладочных мероприятий.

Если условие (6) выполняется, то дроссельные клапаны смесительной камеры или клапаны подачи сетевой и подмешиваемой воды могут использоваться в системе автоматического регулирования теплопроизводительности как регулирующие органы. Если же условие (6) не выполняется, то дроссельные клапаны смесительной камеры или подачи сетевой или подмешиваемой воды непригодны к эксплуатации в качестве регулирующих органов в системе регулирования теплопроизводительности и средства защиты калориферов от замерзания в них энергоносителя в аварийных ситуациях из-за большого свободного пропуска в закрытом положении. При этом требуются ремонт и наладка дроссельных клапанов смесительной камеры, либо замена дроссельных клапанов подачи сетевой или подмешиваемой воды, либо замена подмешивающего насоса.

Если условие (7) выполняется, то состояние теплоотдающей поверхности калориферной установки считается удовлетворительным и никаких наладочных мероприятий не требуется. Если же условие (7) не выполняется, то расхождение между фактическим и каталожным значениями коэффициента теплопередачи недопустимо из-за значительных отложений пыли и грязи на наружной поверхности теплообмена и солей жесткости на внутренних поверхностях трубок калориферов. В этом случае необходимы ремонтно-наладочные работы: промывка гидравлического тракта; очистка поверхностей теплообмена, очистка трубок калорифера от отложений солей.

Если условие (8) выполняется, то отсутствуют технологические предпосылки к замерзанию энергоносителя в трубках калориферов в аварийных ситуациях, а также в условиях нормальной эксплу-

атации при пониженной нагрузке (при высоких температурах наружного воздуха). Эксперименты по замерзанию воды в калориферах показывают, что при скоростях воды $<0{,}3$ м/с и направлении потока снизу вверх наблюдается срыв циркуляции в части трубок из-за влияния противодействующего гравитационного напора переохлажденной воды. Поэтому компоновка калориферов и расход греющей воды через любой из блоков калориферов в условиях нормальной эксплуатации должны обеспечивать скорость воды в трубках калориферов не менее 0,3 м/с. В противном случае требуются наладочные мероприятия, которые в основном связаны с изменением компоновки калориферов в направлении уменьшения живого сечения блоков, если расход воды через калориферы соответствует требуемому расчетному значению. Если расход воды занижен, то вначале выполняются мероприятия по обеспечению расчетного расхода, а затем выполняется расчет и реализация новой компоновки. Если скорость воды более 0,8 м/с, то состояние технологической схемы недопустимо из-за повышенного уровня шума и увеличенных потерь давления воды на гидравлическом тракте. Наладочные мероприятия при этом связаны с изменением компоновки в направлении увеличения живого сечения блоков калориферов или уменьшением расхода воды, если он превышает расчетное значение.

При выполнении условия (9) состояние технологической схемы по этому показателю допустимо. Невыполнение же условия (9) и соотношения $t_{ок} > t_{окр}$ может быть результатом завышенной скорости воды через калориферы, уменьшенной поверхности нагрева блоков калориферов, превышения уровня подсосов воздуха через копер и устье ствола, завышенных температуре воды на входе в калориферы и расходе воды через калориферы. Если же условие (9) не выполняется и $t_{ок} < t_{окр}$, причинами могут быть завышенное число колонн последовательного соединения в блоке, заниженный расход воды через калориферы, заниженная температура воды на входе в калориферы и завышенный расход воздуха через калориферы. Наладочные мероприятия при невыполнении условия (9) должны разрабатываться на основе комплексного анализа неравенств (1)—(5) и (8)—(11) и предусматривать изменение компоновки калориферов, наладку и регулировку тепловой сети, герметизацию копра и устья ствола.

Неравенство (10) проверяется для всех колонн во всех ярусах и всех рядах. Если оно выполняется для всех колонн, то состояние технологической схемы по этому показателю допустимо. Если же неравенство не выполняется, то это свидетельствует о недопустимой неравномерности нагрузки калориферов воздухом в связи со снижением эффективности теплосъема с установленной теплоотдающей поверхности. Основными наладочными мероприятиями являются установки направляющих заслонок, увеличивающих расход воздуха через ненагруженные калориферы. Ширина направляющей заслонки соответствует ширине калориферов, а угол наклона определяется экспериментально в процессе наладочных работ.

При выполнении неравенства (11) состояние технологической схемы по величине подсосов холодного воздуха допустимо. Если же неравенство (11) не выполняется, то расход воздуха через неплотности воздушного тракта слишком велик и основными наладочными мероприятиями при этом являются герметизация устья ствола и копра, уплотнение дроссельного клапана смесительной камеры по холодному воздуху, уплотнение стыков между калориферами.

Выполнение условия (12) свидетельствует о том, что состояние воздушного тракта калориферной установки по этому показателю допустимо, так как затраты энергии на перемещение воздуха экономически оправданы. Если же условие (12) не выполняется, то имеют место завышенные потери давления на воздушном тракте калориферной установки из-за больших аэродинамических сопротивлений отдельных участков воздушного тракта. При наладочных мероприятиях в этих случаях увеличивают живое сечение участков воздушного тракта с завышенными потерями давления.

2.6. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Сравнение фактических значений показателей качества функционирования технологической схемы, полученных в процессе технической диагностики, и их допустимых значений позволяет обнаружить допустимость состояния технологической схемы по каждому показателю и в целом. Результаты состояния удобно отражать в табличной форме (приложение 1).

Состояние технологической схемы допустимо в целом, если фактические значения всех показателей качества технологической схемы удовлетворяют вышеперечисленным условиям. Если не выполняется одно или несколько условий, то состояние технологической схемы частично допустимо и после выполнения наладочных мероприятий может быть достигнуто допустимое состояние.

Если одновременно не выполняются все 12 условий допустимости состояния, то состояние технологической схемы недопустимо и требуется реконструкция обслуживаемой калориферной установки.

При разработке задания на реконструкцию используются как результаты обработки аэродинамических, тепловых и гидравлических испытаний, так и анализ состояния технологической схемы. Результаты анализа состояния используются для определения объема ремонтно-наладочных работ.

2.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА РЕМОНТНО-НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Многолетний опыт технического обслуживания калориферных установок шахт Карагандинского бассейна позволил разработать удобный способ определения объема ремонтно-наладочных работ по результатам анализа состояния воздушного тракта и технологической схемы. Способ заключается в применении таблицы

Таблица 10

Таблица решений по возможному объему ремонтно-наладочных работ

Отклонение показателей качества от допустимых значений	Возможная причина отклонения	Возможное состояние зависимых параметров воздушного и гидравлического трактов	Возможный объем ремонтно-наладочных работ
1. Отношение фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме >110 %	1. Фактический массовый расход теплоносителя превышает расчетный	1. Температура обратной воды выше расчетной по температурному графику 2. Фактическая скорость воды в трубках калориферов выше требуемого значения. 3. Температура воздуха в стволе >+5 °С	1.1. Расчет дроссельных органов для установки на гидравлическом тракте 1.2. Установка дроссельных органов на подающем или обратном трубопроводе гидравлического тракта
	2. Температура воды в подающем трубопроводе превышает расчетную по температурному графику	1. Температура воды в обратном трубопроводе выше расчетной по температурному графику 2. Температура воздуха в стволе >+5 °С	1.3. Разработка задания на наладку сетевой водонагревательной установки 1.4. Наладка технологического оборудования и аппаратуры автоматики сетевой водонагревательной установки
	3. Фактически установленная тепловая мощность калориферной установки больше расчетной при расчетных параметрах греющего и нагреваемого энергоносителей	1. Температура обратной воды ниже расчетной по температурному графику 2. Температура воздуха в стволе >+5 °С	1.5. Уменьшить расход воздуха через калориферы и увеличить расход холодного воздуха в смесительную камеру с помощью дроссельных клапанов смесительной камеры 1.6. При отклонении фактической установленной мощности более чем на 10 % произвести расчет новой компоновки калориферов и выполнить монтаж по расчетной схеме
	4. Температурный график качественного регулирования, принятый в системе теплоснабжения, не соответствует требуемому значению температуры воздуха в стволе	1. Температура воды в обратном трубопроводе выше расчетной по температурному графику 2. Температура воздуха в стволе > +5°С	1.7. Расчет и выбор смесительного насоса, регулирующих клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды, их исполнительных механизмов
2. Отношение фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме <100 %	1. Фактический массовый расход теплоносителя меньше расчетного из-за заниженного располагаемого давления на вводе калориферной установки	1. Фактическая скорость теплоносителя в трубках калориферов меньше расчетной 2. Температура обратной воды меньше расчетной по температурному графику 3. Температура воздуха в стволе <+2 °С	1.8. Монтаж смесительного насоса, регулирующих клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды и исполнительных механизмов 2.1. Разработка задания на наладку тепловой сети 2.2. Расчет нового гидравлического режима работы тепловой сети 2.3. Регулировка тепловой сети
	2. Фактический массовый расход теплоносителя меньше расчетного из-за завышенного сопротивления гидравлического тракта калориферной установки при расчетном живом сечении по теплоносителю	1. Температура воды в обратном трубопроводе ниже расчетной по температурному графику 2. Скорость теплоносителя в трубках калориферов ниже расчетной 3. Температура воздуха в стволе <+2 °С	2.4. Проверка работоспособности и ремонт запорной, дренажной, предохранительной и регулирующей арматуры гидравлического тракта калориферной установки 2.5. Промывка гидравлического тракта 2.6. Вскрытие и очистка грязевиков 2.7. Опрессовка гидравлического тракта 2.8. Перерасчет дроссельных регулирующих органов на гидравлическом тракте 2.9. Установка скорректированных дроссельных регулирующих органов на гидравлическом тракте
	3. Температура теплоносителя на входе в калориферную установку меньше расчетной по температурному графику	1. Температура воды в обратном трубопроводе ниже расчетной по температурному графику 2. Температура воздуха в стволе <+2°С	2.10. Разработка задания на наладку сетевой водонагревательной установки 2.11. Наладка технологического оборудования и аппаратуры автоматики сетевой водонагревательной установки 2.12. При разрегулировке тепловой сети разработка задания на наладку тепловой сети

Продолжение табл. 10

Отклонение показателей качества от допустимых значений	Возможная причина отклонения	Возможное состояние зависимых параметров воздушного и гидравлического трактов	Возможный объем ремонтно-наладочных работ
			2.13. Расчет нового гидравлического режима тепловой сети 2.14. Регулировка гидравлического режима тепловой сети
	4. Количество подсосов холодного воздуха больше допустимого (20 %)	1. Температура воды в обратном трубопроводе больше расчетной по температурному графику 2. Массовый расход воздуха через калориферы меньше расчетного 3. Температура воздуха в стволе $<+2$ °С	2.15. Проверка работоспособности и ремонт средств герметизации устья ствола, надшахтного здания и элементов воздушного тракта калориферной установки 2.16. Проверка работоспособности и ремонт дроссельных клапанов смесительной камеры
	5. Коэффициент загрязнения калориферов превышает 20 %	1. Температура теплоносителя в обратном трубопроводе превышает расчетную по температурному графику 2. Температура воздуха в стволе $<+2$ °С	2.17. Промывка гидравлического тракта гидропневматическим способом 2.18. Продувка калориферов сжатым воздухом или гидропневматическим способом 2.19. Вскрытие и очистка грязевиков 2.20. Опрессовка гидравлического тракта КУ
	6. Неравномерность нагрузки калориферов воздухом превышает допустимую (15 %)	1. Температура теплоносителя в обратном трубопроводе превышает расчетную 2. Температура воздуха в стволе $<+2$ °С	2. 21. Расчет сечения и установка направляющих заслонок, выравнивающих нагрузку калориферов воздухом 2.22. Определение углов наклона заслонок
	7. Поверхность нагрева калориферной установки меньше расчетной при оптимальной компоновке калориферов	1. Фактическая скорость воды в трубках калориферов выше расчетной 2. Потеря давления на гидравлическом тракте превышает допустимую	2. 23. Расчет компоновки калориферов, обеспечивающей номинальное значение параметров калориферной установки
		3. Температура воздуха в стволе $<+2$ °С	2. 24. Монтаж дополнительных калориферов по расчетной схеме
	8. Живое сечение гидравлического тракта занижено из-за неудачной компоновки калориферов	1. Скорость воды в трубках калориферов выше допустимой (0,8 м/с) 2. Потеря давления на гидравлическом тракте превышает расчетное 3. Температура воды в обратном трубопроводе ниже расчетной по температурному графику	2.25. Расчет оптимальной компоновки, обеспечивающей номинальные параметры калориферной установки 2.26. Монтаж калориферов по расчетной схеме
	9. Живое сечение гидравлического тракта завышено из-за неудачной компоновки калориферов при расчетном расходе теплоносителя	1. Скорость воды в трубках ниже допустимой (0,3 м/с) 2. Потеря давления на гидравлическом тракте ниже расчетного 3. Температура воды в обратном трубопроводе выше расчетной по температурному графику 4. Температура воздуха в стволе $<+2$ °С	2.27. Выполнить наладочные мероприятия 2.25—2.26
3. Относительная управляемость теплопроизводительностью <85 % (при регулировании расходом воздуха)	1. Неисправность дроссельных клапанов смесительной камеры	1. Не обеспечиваются расчетные параметры работы калориферной установки при предельных режимах	3.1. Проверка работоспособности и ремонт дроссельных клапанов смесительной камеры
4. Относительная управляемость теплопроизводительностью расходом сетевой воды <60 % и расходом подмешиваемой воды <30 %	1. Несоответствие фактического располагаемого давления, характеристик смесительного насоса и расходных характеристик клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды, неисправность клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды	1. Не обеспечиваются расчетные параметры работы калориферной установки при предельных режимах	4.1. Расчет дроссельных шайб для гашения избыточного перепада давления на вводе калориферной установки 4.2. Установка дроссельных шайб на подающем или обратном трубопроводе

Продолжение табл. 10

Отклонение показателей качества от допустимых значений	Возможная причина отклонения	Возможное состояние зависимых параметров воздушного и гидравлического трактов	Возможный объем ремонтно-наладочных работ
			4.3. При недостаточном располагаемом давлении — разработка задания на наладку тепловой сети и регулировка гидравлического режима работы тепловой сети 4.4. Расчет и выбор смесительного насоса и дроссельных клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды 4.5. Замена при необходимости смесительного насоса 4.6. Проверка работоспособности и ремонт регулирующих клапанов гидравлического тракта
5. Давление воды в подающем трубопроводе превышает допустимое (1,2 МПа)	1. Недопустимый гидравлический режим системы теплоснабжения	1. Давление в обратном трубопроводе больше расчетного при расчетном перепаде на входе в калориферную установку	5.1. Выполнить наладочные мероприятия 1.3—1.4
6. Давление воды в подающем трубопроводе ниже допустимого по условиям вскипания теплоносителя (0,5 МПа при температурном графике 150—70 °С и 0,3 МПа при графике 130—70 °С)	1. Недопустимый гидравлический режим системы теплоснабжения	1. Давление в обратном трубопроводе ниже расчетного при расчетном перепаде	6.1. Выполнить наладочные мероприятия 1.3—1.4
	2. Большие утечки теплоносителя в системе теплоснабжения	1. Давление воды в подающем и обратном трубопроводе ниже допустимого 2. Перепад давления на вводе калориферной установки меньше расчетного	6.2. Отыскание места утечки теплоносителя и ликвидация утечки
7. Давление воды в обратном трубопроводе ниже допустимого по условиям предупреждения кавитации насосов и защиты системы теплоснабжения от подсосов воздуха	1. Недопустимый гидравлический режим системы теплоснабжения	1. Давление воды в подающем и обратном трубопроводе ниже допустимого	7.1. Выполнить наладочные мероприятия 1.3—1.4
	2. Наличие больших утечек теплоносителя в системе теплоснабжения	2. Перепад давления на вводе калориферной установки меньше расчетного	7.2. Выполнить мероприятия 6.2
8. Относительные затраты мощности вентилятора главного проветривания на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки > 10 %	1. Нарушено оребрение калориферов	1. Неравномерность нагрузки калориферов воздухом больше допустимой 2. Аэродинамическое сопротивление калориферов больше расчетного	8.1. Восстановление элементов оребрения калориферов
	2. Неисправность жалюзийных решеток приточных проемов	1. Аэродинамическое сопротивление жалюзийных решеток больше расчетного из-за заниженного проходного сечения	8.2. Проверка работоспособности и ремонт жалюзийных решеток приточных проемов
	3. Неисправность дроссельных клапанов смесительной камеры	1. Расход воздуха через смесительный клапан занижен 2. Аэродинамическое сопротивление дроссельных клапанов выше расчетных	8.3. Проверка работоспособности, ремонт и регулировка дроссельных клапанов смесительной камеры
	4. Неисправность клапана воздуховода копра	1. Расход воздуха через клапан воздуховода копра занижен	8.4. Проверка работоспособности и ремонт клапана воздуховода копра
	5. Сопротивление вентиляционного канала больше допустимого	1. Потеря давления на вентиляционном канале завышена	8.5. Чистовая штукатурка вентиляционного канала по всему периметру
	6. Живое сечение калориферов по воздуху меньше допустимого	1. Скорость воздуха в живом сечении калориферов больше допустимой 2. Аэродинамическое сопротивление больше допустимого	8.6. Расчет новой компоновки калориферов 8.7. Монтаж калориферов по расчетной схеме
	7. Занижены сечения отдельных элементов воздушного тракта	1. Скорость воздуха в отдельных сечениях воздушного тракта выше допустимой 2. Сопротивление отдельных элементов воздушного тракта больше допустимого	8.8. Расчет отдельных сечений воздушного тракта калориферной установки 8.9. Строительно-монтажные работы по реконструкции воздушного тракта калориферной установки
9. Все показатели качества технологической схемы калориферной установки недопустимы	1. Калориферная установка не обеспечивает расчетные параметры энергоносителей		9.1. Разработка задания на реконструкцию калориферной установки 9.2. Расчет оптимальной компоновки и выбор технологического оборудования воздушного и гидравлического трактов

Окончание табл. 10

Отклонение показателей качества от допустимых значений	Возможная причина отклонения	Возможное состояние зависимых параметров воздушного и гидравлического трактов	Возможный объем ремонтно-наладочных работ
			9.3. Монтажные работы по реконструкции калориферной установки 9.4. Выполнение полного объема наладочных работ в соответствии с технологией наладки после монтажа
10. Все показатели качества технологической схемы удовлетворяют допустимым значениям			10.1. Подготовка технического отчета о наладке технологической схемы калориферной установки

решений, которая содержит перечень наиболее вероятных состояний технологической схемы, выраженных отклонениями соответствующих показателей ее качества от допустимых значений, возможные причины отклонений, возможные состояния зависимых параметров воздушного и гидравлического трактов, соответствующие рассматриваемому отклонению, и возможный объем ремонтно-наладочных работ для рассматриваемого отклонения и состояний зависимых параметров (табл. 10).

Определение объема ремонтно-наладочных работ, соответствующего фактическому состоянию технологической схемы, сводится к выполнению следующих действий.

1. По результатам анализа состояния технологической схемы фиксируют отклонения всех показателей качества технологической схемы и уточняют причины отклонения фактического значения показателей от нормативного.

2. Для каждой из уточненных причин отклонения показателя по таблице решений определяют объем ремонтно-наладочных работ.

Для уточнения причин отклонения показателей качества используют результаты первичных измерений и результаты обработки измерений параметров воздушного и гидравлического трактов.

Полный объем ремонтно-наладочных работ отражается в программе ремонтно-наладочных работ, утверждаемой главным инженером шахты до начала выполнения этих работ персоналом монтажно-наладочного управления.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ КОНТРОЛЕМ

3.1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Подготовительные работы проводят в целях ознакомления с проектом калориферной установки, выявления дефектов монтажа, составления ведомости состояния оборудования и программы наладочных работ. Подготовительные работы должны выполнять опытный инженер наладочной организации и представитель шахты (если установка налаживается после строительства, то к этой работе необходимо привлекать и представителя строительной организации, выполнявшей монтаж калориферной установки). Изучение технической и эксплуатационной документации технологической части калориферной установки необходимо для точного знания проектных решений и всех изменений в схеме установки, принятых в процессе технического обслуживания.

На каждую установку должны быть комплект архитектурно-строительных и технологических проектных чертежей и схем, исполнительные схемы воздушного и гидравлического трактов, а также паспорт установленной формы.

При внешнем осмотре тепломеханического оборудования необходимо:

обследовать фактическое состояние элементов калориферной установки и сопоставить результаты осмотра с действующими правилами, нормами, допусками на установку и монтаж тепломеханического оборудования;

выявить дефекты монтажа оборудования;

выявить отклонения монтажа от проекта;

выявить недостатки эксплуатации калориферной установки.

При обследовании калориферной установки следует установить:

тип и число калориферов в установке и схему их включения, их соответствие проекту;

фактические диаметры разводящих трубопроводов гидравлического тракта;

типы запорной, регулирующей и предохранительной арматуры и правильность их монтажа;

фактические типоразмеры и правильность монтажа воздуховодов, дроссельных клапанов на воздуховоде копра и смесительной камеры;

качество монтажа устройств сочленения исполнительных механизмов с воздушными клапанами и противопожарными лядами;

правильность монтажа и наличие отборных устройств для манометров, термометров, а также дроссельных диафрагм для измерения расхода теплоносителя;

степень загрязнения поверхностей нагрева;

состояние оребрения трубок калориферов;

наличие подсосов холодного воздуха через неплотности копра и надшахтного здания и между секциями калориферов;

наличие утечек теплоносителя, состояние труб и фланцевых соединений;

работоспособность смесительных насосов и регулирующих клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды.

По результатам внешнего осмотра составляется «Ведомость состояния тепломеханического оборудования калориферной установки», где перечисляются оборудование и его элементы, эксплуатирующиеся с отклонением от норм, указывается, допустимо обнаруженное отклонение или нет, приводятся рекомендации по устранению недопустимых отклонений. Ведомости состояния должны составляться в двух экземплярах (после строительства и реконструкции — в трех экземплярах) и подписываться руководителем наладочных работ, представителем эксплуатирующей организации и представителем строительно-монтажной организации (если установка налаживается после строительства или реконструкции). «Ведомость состояния тепломеханического оборудования калориферной установки» служит основанием для составления программы работ по технической диагностике калориферной установки либо для подготовки технической документации на производство работ по устранению недопустимых отклонений от проектных решений.

При составлении программы работ по технической диагностике калориферной установки следует учитывать ее фактическое состоя-

ние и охватывать весь комплекс работ, необходимых для объективного оценивания фактического состояния воздушного тракта и технологической схемы.

Программа работ, которая должна содержать данные о цели, видах, последовательности и методах выполнения работ, согласовывается с главным инженером шахты и утверждается главным инженером специализированного наладочного или монтажно-наладочного предприятия. При индивидуальном обслуживании программу утверждает главный инженер шахты.

В случае, когда состояние тепломеханического оборудования не позволяет производить дальнейшие работы по испытанию и наладке, подготавливают техническую документацию и устраняют недопустимые отклонения от проектных решений. В зависимости от характера недопустимых отклонений от проекта и состояния установки используют техническую документацию рабочего проекта либо разрабатывают ее с учетом конкретных условий в проектно-конструкторском бюро монтажно-наладочной организации.

Строительно-монтажные работы по устранению недопустимых отклонений от проектных решений и норм, как правило, должны выполняться строительно-монтажной организацией.

3.2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ВОЗДУШНОГО ТРАКТА

3.2.1. Организация и техническое обеспечение работ

Целью технической диагностики воздушного тракта является определение фактических значений расходных и термодинамических параметров потока воздуха в различных сечениях установки. На основании анализа результатов диагностики принимается заключение о качестве функционирования данной установки, в связи с чем все виды работ по технической диагностике должны обеспечивать достоверность и заданную точность.

При организации работ необходимо предусматривать следующее.

1. Бригада наладчиков должна состоять из руководителя (опытного инженера или техника) и трех членов бригады, обученных приемам работы с измерительными приборами и приспособлениями.

2. Работы по технической диагностике должны выполняться в соответствии с «Программой технической диагностики калориферной установки», утвержденной главным инженером наладочного управления и согласованной с главным инженером шахты.

3. Ко всем элементам воздушного тракта, на которых будут производиться измерения, должен быть обеспечен свободный и безопасный доступ.

4. В процессе выполнения технической диагностики воздушного тракта эксплуатационный персонал установки должен поддерживать заданные температурный и гидравлический режимы.

5. Результаты первичных измерений следует заносить в соответствующие таблицы журнала наблюдений. Структура и содержание таблиц приведены в приложении 1.

Бригада наладчиков должна быть обеспечена комплектом приборов и приспособлений, в который входят:

анемометр чашечный МС-13 (2 шт.); анемометр крыльчатый АСО-3 (2 шт.); секундомер (2 шт.); микроманометр ММН (1 шт.); резиновые шланги с внутренним диаметром 4—5 мм (80м); вневмометрическая трубка длиной 1,5 м (2 шт.); оправка длиной 2,5 м для крепления анемометра АСО-3 (2 шт.); оправка сборная длиной 4 м для крепления анемометра МС-13 (1 шт.); электротермометр переносной ЭТП-2м — (2 шт.); термометр технический стеклянный с пределами измерения: —50—+50 (2 шт.), 0—50 (2 шт.); 0—100 (2 шт.), 0—150 (2 шт.), 0—200 (2 шт.); автоматический мост КВМ или логометр Л-64И на 6-12 точек измерения (1 шт.); рулетка металлическая (1 шт.); микробарометр МБ-1М (1 шт.).

Для записи результатов измерений необходимо иметь журнал наблюдений.

3.2.2. Методика проведения измерений расходных и термодинамических параметров воздуха в заданных сечениях воздушного тракта

Измерение средней скорости движения воздуха в заданном сечении

Предварительно определяется направление движения потока в заданном сечении (например, с помощью привязанной к анемометру нитки). Если направления потока воздуха в различных точках сечения не совпадают, то сечение условно делится на более мелкие (единичные) сечения таким образом, чтобы направление потока воздуха во всех точках каждого выделенного сечения оставалось неизменным (рис. 15).

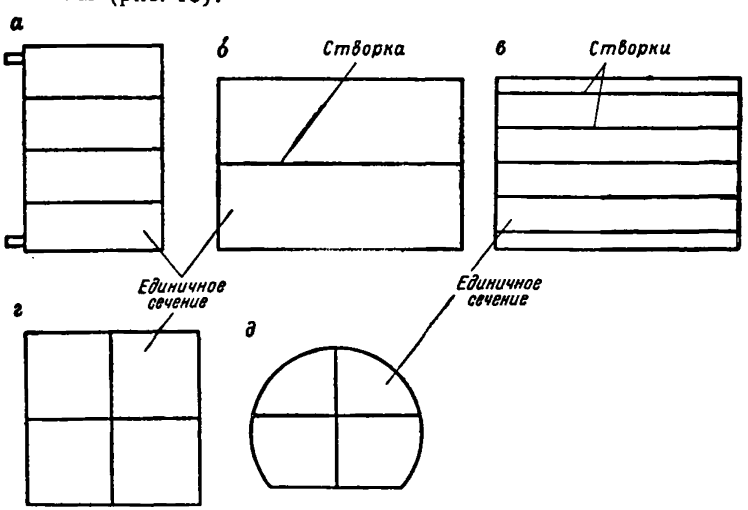

Рис. 15. Схемы единичных сечений для основных элементов воздушного тракта: *а* — калорифера; *б* — воздуховода копра; *в* — дроссельного клапана смесительной камеры; *г* — вентиляционного канала; *д* — горной выработки

Измерение скорости воздуха производится путем равномерного обвода единичного сечения анемометром по зигзагообразной траектории, что обеспечивает более достоверные результаты и облегчает процесс тарировки сечения по скорости. Измерения производят следующим образом.

Сначала определяют площадь заданного сечения. Перед началом измерений фиксируют и записывают в журнал наблюдений начальное положение N_1 счетчика анемометра. Анемометр крепят в оправке и вносят в воздушный поток так, чтобы ось крыльчатого анемометра располагалась параллельно, а ось чашечного анемометра — перпендикулярно направлению потока воздуха. Отклонение от указанных положений не должно превышать 15°. Через 5—10 с после внесения анемометра в поток одновременно включают секундомер и счетчик анемометра. По истечении 50—100 с счетчик и секундомер выключают и их показания записывают. Измерение продолжительностью менее 50 с не фиксируют. Число делений счетчика n, приходящихся на 1 с, определяют отношением разности конечного N_2 и начального N_1 показаний счетчика ко времени измерения τ (с):

$$n = \frac{N_2 - N_1}{\tau}. \tag{13}$$

Среднюю скорость движения воздушного потока V определяют по прилагаемому к прибору графику. Крыльчатый анемометр предназначен для измерения скорости потока воздуха в пределах 0,2—5 м/с, а чашечный анемометр измеряет скорость в пределах 1—20 м/с. Абсолютное значение погрешности (м/с) измерения зависит от скорости движения потока воздуха V и для крыльчатого и чашечного анемометров определяется соответственно по формулам (14) и (15):

$$\Delta V = 0{,}06V + 0{,}1; \tag{14}$$

$$\Delta V = 0{,}06V + 0{,}3. \tag{15}$$

Измерение средней температуры воздуха в заданном сечении

Для измерения температуры наружного воздуха на участках воздушного тракта и воздуха в выходных сечениях калориферов применяются соответственно: технический стеклянный ртутный термометр с пределами измерения от —50 до +50 °С; прибор ЭТП-2М и многоточечные мосты типа КВМ в комплекте с датчиками ТСМ-6097 и ТСМ-410-01.

Термометр для измерения температуры наружного воздуха должен быть защищен от непосредственного воздействия солнечных лучей и атмосферных осадков.

Температуру воздуха в заданном сечении измеряют после его температурной тарировки, которую осуществляют в следующем порядке. В заданном сечении помещают датчик электротермометра ЭТП-2М с насадком. Прибор располагают горизонтально, переключатель рода работы устанавливают в положение «Контроль»,

включают питание и устанавливают диапазон измерений в пределах ожидаемой температуры. Ручкой «Регулирование напряжения» устанавливают стрелку индикатора на максимальное деление шкалы, после чего переключатель рода работы переводят в положение «Измерение». Измерение температуры производят в течение 50 с, причем начинают процесс измерения не ранее чем через 5 мин после установки датчиков. Если температура воздуха в различных точках заданного сечения отличается более чем на 0,5 °С, последнее следует разделить на совокупность единичных сечений, площади которых должны соответствовать площадям единичных сечений, выделенных в процессе измерений скорости воздуха.

Абсолютное значение погрешности измерения температур зависит от вида прибора, правильности его размещения и других факторов.

В общем случае абсолютное значение погрешности измерения температуры (°С) палочными термометрами может быть вычислено по формуле

$$\Delta t = 0{,}5\delta t, \tag{16}$$

где δt — цена наименьшего деления шкалы термометра, °С.

Комплекты приборов для измерения температуры, состоящие из датчика температуры и вторичного прибора, обеспечивают измерение температуры с абсолютным значением погрешности, определяемой по формуле

$$\Delta t = \frac{K_{\text{п}}}{100} t, \tag{17}$$

где $K_{\text{п}}$ — класс точности прибора, который приводится в технических данных прибора; t — отсчитанное по шкале прибора значение измеряемой температуры, °С.

Измерение давления воздуха

Измерение давления производят с помощью микробарометра МБ-1М с пределами измерения 96,05—109,4 кПа.

При снятии показаний прибор должен находиться в горизонтальном положении (шкалой вверх). Перед снятием показания необходимо слегка постучать пальцем по стеклу, чтобы не допустить погрешности от трения в системе передач прибора. Показания снимаются с точностью до минимального деления шкалы. Одновременно снимают показания термометра, находящегося на микробарометре, с точностью 0,5 °С. При колебаниях стрелки необходимо произвести несколько (не менее трех) измерений, фиксируя положение стрелки, и вычислить по ним среднее значение давления.

Абсолютное значение погрешности измерения давления воздуха прибором МБ-1М составляет 24,012 Па.

Для измерения давления, потери давления и разрежения на аэродинамических сопротивлениях воздушного тракта калориферных установок используют микроманометры типа ММН с приемниками давления — пневмометрическими трубками.

Порядок подготовки микроманометра к работе следующий:

с помощью регулировочных винтов прибор устанавливают в строго горизонтальное положение на устойчивом основании. Правильность установки прибора контролируется положением воздушного пузырька;

устанавливается кронштейн с измерительной трубкой в крайнее верхнее положение и после поворота трехходового крана против часовой стрелки до упора «регулятор нулевого положения» устанавливается в верхнее положение;

в резервуар заливают этиловый спирт (с плотностью $\rho = 809{,}5 \pm 5$ кг/м^3) в таком количестве, чтобы его уровень в стеклянной измерительной трубке находился против нулевого деления шкалы, резервуар закрывают пробкой;

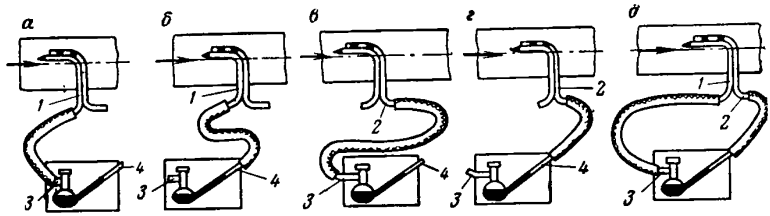

Рис. 16. Схемы присоединения пневматических трубок при измерении давления воздуха в воздушном тракте:

а — полного положительного; *б* — полного отрицательного; *в* — статического положительного; *г* — статического отрицательного; *д* — динамического

на штуцер трехходового крана надевают отрезок резиновой трубки и пробку трехходового крана ставят в рабочее положение поворотом ее по часовой стрелке до упора, затем подсосом, чтобы выдуть воздух в резервуар, поднимают уровень спирта в стеклянной измерительной трубке примерно до конца шкалы;

после поворота пробки трехходового крана против часовой стрелки до упора кронштейн с измерительной трубкой ставятся в необходимое положение (для условий воздушного тракта калориферных установок постоянный множитель прибора $K_п$, значения которого нанесены на дугообразной стойке, принимается равным 0,2) и регулятором уровня окончательно корректируют нуль;

резиновыми шлангами диаметром 3—5 мм прибор соединяют с объектом измерения, проверяют положения прибора по уровням и при необходимости регулируют регулировочными винтами;

повернув пробку трехходового крана по часовой стрелке до упора, приступают к отсчетам.

Трубки полного и статического давления подключают к микроманометру в определенном порядке (рис. 16). При измерении полного положительного давления трубку полного давления *1* присоединяют к штуцеру *3* резервуара микроманометра, при этом штуцер *4* остается открытым. При измерении же полного отрицательного давления трубку полного давления присоединяют к штуцеру *4* при открытом штуцере *3*.

Для измерения статического положительного давления трубку статического давления *2* (с четырьмя боковыми отверстиями) присоединяют к штуцеру *3* резервуара микроманометра при открытом штуцере *4*. Для измерения статического отрицательного давления трубку статического давления присоединяют к штуцеру *4* трубки микроманометра при открытом штуцере *3*.

При измерении динамического давления трубку полного давления присоединяют к штуцеру *3* резервуара микроманометра, а трубку статического давления к штуцеру *4* трубки микроманометра.

Давление (Па), измеренное микроманометром, определяется зависимостью

$$P_p = 9{,}81 H K_{\text{п}}, \tag{18}$$

где H — отсчет по шкале прибора, мм; $K_{\text{п}}$ — постоянный множитель прибора.

3.2.3. Измерение расходных и температурных параметров воздуха

К а л о р и ф е р ы. Измерения производят при полностью открытых клапанах смесительной камеры и воздуховода копра. Крыльчатым анемометром типа АСО-3 равномерно обводят по зигзагообразной траектории выходное сечение калорифера на расстоянии 10—15 см от его рабочей поверхности. При этом необходимо, чтобы лицо, выполняющее измерение, находилось на расстоянии не менее 1,5 м от места измерения. Результаты измерений заносят в журнал наблюдений.

Одновременно с измерением скорости измеряют давление и температуру воздуха в выходных сечениях калориферов. Давление фиксируют с помощью микробарометра, а для измерения температуры используют самопишущие мосты или логометры. Датчики температуры устанавливают на расстоянии 0,3—0,5 м от поверхности калорифера с помощью специальных игольчатых держателей, позволяющих зафиксировать датчики в определенных точках сечения. Число датчиков должно быть кратно числу «ходов» калорифера по греющему теплоносителю. Так, для четырехходового калорифера можно применять $4n$ датчиков, где n — целое число из ряда 1, 2, 3.

Для сокращения потерь времени на подготовку к измерению температур воздуха на выходе из следующих калориферов необходимо, чтобы число датчиков было достаточным для измерения температуры воздуха на выходе не менее двух калориферов. Показания вторичного прибора считаются достоверными спустя 5 мин после включения прибора и установки датчика температуры. Во время измерений следует постоянно контролировать средний массовый расход теплоносителя, давление и температуру его на подающем и обратном трубопроводах, а также температуру наружного воздуха и результаты заносить в соответствующие таблицы журнала наблюдений.

Дроссельный клапан смесительной камеры. Измерения начинают с замера площади живого сечения полностью открытого дроссельного клапана. Скорость воздуха в сечении дроссельного клапана смесительной камеры измеряют в положении «Полностью открыто» чашечным анемометром МС-13. Так как дроссельный клапан смесительной камеры шахтной калориферной установки имеет большое сечение, его условно разбивают на единичные прямоугольные сечения. Если дроссельный клапан жалюзийного типа, то в качестве единичных сечений принимают сечения между створками жалюзи (см. рис. 15).

Для измерения температуры воздуха используют автоматические мосты или логометры КВМ-2 и Л-64И. Датчики температуры устанавливают по центру каждого единичного сечения.

Давление воздуха измеряют с помощью микробарометра МБ-1М.

Перед началом измерений необходимо проверить работоспособность всех приборов. Для обеспечения достоверности результатов измерения скорости, давления и температуры воздуха производят в каждом единичном сечении не менее трех раз. Результаты измерений заносят в журнал наблюдений.

Воздуховод копра. После предварительного замера площади живого сечения воздуховода копра его разбивают на условные единичные прямоугольные сечения. При этом необходимо, чтобы по высоте воздуховода единичных сечений было не менее двух.

Для производства измерений применяют автоматический мост КВМ-2 или логометр Л-64И в комплекте с датчиками температуры, чашечный анемометр МС-13, микробарометр МБ-1М и приспособление для дистанционного измерения скорости воздуха. Перед началом измерений следует убедиться в работоспособности всех приборов. Датчики температуры устанавливают по центру единичных сечений.

Измерения производят при полностью открытом клапане воздуховода копра не менее трех раз каждое и результаты заносят в журнал наблюдений.

Вентиляционный канал. Вентиляционные каналы калориферных установок характеризуются значительными площадями живых сечений, соизмеримыми с сечениями горных выработок, относительно малыми длинами и наличием местных сопротивлений. Для выполнения измерений необходимы анемометр МС-13, автоматический многоточечный мост с датчиками и микробарометр МБ-1М. Учитывая неравномерность распределения воздушных потоков в живом сечении канала, его условно разбивают на единичные сечения, например, как показано на рис. 15. Величины температур в единичных сечениях не должны отличаться более чем на 0,5 °С. Датчики автоматического моста располагают в геометрических центрах единичных сечений. Для производства замеров скорости воздуха наладчик должен выбрать рабочее

место не ближе 2,5 м к выбранному сечению и с помощью измерительной штанги внести в него анемометр.

Измерения производят при полностью открытых клапанах смесительной камеры и воздуховода копра не менее трех раз каждое. Результаты измерений заносятся в журнал наблюдений.

Воздухоподающий ствол. В практике существуют различные способы определения расхода воздуха, поступающего через воздухоподающий ствол в шахту. Наиболее точным является определение расхода воздуха через магистральные и различные по назначению горные выработки, отходящие от ствола. Для этого в каждой выработке, примыкающей к воздухоподающему стволу, выбирают место измерения — прямолинейный участок с ненарушенной крепью. Между местом измерения параметров воздуха и стволом не должно быть горных выработок — ответвлений. При наличии в горной выработке вагонов измерения необходимо производить на расстоянии от них, равном не менее трехкратной длины вагона. Перед местным сопротивлением горной выработки (поворотом) измерение производят на расстоянии, равном не менее трехкратной ширины выработки, и после поворота — шести-, восьмикратной ширины. При выборе мест измерений учитывают наличие местных сопротивлений и в месте измерений определяют геометрические размеры сечений горной выработки.

Если выработка закреплена балками специального профиля (арочная крепь) и крепь не нарушена, площадь сечения ($м^2$) вычисляют по формуле [6]:

$$S = 0{,}8hb, \tag{19}$$

где h, b — максимальные высота и ширина выработки, м.

Если форма крепи нарушена, то площадь сечения находят по формуле

$$S = \frac{P}{14{,}9}, \tag{20}$$

где P — периметр выработки (м), или

$$S = b\,(h - 0{,}1b). \tag{21}$$

Для выработок, закрепленных бетоном, площадь сечения с коробовым или полуциркульным сводом вычисляют соответственно по формулам (22) и (23):

$$S = b\,(h + 0{,}26b); \tag{22}$$

$$S = b\,(h + 0{,}39b), \tag{23}$$

где b и h — ширина и высота прямоугольной части выработки, м.

В незакрепленных выработках сечение измеряют через каждые 0,5 м высоты и ширины, наносят их на бумагу в масштабе и планиметром определяют площадь.

Среднюю скорость воздуха в горной выработке измеряют с помощью чашечного анемометра МС-13, укрепленного на шарнирной подвеске измерительной штанги. Измерения производят методом «перед собой» (лицо, выполняющее измерение, стоит в выработке

лицом к струе на расстоянии не менее 2,5 м от заданного сечения, и на штанге плавно перемещает анемометр в сечении по зигзагообразной траектории).

Если скорость воздуха измеряют в дверях или вентиляционных окнах, то полученный результат необходимо уменьшить на поправочный коэффициент K, равный 0,9 при площади окон менее 0,25 м² и 0,95 при отношении площади двери к площади сечения выработки меньшем или равном 0,5.

Температура воздуха в горных выработках измеряется техническими стеклянными термометрами, так как поле температур потока воздуха в любой точке сечения одинаково.

Давление воздуха измеряется с помощью микробарометра МБ-1М. Все измерения выполняют при полностью открытых клапанах смесительной камеры и воздуховода копра. Результаты измерений заносят в журнал наблюдений.

Участки воздушного тракта калориферной установки. Целью измерений является определение потери давления на следующих участках воздушного тракта: атмосфера — вход в калориферы; атмосфера — выход из калориферов; атмосфера — вход в дроссельный клапан смесительной камеры; атмосфера — выход из дроссельного клапана смесительной камеры; атмосфера — сопряжение вентиляционного канала со стволом.

Измерения производят при полностью открытых клапанах смесительной камеры и воздуховода копра. Герметизирующие затворы устья клетевого ствола и двери шлюзовых камер надшахтного здания должны быть закрыты. Для выполнения измерений необходимы микроманометр типа ММН и пневмометрическая трубка Прандтля. Предварительно заполненный спиртом микроманометр устанавливают на жесткой основе и с помощью регулировочных винтов приводят в горизонтальное положение. Затем устанавливают кронштейн с измерительной трубкой в крайнее верхнее положение, поворачивают трехходовой кран против часовой стрелки до упора, устанавливают регулятор нулевого положения на ноль, надевают на штуцер (—) трехходового крана отрезок резиновой трубки и устанавливают кран в рабочее положение, поворачивая его по часовой стрелке до упора. Подсосом поднимают уровень спирта в измеряемой трубке (до конца шкалы) до исчезновения воздушных пробок. При наличии пробок их следует выдуть вместе со спиртом в резервуар, повернуть трехходовой кран против часовой стрелки до упора, установить кронштейн с измерительной трубкой в положение, соответствующее $K_п = 0{,}2$ и окончательно установить «ноль» шкалы, растянуть соединительные шланги. Один шланг надо надеть на штуцер (+) трехходового крана и соединить его с «атмосферой» (вывести второй конец шланга наружу), второй шланг надеть на штуцер (—) и соединить его со штуцером статического давления пневмометрической трубки, проверить положение прибора по горизонтали и, если это необходимо, подрегулировать его регулировочными винтами, повернуть трехходовой кран по часовой стрелке до упора и приступить к измерениям.

Рабочий конец пневмометрической трубки вносят в воздушный поток так, чтобы ее ось совпадала с направлением движения потока. Отклонения более 15° не допускаются. Для определения потери давления в большом сечении трубку перемещают в сечении или вдоль его поверхности. Максимальное значение давления на измеряемом участке принимают за отсчет и записывают с учетом коэффициента $K_п$ в журнал.

Во время работы необходимо проверять прокладку шлангов, не допуская их деформации или перекручивания, контролировать «ноль» шкалы и горизонтальность положения прибора. Измерения в каждой точке производят не менее трех раз.

Дроссельный клапан смесительной камеры. Измерения производят в целях определения коэффициентов аэродинамических сопротивлений и расходных характеристик дроссельного клапана смесительной камеры (для установок с регулированием теплопроизводительности расходом воздуха через калориферы).

В существующих калориферных установках с регулированием теплопроизводительности расходом воздуха, проходящего через калориферы, применяются одно- и семистворчатые дроссельные клапаны жалюзийного типа. Их устанавливают на «холодной» и «горячей» сторонах камеры смешения и в процессе функционирования системы регулирования их запорные органы (жалюзи) работают синхронно таким образом, что, уменьшая, например, живое сечение по ходу горячего воздуха, увеличивают живое сечение по ходу холодного воздуха, и наоборот, оставляя суммарный расход воздуха неизменным.

Задача определения функциональной зависимости коэффициентов аэродинамического сопротивления клапана на «горячей» стороне и клапана на «холодной» стороне от перемещения их рабочих органов решается путем измерения скорости воздуха, проходящего через живые сечения клапанов, и перепадов давления на клапанах при различной степени их открытия. Одновременно с измерением скорости и перепада давления на клапанах измеряют температуры воздуха в живых сечениях соответствующих клапанов. Для получения полной информации о значениях коэффициентов аэродинамических сопротивлений клапанов при промежуточных положениях их рабочих органов необходимо провести измерения при 4—6 положениях.

Для выполнения измерений расхода воздуха необходимы чашечные анемометры МС-13, температуры — датчики температуры со вторичными приборами КВМ-2 или КВМ-3 или логометрами Л-64И, давления — микробарометр МБ-1М, для измерения потери давления на клапанах — микроманометр типа ММН.

Порядок выполнения измерений давления, температуры, скорости и потери давления на клапане аналогичен рассмотренному выше. Результаты измерений заносят в журнал наблюдений.

3.2.4. Обработка результатов измерений параметров воздуха

Этап обработки результатов аэродинамических испытаний воздушного тракта калориферной установки включает в себя вычисление средних объемных и массовых расходов воздуха на различных участках схемы воздушного тракта, его средних температур, потерь давления, абсолютных и относительных погрешностей измерения и расчет перечисленных выше показателей функционирования.

Результаты обработки аэродинамических испытаний воздушного тракта заносят в соответствующие таблицы отчета по технической диагностике (приложение 1). Исходными данными для выполнения этого этапа являются результаты измерений расходных и термодинамических параметров воздушного потока, приведенные в соответствующих таблицах журнала наблюдений. Ниже изложена последовательность вычислительных операций по расчету всех измеренных величин.

Обработка результатов измерений для определения объемного и массового расхода воздуха, проходящего через калориферы.

1. Средние показания анемометра и температура (°С) воздуха в выходном сечении калорифера

$$N_{\text{ср}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} N_j; \tag{24}$$

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{nk} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} t_{ij}, \tag{25}$$

где k — число измерений; n — число единичных сечений воздушного тракта калорифера.

Средняя скорость $v_{\text{ср}}$ определяется по прилагаемому к анемометру графику.

2. Объемный расход воздуха (м³/с), проходящего через калорифер,

$$D = v_{\text{ср}} S_{\text{в}}, \tag{26}$$

где $S_{\text{в}}$ — площадь живого сечения воздушного тракта калорифера, м².

3. Среднее значение давления воздуха (Па) в выходном сечении калорифера

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} P_j. \tag{27}$$

4. Массовый расход воздуха (кг/с), проходящего через калорифер,

$$G = 0{,}003458 D \frac{P_{\text{ср}}}{273 + t_{\text{ср}}}. \tag{28}$$

5. Абсолютная погрешность измерения объемного расхода воздуха (м³/с), проходящего через калорифер,

$$\Delta D = S_{\text{в}} \Delta V + v_{\text{ср}} \Delta S_{\text{в}}, \tag{29}$$

где Δv и $\Delta S_в$ — абсолютная погрешность измерения соответственно скорости воздуха с помощью анемометра (м/с) и площади живого сечения калорифера (м²).

Величина Δv зависит от типа анемометра и может быть рассчитана по формулам, приведенным в методике измерения скорости воздуха настоящего руководства. Величина $\Delta S_в$ зависит от типа и модели калориферов установки. С достаточной для практических целей точностью она может быть принята равной $0{,}01 S_в$.

6. Абсолютное значение погрешности определения массового расхода воздуха (кг/с), проходящего через калорифер,

$$\Delta G = 0{,}003458 \frac{P_{ср}}{273 + t_{ср}} \Delta D + 0{,}003458 D \frac{\Delta P}{273 + t_{ср}} - \\ - 0{,}003458 \frac{\Delta t}{(273 + t_{ср})^2}, \quad (30)$$

где $\Delta P = 24{,}012$ — абсолютное значение погрешности измерения барометрического давления в выходном сечении калорифера, Па; Δt — абсолютная погрешность измерения средней температуры в выходном сечении калорифера, °С. Величина Δt зависит от типа комплекта приборов, применяемых для измерения температуры, и может быть определена по формулам (16) и (17).

7. Суммарный массовый расход воздуха (кг/с), проходящего через калориферы установки,

$$G_{к.у} = \sum_{l=1}^{m} G_l, \quad (31)$$

где m — общее число калориферов, установленных в одном ряду перпендикулярно ходу воздуха.

8. Средняя температура воздуха (°С) на выходе из калориферов установки

$$t_{в.к} = \frac{1}{G_{к.у}} \sum_{l=1}^{m} t_{ср\,l} G_l. \quad (32)$$

9. Абсолютное значение погрешности расчета массового расхода воздуха (кг/с), проходящего через калориферы установки,

$$\Delta G_{к.у} = \sum_{l=1}^{m} \Delta G_l. \quad (33)$$

10. Абсолютное значение погрешности расчета средней температуры воздуха (°С) на выходе калориферов установки

$$\Delta t_{в.к} = \frac{1}{G_{к.у}} \sum_{l=1}^{m} \Delta t_l G_l + \frac{1}{G_{к.у}} \sum_{l=1}^{m} \Delta G_l t_l - \frac{1}{G_{к.у}^2} \Delta G_{к.у} \sum_{l=1}^{m} t_l G_l. \quad (34)$$

11. Относительная погрешность расчета массового расхода воздуха (%), проходящего через калориферы установки,

$$\varepsilon_{к.у} = \frac{\Delta G_{к.у}}{G_{к.у}} 100. \quad (35)$$

12. Относительная погрешность расчета средней температуры воздуха (%) на выходе всех калориферов

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta t_{в.к}}{t_{в.к}} 100. \qquad (36)$$

Обработка результатов измерений для определения объемного и массового расхода воздуха через дроссельный клапан смесительной камеры.

1. Средняя скорость $v_{ср}$ и температура $t_{ср}$ воздуха, проходящего через дроссельный клапан смесительной камеры, вычисляются по формулам (24) и (25).

2. Объемный расход воздуха, проходящего через клапан, находят по формуле (26).

3. Среднее значение давления воздуха в проходном сечении клапана $P_{ср}$ вычисляют по формуле (27).

4. Массовый расход воздуха G, проходящего через клапан, определяют по формуле (28).

5. Для вычисления абсолютной погрешности измерения объемного ΔD и массового ΔG расходов воздуха, проходящего через клапан, используют формулы (29) и (30).

6. Относительную погрешность вычисления массового ε_G расхода воздуха, проходящего через клапан, находят по формуле (35).

Обработка результатов измерений для определения объемного и массового расхода воздуха через воздуховод копра в своей последовательности аналогична вычислительным операциям при обработке результатов измерений дроссельного клапана смесительной камеры.

Обработка результатов измерений объемного и массового расхода воздуха через вентиляционный канал смесительной камеры аналогична обработке результатов измерений дроссельного клапана смесительной камеры.

Обработка результатов измерений объемного и массового расхода воздуха через воздухоподающий ствол сводится к выполнению вычислительных операций, производимых при обработке результатов измерений дроссельного клапана смесительной камеры, что обеспечивает расчет объемного и массового расходов воздуха, проходящего через все примыкающие к стволу горные выработки. Затем дополнительно:

1) по формуле (31) вычисляют массовый расход воздуха G_c, проходящего через воздухоподающий ствол;

2) по формулам (33) и (34) рассчитывают соответственно абсолютную и относительную погрешность определения массового расхода воздуха через воздухоподающий ствол.

Определение коэффициентов аэродинамического сопротивления и расходных характеристик дроссельных клапанов смесительной камеры.

1. Средние значения скорости $v_{ср}$, давления $P_{ср}$, потери давления P_p и температуры $t_{ср}$ воздуха в живых сечениях клапанов при каждом заданном положении их открытия вычисляются соответственно по формулам (18), (24), (25) и (27).

2. Площади ($м^2$) проходных сечений дроссельных клапанов, соответствующих каждому заданному положению их рабочих органов,

$$F = nhl \sin \alpha, \tag{37}$$

где n — число створок клапана; h — ширина створки, м; l — длина створки, м; α — угол поворота, отсчитываемый от направления, перпендикулярного сечению клапана, градусы.

3. Объемный расход воздуха D, проходящего через клапан, находят по формуле (26).

4. Массовый расход воздуха G, проходящего через клапан, определяют, используя формулу (28).

5. Коэффициенты местного сопротивления клапана, соответствующие каждому заданному положению его рабочего органа,

$$\xi = \frac{2P_p F^2}{G^2} \rho_в, \tag{38}$$

где $\rho_в$ — плотность воздуха, соответствующая условиям проходного сечения клапана, $кг/м^3$. Величина $\rho_в$ может быть вычислена по формуле

$$\rho_в = 0{,}003458 \frac{P_{ср}}{273 + t_{ср}}. \tag{39}$$

6. Абсолютное значение погрешности измерения площади ($м^2$) проходного сечения дроссельного клапана:

$$\Delta F = n (\Delta h l \sin \alpha + \Delta l h \sin \alpha + \Delta \alpha h l \cos \alpha), \tag{40}$$

где Δh, Δl, $\Delta \alpha$ — абсолютные значения погрешности измерений геометрических размеров клапана (ширины и длины створок, угла поворота створок). При производстве измерений следует принимать: $\Delta h = 0{,}01h$ и $\Delta l = 0{,}01 l$. Величина $\Delta \alpha$ зависит от средств, с помощью которых измеряется угол поворота створок. Обычно этот угол оценивается указателем положения исполнительного механизма, поэтому величину $\Delta \alpha$ принимают равной половине наименьшего деления шкалы этого показателя.

7. Абсолютную погрешность измерения объемного расхода воздуха ΔD, проходящего через клапан, находят по формуле (29).

8. Для вычисления абсолютного значения погрешности измерения массового расхода воздуха ΔG применяют формулу (30).

9. Абсолютные значения погрешности расчета коэффициентов аэродинамического сопротивления клапана $\Delta \xi$, соответствующие каждому заданному положению его рабочего органа,

$$\Delta \xi = \frac{2}{G^2} (\Delta P_p F^2 \rho_в) + \frac{2}{G^2} P_p 2F \Delta F \rho_в + \frac{2}{G^2} P_p F^2 \Delta \rho_в - \frac{4}{G^4} P_p F^2 G \Delta G \rho_в, \tag{41}$$

где $\Delta \rho_в$ — абсолютная погрешность расчета плотности, $кг/м^3$; ΔP_p —

абсолютное значение погрешности измерения потери давления, указываемое в аттестате микроманометра, Па.

Величина $\Delta\rho_в$ может быть вычислена по формуле

$$\Delta\rho_в = 0{,}003458\frac{\Delta P_{ср}}{273+t_{ср}} - 0{,}003458\frac{P_{ср}\Delta t}{(273+t_{ср})^2} \quad (42)$$

10. Относительные погрешности расчета массового расхода ε_G воздуха находят по формуле (35), а потери давления на клапане ε_{P_p} (%) и коэффициента аэродинамического сопротивления клапана на ε_ξ (%) по формулам:

$$\varepsilon_{P_p} = \frac{\Delta P_p}{P_p}100; \quad (43)$$

$$\varepsilon_\xi = \frac{\Delta\xi}{\xi}100. \quad (44)$$

Приведенная совокупность вычислительных операций повторяется в полном объеме для вычисления указанных величин при всех заданных положениях рабочего органа клапана.

Расходная характеристика представляет собой графическую или табличную зависимость расхода через дроссельный регулирующий клапан от углового и (или) линейного перемещения рабочего органа (жалюзи) и может быть построена по результатам измерений.

Определение степени неравномерности нагрузки калориферов воздухом производится на основе результатов обработки измеренных параметров воздушного потока в выходном сечении калориферов. Из совокупности калориферов, составляющих одну колонну, выделяют калориферы с минимальными G_{min} и максимальными G_{max} массовыми расходами воздуха и вычисляют коэффициент неравномерности, %:

$$\psi_{н\,j} = \frac{G_{max\,j} - G_{min\,j}}{G_{max\,j}}100, \quad j=\overline{1,\ k}, \quad (45)$$

где k — число колонн в установке.

Вычисляют абсолютное значение погрешности (%) коэффициента неравномерности $\Delta\psi_{н\,j}$, $j=\overline{1,\ k}$ и относительную погрешность расчета коэффициента неравномерности $\varepsilon_{\psi_{н\,j}}$, $j=\overline{1,\ k}$ по формулам:

$$\Delta\psi_н = \left(-\frac{\Delta G_{min\,j}}{G_{max\,j}} + \frac{G_{min\,j}\Delta G_{max\,j}}{(G_{max\,j})^2}\right)100; \quad (46)$$

$$\varepsilon_{\psi_{нj}} = \frac{\Delta\psi_{н\,j}}{\psi_{н\,j}}100.$$

Определение затрат мощности вентилятора главного проветривания на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки.

1. Полезная мощность N (кВт), затрачиваемая вентилятором главного проветривания на преодоление аэродинамического сопротивления воздушного тракта,

$$N = P_p D_c / 1000, \tag{47}$$

где P_p — потеря давления на воздушном тракте установки, Па; D_c — объемный расход воздуха, проходящего через калориферную установку, м³/с.

2. Абсолютная ΔN (кВт) и относительная ε_N (%) погрешности вычисления мощности могут быть рассчитаны по формулам:

$$\Delta N = \Delta P_p D_c + P_p \Delta D_c;\ \varepsilon_N = \Delta N / N 100, \tag{48}$$

где ΔP_p — абсолютные значения погрешности измерения потери давления на воздушном тракте установки (Па) и объемного расхода воздуха (м³/с), проходящего через установку.

3. Относительные затраты мощности вентилятора главного проветривания ψ_N (%) на преодоление аэродинамического сопротивления

$$\psi_N = \frac{N}{N_в} 100. \tag{49}$$

4. Абсолютная и относительная погрешности (%) величины ψ_N, т. е. $\Delta\psi_N$ и $\varepsilon\psi_N$:

$$\Delta\psi_N = \left(\frac{\Delta N}{N_в} - \frac{N\Delta N_в}{N_в^2}\right) 100, \tag{50}$$

$$\varepsilon_{\psi_N} = \frac{\Delta\psi_N}{\psi_N} 100. \tag{51}$$

В формулах (49) и (50) используются величины $N_в$ и $\Delta N_в$, которые определяются по паспортным данным работающих вентиляторов главного проветривания.

Для определения величины подсосов воздуха через неплотности копра и надшахтного здания необходимы значения массовых расходов воздуха через воздухоподающий ствол (G_c) и через калориферы ($G_к$). Указанные данные и значения абсолютных погрешностей их вычисления приведены в соответствующих таблицах с результатами обработки. Вычисления состоят из следующих операций.

1. Величина относительных подсосов воздуха через неплотности копра и надшахтного здания $\psi_{под}$ (%)

$$\psi_{под} = \frac{G_c - G_к}{G_c} 100. \tag{52}$$

2. Абсолютная погрешность величины $\psi_{под}$ (%):

$$\Delta\psi_{под} = \left[\frac{\Delta G_к}{G_c} - \frac{G_к \Delta G_c}{G_c^2}\right] 100. \tag{53}$$

3. Относительная погрешность измерения относительных подсосов воздуха (%):

$$\varepsilon_{\psi_{под}} = \frac{\Delta\psi_{под}}{\psi_{под}} 100. \qquad (54)$$

Результаты вычислений отражаются в таблице обработки.

3.3. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

3.3.1. Цель диагностики и организация работ

Техническую диагностику технологической схемы выполняют в целях определения фактических значений следующих показателей качества: отклонения температуры воды на входе в калориферы и на выходе из них от температурного графика; отклонения массового расхода воды через калориферы от расчетного значения, давления воды на входе в гидравлический тракт и на выходе из него; отношения фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме; относительной управляемости теплопроизводительностью; коэффициента загрязнения поверхности нагрева, средней скорости движения воды в трубках калориферов. Кроме этого, проводятся испытания клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды (для установок со смесительным насосом) для определения гидравлических сопротивлений в зависимости от положения затворов и для построения расходных характеристик, а также испытания смесительного насоса для определения фактической характеристики насоса $P=f_1(G_0)$ и $N=f_2(G_0)$ при фиксированной частоте вращения рабочего колеса.

Диагностика реализуется прямыми измерениями физических величин, от которых зависит состояние технологической схемы: температуры и давления воды на входе и выходе из гидравлического тракта; расхода сетевой воды через калориферную установку; расхода подмешиваемой воды (для установок со смесительными насосами); температуры воздуха, проходящего через дроссельные клапаны смесительной камеры, воздуховод копра, вентиляционный канал и воздухоподающий ствол; температуры атмосферного воздуха; давления на входе и выходе из клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды; давления на выходе из смесительного насоса; расхода воды через клапаны подачи сетевой и подмешиваемой воды; частоты вращения рабочего колеса насоса; активной мощности на зажимах электродвигателя смесительного насоса.

Расположение мест установки датчиков измеряемых величин на технологической схеме приведено на рис. 17.

Прямые измерения выполняет бригада наладчиков в составе трех человек, обученных приемам работы с измерительными приборами, которые применяются при испытаниях. Бригада должна иметь полный комплект измерительных и регистрирующих приборов, в том числе все приборы, используемые при диагностике воздушного тракта, и кроме того:

манометры МО-160 (4 шт.), манометры МТС-711 (4шт.), дифманометры ДМ-3573 в комплекте со вторичным прибором КСД-2 (2 шт.), мост автоматический КСМ на 12 точек измерения (1 шт.), термометры сопротивления типа ТСП и ТСМ (12 шт.), тахометр ТЧ-10р (1 шт.), и комплект измерительный для электрических измерений К-501 (1 шт.).

Перед прямыми измерениями вычисляют следующие подготовительные работы.

1. Проверяют правильность установки отборных устройств для датчиков давления, температуры и расхода, правильность монтажа датчиков измеряемых величин.

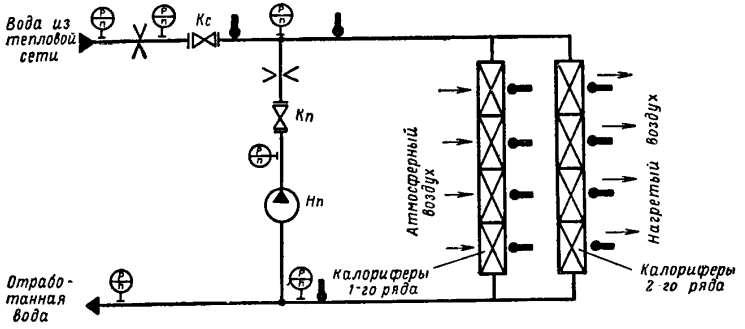

Рис. 17. Расположение мест установки датчиков измеряемых величин на технологической схеме калориферной установки

2. Продувают импульсные линии дифманометров и манометров.

3. Подключают регистрирующие приборы и оценивают их работоспособность в течение 60 мин.

4. Проверяют, чтобы все манометры, измеряющие избыточные давления в разных точках гидравлического тракта, были расположены на одной геометрической отметке.

5. На диаграммах приборов указывают тип и номер приборов, дату производства измерений, скорость диаграммной ленты, соответствие номеров точек измеряемым участкам трактов энергоносителей, отметки времени.

Все измерения должны выполняться в полном соответствии с утвержденной программой работ по диагностике. Изменение режима работы установки, требуемое по технологии измерений, осуществляет эксплуатационный персонал калориферной установки.

3.3.2. Измерение температурных и гидравлических параметров стационарных режимов калориферной установки

Измерения для определения фактических значений основных показателей качества технологической схемы производят в следующем порядке.

1. Переводят установку в режим максимальной теплопроизводительности. Для этого полностью открывают клапаны смесительной камеры для нагретого воздуха и клапан воздуховода копра, закрывают клапаны смесительной камеры для холодного воздуха.

Если установка снабжена смесительным насосом, то, кроме того, полностью открывают клапан подачи сетевой воды, закрывают клапан подачи подмешиваемой воды и останавливают смесительный насос.

2. Производят регистрацию всех измеряемых величин (кроме величин, определяющих работу смесительного насоса и клапана подмешиваемой воды) в течение 60 мин. Если регистрирующие приборы не снабжены отметчиками времени, то такие отметки на диаграммной бумаге ставит ответственный за измерения наладчик. Если для измерения используются показывающие приборы, то их показания заносят в журнал наблюдений через каждые 10 мин.

3. Переводят установку в режим нормативной теплопроизводительности, в котором температура воздуха в стволе максимально приближается к допустимому диапазону: от +2 до +5 °С или от —7 до —4 °С (для условий многолетней мерзлоты).

Для установки нормативного режима отыскивают и устанавливают такое положение клапанов смесительной камеры для подачи в ствол нагретого воздуха, при котором наблюдается наибольшее приближение температуры воздуха в стволе к допустимому значению. Если установка снабжена смесительным насосом, то нормативный режим выбирают, изменяя положения клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды при полностью открытом клапане подачи нагретого воздуха в смесительную камеру. Регистрацию всех измеряемых величин производят в течение 60 мин в режиме нормативной теплопроизводительности.

4. Во время регистрации измеряемых величин исключают возмущение, вызванное изменением подсосов холодного воздуха через устье ствола и надшахтное здание.

5. Измерения в режиме максимальной теплопроизводительности используют для вычисления отношения фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме, отклонения массового расхода воды через калориферы от расчетного значения и коэффициента загрязнения поверхности нагрева, а измерения в режиме нормативной теплопроизводительности — для вычисления отклонения температуры воды на входе в калориферы от температурного графика, давления воды на входе в гидравлический тракт, давления на выходе из гидравлического тракта, средней скорости воды в трубках калориферов и отклонения температуры воды на выходе из калориферов от температурного графика.

3.3.3. Испытание смесительного насоса и клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды

Испытания проводят в следующем порядке.

1. Переводят установку в режим максимальной теплопроизводительности. Для этого полностью открывают клапан подачи сетевой воды, закрывают клапан подачи подмешиваемой воды, включают смесительный насос, открывают клапаны подачи нагретого воздуха смесительной камеры.

2. В течение 30 мин производят регистрацию давления и температуры воды на входе в клапаны подачи сетевой и подмешиваемой воды, давления и температуры воды на выходе клапанов, расхода воды через клапаны, температуры атмосферного воздуха, температуры воздуха в стволе, температуры воды на входе и выходе из калориферов, температуры и давления воды на входе и выходе смесительного насоса, расхода воды через смесительный насос, активной мощности на зажимах двигателя насоса, частоты вращения рабочего колеса насоса.

3. Изменяют положение затвора клапана подачи сетевой воды на 10% в сторону уменьшения проходного сечения, а затвора клапана подачи подмешиваемой воды — на 10% в сторону увеличения проходного сечения.

4. В течение 30 мин производят регистрацию величин по п. 2.

5. Измерения по пп. 2—4 выполняют при всех промежуточных положениях затворов клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды, но так, чтобы последнее промежуточное положение затвора сетевого клапана составляло не менее 50% при положении затвора клапана подмешивания также 50%.

6. При регистрации параметров режима в промежуточных положениях клапанов необходимо контролировать текущее значение температуры воды на выходе из калориферов. Если температура воды в промежуточном режиме становится менее +30 °С, то с помощью клапанов смесительной камеры необходимо уменьшить расход воздуха через калориферы до такого значения, чтобы температура воды на выходе из калориферов стала более +30 °С, и продолжить регистрацию всех перечисленных в п. 2 величин.

Результаты испытания смесительного насоса и клапанов используют для определения фактических характеристик насоса $P = f_1(G_0)$ и $N = f_2(G_0)$ при постоянной частоте вращения рабочего колеса, для определения зависимостей коэффициентов гидравлического сопротивления клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды от положения их затворов и построения расходных характеристик клапанов.

3.3.4. Обработка результатов измерений параметров энергоносителей

Предварительная обработка измеренных параметров стационарного режима. Предварительная обработка результатов измерений заключается в определении средних значений расходов (кг/с) через все калориферы установки $G_{0.ср}$ и через

калориферы одного ряда по ходу движения воздуха $G_{\text{о.ср1}}$, давлений (МПа) $P_{\text{о.н.ср}}$, $P_{\text{ок.ср}}$ и температур (°С) $t_{\text{о.н.ср}}$, $t_{\text{о.к.ср}}$ и вычислении значений абсолютных и относительных погрешностей измерения во всех назначенных режимах диагностики технологической схемы с помощью формул:

$$G_{\text{о.ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} G_{\text{о}i};\ G_{\text{о.ср1}} = G_{\text{о.ср}}/L_p; \tag{55}$$

$$P_{\text{о.н.ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_{\text{о.н}\,i}\ ;\quad P_{\text{ок.ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_{\text{о.к}\,i}; \tag{56}$$

$$t_{\text{о.н.ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_{\text{о.н}\,i};\ t_{\text{о.к.ср}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_{\text{о.к}\,i}; \tag{57}$$

$$\Delta G_{\text{о}} = \frac{\sigma_G G_{\text{о.max}}}{100}; \tag{58}$$

$$\Delta P_{\text{о}} = \frac{\sigma_p P_{\text{max}}}{100}; \tag{59}$$

$$\Delta t = \frac{\sigma_t t_{\text{max}}}{100} \tag{60}$$

и соотношений (35), (36), (43), где n — общее число измерений; L_p — число рядов калориферов, установленных по ходу движения воздуха, шт; $G_{\text{о.max}}$ — верхнее значение шкалы расходомера, кг/с; σ_G — предельная относительная погрешность измерения расхода, %; P_{max} — верхнее значение шкалы манометра, МПа; σ_p — предельная относительная погрешность измерения давления, %; t_{max} — верхнее значение шкалы прибора, °С; σ_t — предельная относительная погрешность измерения температуры, %.

Величина σ_G вычисляется по методике («Правила 28—64»), а величины σ_p и σ_t соответствуют классу точности приборов.

Определение гидравлического сопротивления калориферной установки. Гидравлическое сопротивление калориферной установки необходимо знать при согласовании режимов работы тепловой сети и гидравлического тракта калориферной установки, а также при выборе и определении режимов работы, наладке смесительного насоса и клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды.

Исходными данными для расчета гидравлического сопротивления калориферной установки являются результаты измерения параметров энергоносителя в режиме нормативной теплопроизводительности установки. При определении гидравлического сопротивления вычисляют следующие величины.

1. Среднее значение потери давления (МПа) на гидравлическом тракте установки

$$\Delta P_{\text{о}} = P_{\text{о.н.ср}} - P_{\text{о.к.ср}}. \tag{61}$$

2. Среднеинтегральное значение плотности воды (кг/м³) в трубках калориферов [15, 16]

$$\rho_o = \frac{\int_{t_{o.н.ср}}^{t_{o.к.ср}} (1000{,}8287 - 0{,}0837t - 0{,}00373t^2 + 0{,}0000037t^3)\,dt}{t_{o.н.ср} - t_{o.к.ср}} =$$

$$= 1000{,}8287 - 0{,}04185\,(t_{o.н.ср} + t_{o.к.ср}) - 0{,}001243\,\frac{\left(t^3_{o.н.ср} - t^3_{o.к.ср}\right)}{t_{o.н.ср} - t_{o.к.ср}} +$$

$$+ 0{,}00000092\,\frac{\left(t^4_{o.н.ср} - t^4_{o.к.ср}\right)}{t_{o.н.ср} - t_{o.к.ср}}. \qquad (62)$$

3. Объемный расход греющего энергоносителя (м³/с), проходящего через калориферы,

$$D_o = G_{o.ср}/\rho_o. \qquad (63)$$

4. Значения гидравлического сопротивления установки [13, 14]

$$S_{г.о} = \frac{\Delta P_o}{D_o^2}, \qquad (64)$$

$$S_{г.м} = \frac{\Delta P_o}{G^2_{o.ср}}, \qquad (65)$$

где $S_{г.о}$ — гидравлическое сопротивление установки, выраженное через объемный расход воды, МПа/(м³/с)²; $S_{г.м}$ — то же, выраженное через массовый расход воды, МПа/(кг/с)².

Величины $S_{г.о}$ и $S_{г.м}$ связаны между собой соотношением

$$S_{г.о} = S_{г.м}\rho_o^2. \qquad (66)$$

5. Абсолютные значения погрешностей вычисления:
потери давления на гидравлическом тракте

$$\Delta(\Delta P_o) = \Delta P_{o.н} + \Delta P_{o.к}; \qquad (67)$$

плотности

$$\Delta\rho_o = (-0{,}0837 - 0{,}004972t_{o.н.ср} - 0{,}002486t_{o.к.ср} + 0{,}00000552t^2_{o.н.ср} +$$

$$+ 0{,}00000368t_{o.н.ср}t_{o.к.ср} + 0{,}00000184t^2_{o.к.ср})\,\Delta t_o; \qquad (68)$$

объемного расхода

$$\Delta D_o = \Delta G_o/\rho_o - G_{o.ср}\Delta\rho_o/\rho_o^2; \qquad (69)$$

гидравлического сопротивления

$$\Delta S_{г.о} = \Delta(\Delta P_o)/D_o^2 - 2\Delta P D_o \Delta D_o/D_o^4; \qquad (70)$$

$$\Delta S_{г.м} = \Delta(\Delta P_o)/G_{o.ср} - 2\Delta P G_{o.ср}\Delta G_o/G^4_{o.ср}. \qquad (71)$$

В соотношения (67) — (71) входят абсолютные значения погрешностей измерения давления $\Delta P_{o.н}$, $\Delta P_{o.к}$, температуры Δt_o и расхода ΔG_o, числовые значения которых могут быть найдены по формулам соответственно (59), (60) и (58).

При выводе соотношения (68) принято допущение о равенстве абсолютных значений погрешностей измерения температур $\Delta t_{о.\,н.\,ср}$ и $\Delta t_{о.к.\,ср}$, т. е.

$$\Delta t_{о} = \Delta t_{о.н.\,ср} = \Delta t_{о.к.\,ср}. \quad (72)$$

6. Относительная погрешность (%) определения гидравлического сопротивления

$$\varepsilon_{S_г} = \frac{\Delta S_г}{S_г} 100. \quad (73)$$

Определение коэффициентов гидравлических сопротивлений и расходных характеристик клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды (для установок со смесительными насосами). Исходными данными для расчета являются результаты измерений расходных и температурных параметров греющего энергоносителя в режиме испытания смесительного насоса и клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды. При определении коэффициентов гидравлических сопротивлений и расходных характеристик клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды вычисляют следующие величины.

1. Средние значения давления воды во входном $P_{о.н.\,ср}$ и выходном $P_{о.к.\,ср}$ сечениях, массовых расходов $G_{о.\,ср}$, $G_{п.\,ср}$ и температуры $t_{о.\,ср}$ для начального положения затвора клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды по формулам (56), (55) и (57).

2. Падение давления на клапане ΔP по формуле (61).

3. Плотность энергоносителя $\rho_о$ по формуле (62), приняв $t_{о.н.\,ср} = t_{о.к.\,ср} = t_{о.\,ср}$.

4. Значение коэффициента гидравлического сопротивления клапана ξ, отнесенное к площади условного прохода присоединительного патрубка, по формуле (38). При этом величина площади F в формуле должна быть равна площади условного прохода присоединительного патрубка клапана.

5. Абсолютные значения погрешности измерения давления во входном $\Delta P_{о.\,н}$ и выходном $\Delta P_{о.\,к}$ патрубках клапана, массовых расходов $\Delta G_с$, $\Delta G_п$ и температуры $\Delta t_о$ по формулам (59), (58) и (60).

6. Абсолютные значения погрешностей измерения плотности $\Delta\rho_о$ и падения давления на клапане $\Delta\,(\Delta P_о)$ по формулам (68) и (67).

7. Абсолютное значение погрешности вычисления коэффициента гидравлического сопротивления $\Delta\xi$ по формуле (41). При этом величину ΔF, показывающую абсолютное значение погрешности измерения площади условного прохода присоединительного патрубка, с достаточной для практических целей точностью можно принять равной $0{,}05F$, м^2.

8. Относительную погрешность измерения массового расхода ε_G и коэффициента гидравлического сопротивления ε_ξ по формулам (35) и (44).

Вычисления в объеме пунктов 1—8 повторяют для всех измеренных параметров при остальных положениях затворов клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды.

Расходные характеристики клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды представляют собой графические или табличные зависимости массовых расходов воды от положения их затворов и используются для определения коэффициентов передачи установки как объекта автоматического управления по каналам «массовый расход сетевой и подмешиваемой воды — теплопроизводительность установки». В свою очередь, коэффициент передачи используется при выборе и наладке регулятора теплопроизводительности.

Определение характеристик смесительного насоса. Под характеристиками смесительного насоса понимают зависимость полного давления P_o, создаваемого насосом, и мощности N, потребляемой двигателем насоса, от изменения массового расхода перекачиваемой жидкости G_o, т. е. функции вида $P_o = f_1(G_o)$ и $N = f_2(G_o)$.

Исходными данными для расчета служат результаты измерений параметров греющего энергоносителя в режиме испытания смесительного насоса и клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды.

При определении характеристик смесительного насоса вычисляют следующие величины.

1. Средние значения давлений во всасывающем $P_{o.к.ср}$ и нагнетательном $P_{o.н.ср}$ патрубках насоса, расхода воды, перекачиваемой насосом $G_{o.ср}$ при начальном положении затвора клапана подачи подмешиваемой воды, по формулам (56) и (55).

2. Средние значения температуры $t_{o.ср}$ и плотности ρ_o греющего энергоносителя по формулам (57) и (62). В формулу (62) необходимо подставлять значения $t_{o.н.ср}$ и $t_{o.к.ср}$, равные $t_{o.ср}$.

3. Скорость движения энергоносителя (м/с) во всасывающем (W_1) и нагнетательном (W_2) патрубках насоса:

$$W_j = \frac{G_{o.ср}}{F_j \rho_o}, \quad j = \overline{1, 2}, \tag{74}$$

где F_j, $j = \overline{1, 2}$ — площади сечений всасывающего ($j = 1$) и нагнетательного ($j = 2$) патрубков насоса, м^2.

4. Полное давление, создаваемое насосом [17]:

$$P_o = 9{,}81 \cdot 10^3 \left(\frac{P_{o.н.ср} - P_{o.к.ср}}{\rho_o q} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} \right). \tag{75}$$

5. Абсолютные значения погрешности измерения давления во всасывающем ($\Delta P_{o.н}$) и нагнетательном ($\Delta P_{o.к}$) патрубках насоса, массового расхода перекачиваемой жидкости G_o, температуры Δt_o и плотности $\Delta\rho_o$ по формулам (59), (58), (60), (68).

6. Абсолютное значение погрешности расчета скоростей движения энергоносителя ΔW_j, $j = \overline{1, 2}$ в патрубках насоса:

$$\Delta W_j = \left| \Delta G_o / (F_j \rho_o) - \frac{G_{o.ср} \Delta F_j}{F_j^2 \rho_o} - \frac{G_{o.ср} \Delta\rho_o}{F_j \rho_o^2} \right|, \quad j = 1, 2, \tag{76}$$

где ΔF_j, $j = \overline{1, 2}$ — абсолютные погрешности измерения площади живого сечения всасывающего ($j = 1$) и нагнетательного ($j = 2$) патрубков насоса, м^2.

Величины ΔF_j, $j = \overline{1, 2}$ с достаточной для практических целей точностью можно принять равными $0{,}05F_j$, $j = \overline{1, 2}$.

7. Абсолютное значение погрешности вычисления полного давления, создаваемого насосом:

$$\Delta P_o = 9{,}81 \cdot 10^3 \left| \frac{\Delta P_{o.н}}{\rho_o g} - \frac{\Delta P_{o.к}}{\rho_o g} - \frac{(P_{o.н.\,ср} - P_{o.к.\,ср})\,\Delta\rho_o}{\rho_o^2 g} + \frac{W_2 \Delta W_2}{g} - \frac{W_1 \Delta W_1}{g} \right|. \quad (77)$$

8. Средние значения электрической мощности на зажимах электродвигателя (кВт) и частоты вращения (1/с):

$$N_{эл.\,ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} N_{эл\,i}; \quad n_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} n_i. \quad (78)$$

9. Абсолютное значение погрешности измерения электрической мощности и частоты вращения:

$$\Delta N_{эл} = \frac{\sigma_N N_{эл\,max}}{100};$$

$$\Delta n = \frac{\sigma_n n_{max}}{100}, \quad (79)$$

где σ_N и σ_n — классы точности соответствующих приборов, %.

10. Относительные погрешности измерения массового расхода ε_G и полного давления ε_P, создаваемого смесительным насосом, по формулам соответственно (35) и (43).

11. Относительную погрешность измерения (%) электрической мощности и частоты вращения:

$$\varepsilon_{N_{эл}} = \frac{\Delta N_{эл}}{N_{эл.ср}} 100; \quad \varepsilon_n = \frac{\Delta n}{n_{ср}} 100. \quad (80)$$

Всю совокупность рассмотренных вычислительных операций повторить в полном объеме для остальных положений затвора клапана подачи подмешиваемой воды, для которых выполнялись измерения.

Определение фактической скорости воды в трубках калорифера. Исходными данными для определения фактической скорости движения воды в трубках калориферов являются значения расходных и температурных параметров энергоносителя для режима нормативной теплопроизводительности упаковки, полученные в результате замеров.

Используя данные замеров, вычисляют следующие величины.

1. Средние значения массового расхода энергоносителя через калориферы одного ряда по ходу движения воздуха $G_{o.ср.j}$ и его температуру во входном $t_{он.ср}$ выходном $t_{ок.ср}$ сечении калориферов установки по формулам (55) и (57).

2. Среднеинтегральное значение плотности воды ρ_o, соответствующее температурам $t_{он.ср}$ и $t_{ок.ср}$ по уравнению (62).

3. Фактическую скорость движения воды (м/с):

$$W_{o.ф\,j} = \frac{G_{o.ср j}}{\rho_o S_{o1} L_{кj} L_{яj}}, \quad j = \overline{1, L_p}, \quad (81)$$

где $S_{o.1}$ — живое сечение гидравлического тракта одного калорифера, м^2; $L_{кj}$, $L_{яj}$ — число блоков в ярусе и ярусов в ряду калориферов по ходу воздуха, шт.

4. Абсолютное значение погрешности измерения скорости движения воды (м/с):

$$\Delta W_{oj} = \left| \frac{\Delta G_{aj}}{\rho_в S_{o\,1} L_{к\,j} L_{я\,j}} - \frac{G_{o.ср} \Delta \rho_o}{\rho_o^2 S_{o\,1} L_{к\,j} L_{я\,j}} - \frac{G_{o.ср.j} \Delta S_{o\,1}}{\rho_o S_{o\,1}^2 L_{к\,j} L_{я\,j}} \right|, \; j = \overline{1, L_p}, \quad (82)$$

где $\Delta S_{o\,1}$ — абсолютная погрешность измерения живого сечения по воде одного калорифера, м^2 (с достаточной для практических целей точностью можно принять равной $0{,}05 S_{o.1}$, м^2).

5. Относительную погрешность измерения (%) скорости движения воды в трубках калорифера:

$$\varepsilon_{W_j} = \frac{\Delta W_{o\,j}}{W_{o.ф\,j}} 100, \; j = \overline{1, L_p}. \quad (83)$$

Определение фактического и расчетного значения коэффициента теплопередачи и коэффициента загрязнения поверхностей теплообмена. Исходными данными для вычисления являются параметры энергоносителей, измеренные в режиме максимальной теплопроизводительности установки.

Вычисления выполняются отдельно для калориферов, установленных в первом и последующих рядах по ходу движения воздуха. Вычисления ведут в следующем порядке.

1. Средние значения температур энергоносителей во входном $t_{он.ср}$, $t_{вн.\,ср.j}$ и выходном $t_{ок.\,ср.j}$, $t_{вк.ср.j}$ сечениях трактов калориферов, установленных в ряду по ходу воздуха, — по формулам (57) и (32). Следует иметь в виду, что фактическая температура воздуха на входе калориферов каждого следующего ряда будет равна температуре воздуха на выходе из предыдущего ряда, т. е. $t_{вн.ср.j} = t_{вк.ср.j-1}$.

2. Среднее значение массового расхода воды через калориферы $G_{o.ср.j}$ по формуле (55).

3. Фактическое значение теплопроизводительности (кВт) установки $Q_{ф\,j}$:

$$Q_{ф\,j} = G_{o.\,ср\,j} c_o (t_{он.\,ер\,j} - t_{ок.ср\,j})/1000, \quad (84)$$

где c_o — среднеинтегральное значение изобарной теплоемкости воды, Дж/(кг·°С).

Величина c_o может быть вычислена по формуле [16]:

$$c_o = \frac{\int_{t_{вн.ср}}^{t_{ок.ср}} (4202{,}05 + 0{,}9884 t_o + 0{,}0096 t_o^2)\, dt_o}{t_{o.ер\,j} - t_{ок.ср\,j}} = 4202{,}05 + 0{,}4942 (t_{он.ср\,j} + t_{ок.ср\,j}) + 0{,}0032 \frac{t_{он.ср\,j}^3 - t_{ок.ср\,j}^3}{t_{он.ср\,j} - t_{ок.ср\,j}}. \quad (85)$$

4. Фактическое значение среднелогарифмической разности температур (°С) энергоносителей для калориферов j-го ряда по ходу движения воздуха по формуле [11, 12]:

$$\Delta t_{\text{ср.лог.ф}\,j} = \frac{(t_{\text{ок.ср}\,j} - t_{\text{вк.ср}\,j}) - (t_{\text{ок.ср}\,j} - t_{\text{вн.ср}\,j})}{\ln \dfrac{t_{\text{он.ср}\,j} - t_{\text{вк.ср}\,j}}{t_{\text{ок.ср}\,j} - t_{\text{вн.ср}\,j}}}, \quad j = \overline{1, L_p}. \qquad (86)$$

5. Фактическое значение коэффициента теплопередачи Вт/(м^2·°С) калориферов j-го ряда

$$K_{\text{ф}tj} = \frac{Q_{\text{ф}\,j}}{\psi_c F_{t_1} N_{\text{к}\,j} M_{\text{к}\,j} L_{\text{к}\,j} L_{\text{я}\,j} \Delta t_{\text{ср.лог.ф}\,j}}, \quad j = \overline{1, L_p}, \qquad (87)$$

где F_{t_1} — поверхность теплопередачи одного калорифера, м^2;

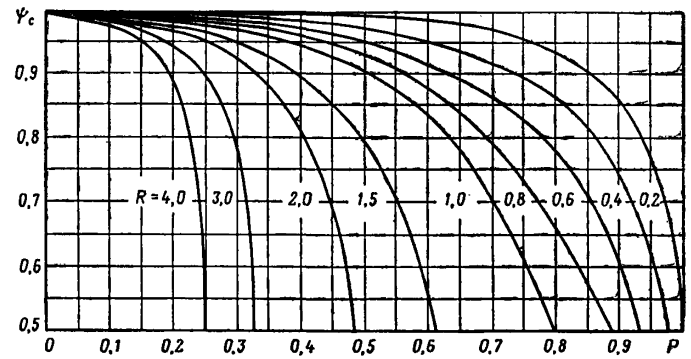

Рис. 18. График для определения коэффициента совершенства схемы взаимного движения энергоносителей

$N_{\text{к}\,j}$, $M_{\text{к}\,j}$ — число калориферов в колонне и число колонн в блоке калориферов j-го ряда, шт; ψ_c — коэффициент совершенства схемы взаимного движения энергоносителей.

Величина ψ_c может быть определена на основе вспомогательных параметров P_j и R_j из графиков, показанных на рис. 18 [11, 12]. Параметры P_j и R_j вычисляются по формулам:

$$P_j = \frac{t_{\text{в.к.ср}\,j} - t_{\text{в.н.ср}\,j}}{t_{\text{о.н.ср}\,j} - t_{\text{в. н.ср}\,j}}, \; R_j = \frac{t_{\text{о. н.ср}\,j} - t_{\text{о.к.ср}\,j}}{t_{\text{в.к.ср}\,j} - t_{\text{в.н.ср}\,j}}, \quad j = \overline{1, L_p}. \qquad (88)$$

Практические расчеты показывают, что для возможных диапазонов температур воды $t_o \in 25 \div 150$ °С и воздуха в $t_в \in 0 \div -61$ °С, соответствующих географическим районам страны, где расположены шахтные калориферные установки, значение ψ находится в пределах 0,92—0,98 и может быть принято при обработке результатов измерений равным 0,95.

6. Абсолютное значение погрешности определения фактического коэффициента теплопередачи $\left[\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{с})}\right]$:

$$\Delta K_{\Phi t_j} = \left| \frac{\Delta Q_{\Phi j}}{\psi_c F_{t_1} N_{\text{к } j} M_{\text{к } j} L_{\text{к } j} L_{\text{я } j} \Delta t_{\text{ср.лог.ф.}j}} - \right.$$

$$- \frac{Q_{\Phi j} \Delta \psi_c}{\psi_c^2 F_{t_1} L_{\text{к } j} L_{\text{я } j} N_{\text{к } j} M_{\text{к } j} \Delta t_{\text{ср.лог.ф. } j}} - \frac{Q_{\Phi j} \Delta F_{t_1}}{\psi_c F_{t_1}^2 L_{\text{к } j} L_{\text{я } j} N_{\text{к } j} M_{\text{к } j} \Delta t_{\text{ср.лог.ф.}j}} -$$

$$\left. - \frac{Q_{\Phi j} \Delta (\Delta t_{\text{ср.лог.ф } j})}{\psi_c F_{t_1} N_{\text{к } j} M_{\text{к } j} L_{\text{к } j} L_{\text{я } j} (\Delta t_{\text{ср.лог.ф. } j})^2} \right|, \; j = \overline{1, L_p}, \tag{89}$$

где $\Delta Q_{\Phi j}$ — абсолютное значение погрешности измерения фактической теплопроизводительности калориферов j-го ряда $j = \overline{1,2L_p}$, Вт; ΔF_{t_1}, $\Delta \psi_c$ — абсолютные значения погрешностей измерения поверхности теплопередачи (м²) и коэффициента совершенства схемы взаимного движения теплоносителей; $\Delta (\Delta t_{\text{ср.лог.ф. } j})$ — абсолютное значение погрешности измерения среднелогарифмической разности температур, °С.

Величина $\Delta Q_{\Phi j}$ вычисляется по формуле

$$\Delta Q_{\Phi . j} = \Delta G_{\text{о}} \cdot c_{\text{о}} (t_{\text{о. н.ср } j} - t_{\text{о.к.ср } j}) + G_{\text{о.ср } j} \Delta c_{\text{о}} (t_{\text{о.н.ср } j} -$$

$$- t_{\text{о.к.ср } j}) + G_{\text{о.ср } j} c_{\text{о}} (\Delta t_{\text{о.н.}j} - \Delta t_{\text{о.к } j}), \tag{90}$$

где $\Delta c_{\text{о}}$ — абсолютное значение погрешности вычисления теплоемкости воды, Дж/(кг · °С).

Величина $\Delta c_{\text{о}}$ вычисляется по формуле

$$\Delta c_{\text{о}} = (0{,}4942 + 0{,}0064 t_{\text{о.н.ср } j} + 0{,}0032 t_{\text{о.к.ср. } j}) \Delta t_{\text{о.н } j} +$$

$$+ (0{,}4942 + 0{,}0032 t_{\text{о.ср.}j} + 0{,}0064 t_{\text{о.к.ср } j}) \Delta t_{\text{о.к } j}, \text{ Дж/(кг · °С)}. \tag{91}$$

Величины $\Delta G_{\text{о}}$ и $\Delta t_{\text{о}}$ могут быть рассчитаны по формулам (58) и (60), а ΔF_{t_1} и $\Delta \psi_c$ с достаточной для практических целей точностью приняты равными $0{,}05 F_{t_1}$ и $0{,}05 \psi_c$.

Значение $\Delta (\Delta t_{\text{ср.лог.ф}j})$ (%) может быть определено по формуле

$$\Delta (\Delta t_{\text{ср.лог.ф } j}) = \left| [(\Delta t_{\text{о.н } j} - \Delta t_{\text{в.к } j}) - (\Delta t_{\text{о.к } j} - \Delta t_{\text{в.н } j})] \ln \frac{t_{\text{о.н.ср } j} - t_{\text{в.к.ср } j}}{t_{\text{о.к.ср } j} - t_{\text{в.н.ср } j}} - \right.$$

$$- [(t_{\text{о.н.ср } j} - t_{\text{в.к.ср } j}) - (t_{\text{о.к.ср } j} - t_{\text{в.н.ср } j})] \times$$

$$\times \left[\frac{(\Delta t_{\text{о.н. } j} - \Delta t_{\text{в.к } j})(t_{\text{о.к.ср } j} - t_{\text{в.н.ср } j}) - (\Delta t_{\text{о.к } j} - \Delta t_{\text{в.н } j})(t_{\text{о.н.ср } j} - t_{\text{в.к.ср } j})}{(t_{\text{о.к.ср } j} - t_{\text{в.н.ср } j})^2} \right] \times$$

$$\left. \times \frac{(t_{\text{о.к.ср } j} - t_{\text{в.н.ср } j})}{(t_{\text{о.н.ср } j} - t_{\text{в.к.ср } j})} \right|. \tag{92}$$

7. Среднее по поверхности калориферов установки значение коэффициента теплопередачи $K_{\Phi t_{\text{ср}}} \left[\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot °\text{С})}\right]$ и относительная погреш-

ность измерения фактического значения коэффициента теплопередачи $\varepsilon_к$ (%) по формулам:

$$K_{ф\,t_{ср}} = \frac{\sum\limits_{j=1}^{L_p} N_{к\,j} M_{к\,j} L_{к\,j} L_{я\,j} F_{t_1} K_{ф\,t_j}}{\sum\limits_{j=1}^{L_p} N_{к\,j} M_{к\,j} L_{к\,j} L_{я\,j} F_{t_1}}; \tag{93}$$

$$\varepsilon_к = \frac{\Delta K_{ф\,t}}{K_{ф\,t}} 100.$$

8. Значение каталожного коэффициента теплопередачи $\left[\frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}\right]$ калориферов j-го ряда, $j = \overline{1, L_p}$ по формуле

$$K_{t\,р\,j} = A_1 \left(\frac{G_{в.ср\,j}}{S_{в1} N_{к\,j} L_{к\,j} M_{к\,j} L_{я\,j}}\right)^{A_2} \left(\frac{G_{о.ср\,j}}{\rho_0 s_{о1} L_{я\,j} L_{к\,j}}\right)^{A_3}, \tag{94}$$

где A_1, A_2, A_3 — константы эмпирической формулы, определяемые по паспортным данным калорифера фиксированного типа и модели; $S_{в1}$ — площадь сечения воздушного тракта одного калорифера, м^2.

Величина $G_{в.ср\,j}$ определяется по формуле (31).

9. Коэффициент $\psi_{з\,j}$ загрязнения поверхностей теплообмена калориферов j-го ряда, $j = \overline{1, L_p}$.

Величина коэффициента загрязнения поверхностей теплообмена калориферов численно характеризует степень снижения интенсивности теплообмена между теплоносителями (водой, воздухом) и разделяющей их металлической стенкой калориферов:

$$\psi_{з\,j} = 1 - \frac{K_{t\,ф\,j}}{K_{t\,р\,j}}, \quad j = \overline{1, L_p}. \tag{95}$$

10. Абсолютное значение погрешности определения каталожного коэффициента теплопередачи $\Delta K_{t\,р\,j}$ $\left[\frac{Вт}{(м^2 \cdot °C)}\right]$:

$$\Delta K_{t\,р\,j} = \left| A_1 A_2 \left(\frac{G_{о.ср\,j}}{\rho_0 S_{о1} L_{я\,j} L_{к\,j}}\right)^{A_2} \left(\frac{G_{в.ср\,j}}{S_{в1} N_{к\,j} M_{к\,j} L_{к\,j} L_{я\,j}}\right)^{A_2-1} \times \right.$$

$$\times \left(\Delta G_{в\,j} - \frac{\Delta S_{в1}}{S_{в1}^2}\right) + A_1 A_3 \left(\frac{G_{в.ср\,j}}{S_{в1} N_{к\,j} M_{к\,j} L_{к\,j} L_{я\,j}}\right)^{A_2} \left(\frac{G_{о.ср\,j}}{S_{о1} \rho_0 L_{я\,j} L_{к\,j}}\right)^{A_3-1} \times$$

$$\left. \times \left(\Delta G_{о\,j} - \frac{\Delta S_{о1}}{S_{о1}^2} - \frac{\Delta \rho_0}{\rho_0^2}\right) \right|, \tag{96}$$

где $\Delta S_{о\,1}$, $\Delta S_{в\,1}$ — абсолютные погрешности измерения живых сечений калорифера проходу воды и воздуха (м^2), которые с достаточной для практических целей точностью могут быть приняты равными $0{,}05 S_{о\,1}$ и $0{,}05 S_{в\,1}$.

11. Абсолютное значение погрешности определения коэффициента загрязнения поверхностей теплообмена калориферов, установленных в одном ряду по ходу движения воздуха

$$\Delta\psi_{з\,j} = \left| -\frac{\Delta K_{ф\,t\,j}}{K_{t\,р\,j}} + \frac{K_{ф\,t\,j}\Delta K_{t\,р\,j}}{K^2_{t\,р\,j}} \right|, \quad j = \overline{1, L_p}. \tag{97}$$

12. Относительная погрешность (%) определения коэффициента загрязнения

$$\varepsilon_{\psi_{з\,j}} = \frac{\Delta\psi_{з\,j}}{\psi_{з\,j}} 100, \quad j = \overline{1, L_p}. \tag{98}$$

Определение отклонений температуры греющего энергоносителя во входном и выходном сечениях гидравлического тракта от температурного графика. Исходными данными для расчета служат измеренные температуры энергоносителя во входном и выходном сечениях гидравлического тракта в режиме максимальной теплопроизводительности и температурный график качественного регулирования.

Вычисления выполняют в следующем порядке.

1. Средние значения температуры энергоносителя во входном $t_{о.н.ср}$ и выходном $t_{о.к.ср}$ сечениях гидравлического тракта установки по формуле (47).

2. Отклонения фактических температур (%) во входном и выходном сечениях гидравлического тракта от температурного графика:

$$\psi_{t_{вх}} = \frac{(t_{о.н.р} - t_{о.н.ср})}{t_{о.н.р}} 100; \tag{99}$$

$$\psi_{t_{вых}} = \frac{(t_{о.к.р} - t_{о.к.ср})}{t_{о.к.р}} 100, \tag{100}$$

где $t_{о.н.р}$, $t_{о.к.р}$ — значения температур энергоносителя во входном и выходном сечениях гидравлического тракта по температурному графику для температуры атмосферного воздуха в момент испытаний, °С.

3. Абсолютные значения погрешностей отклонений фактических температур воды (%) от заданных значений:

$$\Delta\psi_{t_{вх}} = \frac{\Delta t_{о.н}}{t_{о.н.р}} 100, \tag{101}$$

$$\Delta\psi_{t_{вых}} = \frac{\Delta t_{о.к}}{t_{о.к.р}} 100.$$

4. Относительные погрешности отклонений фактических температур воды (%) от их заданных значений:

$$\varepsilon\psi_{t_{вх}} = \frac{\Delta\psi_{t_{вх}}}{\psi_{t_{вх}}} 100; \tag{102}$$

$$\varepsilon\psi_{t_{вых}} = \frac{\Delta\psi_{t_{вых}}}{\psi_{t_{вых}}} 100.$$

Определение отклонения массового расхода воды через калориферы от расчетного значения. Исходными данными для решения этой задачи должны служить результаты измерения расходных и температурных параметров воды режима максимальной теплопроизводительности установки.

Вычисления выполняют в определенной последовательности.

1. Требуемая теплопроизводительность калориферной установки (кВт) в расчетном режиме

$$Q_{\text{р}} = G_{\text{в.р}} c_{\text{в}} (t_{\text{ст}} - t_{\text{в.н.р}})/1000, \tag{103}$$

где $G_{\text{в.р}}$ — массовый расход воздуха, подаваемого по воздухоподающему стволу, кг/с; $c_{\text{в}}$ — среднеинтегральное значение изобарной теплоемкости воздуха, $\frac{\text{Дж}}{(\text{кг}\cdot{}^{\circ}\text{C})}$; $t_{\text{ст}}$ — расчетное значение температуры воздуха в стволе, °С.

Величина $c_{\text{в}}$ может быть рассчитана следующим образом:

$$\frac{\int\limits_{t_{\text{ст}}}^{t_{\text{в.н.р}}} \left(1000{,}05 - 0{,}04772 t_{\text{в}} + 0{,}000815 t_{\text{в}}^2\right) dt_{\text{в}}}{t_{\text{ст}} - t_{\text{в.н.р}}} =$$

$$= 1000{,}05 - 0{,}02386 (t_{\text{ст}} + t_{\text{в.н.р}}) + 0{,}0002716 \frac{t_{\text{ст}}^3 - t_{\text{в.н.р}}^3}{t_{\text{ст}} - t_{\text{в.н.р}}}. \tag{104}$$

2. Расчетное значение массового расхода воды (кг/с) через установку $G_{\text{о.р}}$

$$G_{\text{о.р}} = \frac{Q_{\text{р}}}{c_{\text{о.р}} (t_{\text{о.н.р}} - t_{\text{о.к.р}})}, \tag{105}$$

где $c_{\text{о.р}}$ — среднеинтегральное значение изобарной теплоемкости воды, соответствующее температурному интервалу в расчетном режиме $t_{\text{о.н.р}} - t_{\text{о.к.р}}$, $\frac{\text{Дж}}{(\text{кг}\cdot{}^{\circ}\text{C})}$, вычисляется по формуле (85).

3. Отклонение фактического значения массового расхода воды (%) от расчетного

$$\psi_G = \frac{G_{\text{о.р}} - G_{\text{о.ср}}}{G_{\text{о.р}}} 100. \tag{106}$$

4. Абсолютное значение погрешности отклонения (%) фактического массового расхода воды от расчетного

$$\Delta\psi_G = \frac{\Delta G_{\text{о}}}{G_{\text{о.р}}} 100. \tag{107}$$

5. Относительная погрешность отклонения (%) фактического массового расхода воды от расчетного

$$\varepsilon_{\psi_G} = \frac{\Delta\psi_G}{\psi_G} 100. \tag{108}$$

Определение фактической теплопроизводительности калориферной установки. Для определения

теплопроизводительности используют данные замера расходных и температурных параметров энергоносителей для режима максимальной теплопроизводительности.

Решение задачи сводится к вычислению следующих величин.

1. Средние значения температур во входном ($t_{о.н.ср}$) и выходном ($t_{с.к.ср}$) сечениях калориферов установки и массового расхода воды $G_{о.ср}$ находят по формулам (55) и (57).

2. Среднеинтегральное значение изобарной теплоемкости воды $C_о$ вычисляют по формуле (85).

3. Проверка условия: $\psi_G \leqslant 5$, %.

При невыполнении этого условия переходят к пункту 8, а при выполнении расчет выполняется в приведенной ниже последовательности.

4. Фактическое значение теплопроизводительности установки $Q_ф$ по уравнению теплового баланса (84).

5. Абсолютное значение погрешности (%) и относительная погрешность расчета (%) фактической теплопроизводительности $\Delta Q_ф$ и $\varepsilon_{Q_ф}$ по формулам (90) и (109):

$$\varepsilon_{Q_ф} = \frac{\Delta Q_ф}{Q_ф} 100. \qquad (109)$$

6. Фактическая теплопроизводительность установки (кВт) в расчетном режиме $Q_{ф.р}$ по формуле [5, 13]

$$Q_{ф.р} = Q_ф \frac{t_{о.н.р} - t_{в.н.р}}{t_{о.н.ср} - t_{в.н.ср}}. \qquad (110)$$

Величину $t_{в.н.р}$ в соответствии с нормами технологического проектирования принимают равной абсолютной минимальной температуре атмосферного воздуха для географического района размещения предприятия из СНиП II-А-6—72, а $t_{о.н.р}$ — по температурному графику.

7. Абсолютное значение погрешности измерения фактической теплопроизводительности установки (кВт) в расчетном режиме:

$$\Delta Q_{фр} = \left| \Delta Q_ф \frac{t_{о.н.р} - t_{в.н.р}}{t_{о.н.ср} - t_{в.н.ср}} - Q_ф \frac{(t_{о.н.р} - t_{в.н.р})\,(\Delta t_{о.н} - \Delta t_{в.н}}{(t_{о.н.ср} - t_{в.н.ср})^2} \right|. \qquad (111)$$

Величина $\Delta t_{в.и}$ есть абсолютная погрешность измерения температуры атмосферного воздуха (°С), которая может быть определена по методике, изложенной в разд. 3.2 настоящего руководства. Перейти к пункту 23.

8. Массовый расход воздуха (кг/с), проходящего через калориферы при нормативном значении подсосов:

$$G_в = G_{в.р} (1 - \psi_{под}/100), \qquad (112)$$

где $G_{в.р}$ — массовый расход воздуха через воздухоподающий ствол, кг/с; $\psi_{под}$ — нормативное значение относительных подсосов воздуха через неплотности копра и надшахтного здания, %.

В существующих и проектируемых установках калориферы могут размещаться в один или несколько рядов по ходу движения

воздуха. В однорядных установках схема взаимного движения энергоносителей является перекрестной, а в многорядных (в зависимости от способа соединения рядов калориферов по воде) — перекрестно-прямоточной или перекрестно-противоточной (рис. 19). Ниже отдельно рассмотрен порядок вычисления фактической теплопроизводительности установки в расчетном режиме для однорядных и многорядных установок перекрестно-прямоточной и перекрестно-противоточной схем движения энергоносителей.

9. Так как фактические температуры энергоносителей в выходных сечениях трактов *однорядной* установки (рис. 19, *а*) в рас-

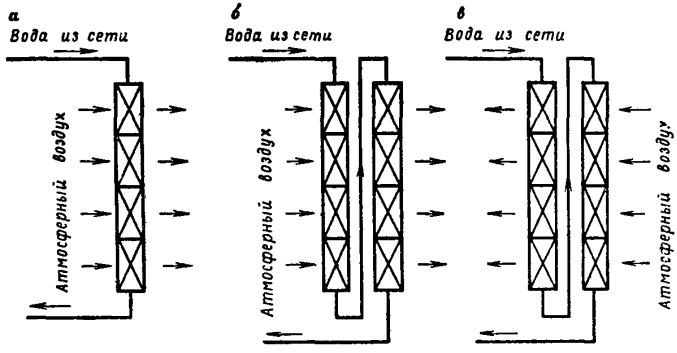

Рис. 19. Схемы взаимного движения энергоносителей в калориферных установках:
а — перекрестный ток; *б* — перекрестный ток с прямоточным движением воды в рядах; *в* — перекрестный ток с противоточным движением воды в рядах

четном режиме неизвестны, необходимо предварительно принять их значения равными расчетным и соответствующими значениям во входных сечениях трактов установки, т. е. $t_{в.к.пр} = t_{в.н.р}$ и $t_{о.к.пр} = t_{о.к.р}$.

10. Среднеинтегральные значения плотности воды $\rho_о$, изобарных теплоемкостей воды c и воздуха $c_в$ вычисляют по формулам (62), (85) и (104), соответствующим расчетным значениям температур энергоносителей на входе в установку $t_{о.н.р}$, $t_{в.н.р}$ и предварительным значениям температур энергоносителей в выходных сечениях установки $t_{в.к.пр}$ и $t_{о.к.пр}$.

11. Коэффициент теплопередачи $\frac{Вт}{(м^2 \cdot °С)}$

$$K_{р\,t} = A_1 \left(\frac{G_в}{S_{в1} N_к M_к L_к L_я} \right)^{A_2} \left(\frac{G_{о.р}}{S_{о\,1} \rho_о L_к L_я} \right)^{A_3}, \qquad (113)$$

где $G_{о.р}$ — массовый расход воды через калориферы в расчетном режиме (кг/с), определяется по формуле (105).

12. Вспомогательные параметры N и M:

$$M = \frac{K_{\text{р}\, t} F_{\text{п}} N_{\text{к}} L_{\text{к}} L_{\text{я}} \psi_{\text{с}} \psi_{\text{з}}}{2 G_{\text{ор}} c_{\text{о}}};$$

$$N = \frac{G_{\text{о.р}} c_{\text{о}}}{G_{\text{в}} c_{\text{в}}}. \qquad (114)$$

13. Уточненные фактические значения температур энергоносителей [°С] в выходных сечениях трактов установки — по формулам [12]:

$$t_{\text{в.к.р}} = t_{\text{в.н.р}} + (t_{\text{о.н.р}} - t_{\text{в.н.р}})\, N\, \frac{e^{2M(1-N)} - 1}{e^{2M(1-N)} - N};$$

$$t_{\text{о.к.р}} = t_{\text{о.н.р}} - (t_{\text{о.н.р}} - t_{\text{в.н.р}})\, \frac{e^{2M(1-N)} - 1}{e^{2M(1-N)} - N}. \qquad (115)$$

14. Проверка условий:

$$|t_{\text{о.к.пр}} - t_{\text{о.к.р}}| \leqslant 0{,}5\ ^{\circ}\text{С},$$

$$|t_{\text{в.к.пр}} - t_{\text{в.к.р}}| \leqslant 0{,}5\ ^{\circ}\text{С}. \qquad (116)$$

При невыполнении хотя бы одного из условий (116) присвоить предварительным значениям температур $t_{\text{в.к.пр}}$ и $t_{\text{о.к.пр}}$ значения $t_{\text{в.к.р}}$ и $t_{\text{о.к.р}}$, вычисленные по формуле (115), и перейти к пункту 10.

Выполнение условий (116) означает, что температура воздуха $t_{\text{в.к.р}}$ и воды $t_{\text{о.к.р}}$ в выходных сечениях установки определены с требуемой точностью. Перейти к пункту 23.

15. Для расчета конечных температур теплоносителей *многорядных установок с перекрестно-прямоточной схемой движения энергоносителей* (см. рис. 19, *б*) на выходе из калориферов последнего $L_{\text{р}}$-го ряда последовательно выполняют действия: вычисляют температуру воды и воздуха в выходных сечениях калориферов первого ряда по методике, приведенной в пунктах 9—14.

16. Температурам, соответствующим входным сечениям калориферов следующего j-го ряда, присваиваются значения, соответствующие температурам в выходных сечениях калориферов предыдущего ряда по ходу движения воздуха, т. е. $t_{\text{о.н.р}\, j} = t_{\text{о.к.р}-j}$ и $t_{\text{в.н.р}\, j} = t_{\text{в.н.р}\, j-1}$. Расчет повторяют в объеме пунктов 9—14 $L_{\text{р}}$ раз.

Температуры энергоносителей на выходе $L_{\text{р}}$ ряда калориферов будут являться искомыми температурами воды и воздуха в выходных сечениях калориферов установки. Перейти к пункту 23.

17. Для расчета конечных температур энергоносителей *многорядные установки с перекрестно-противоточной схемой движения энергоносителей* (см. рис. 19, *в*) на выходе из калориферов установки выполняют следующие действия. В условном сечении, соответствующем температурам $t_{\text{о.н.р}}$ и $t_{\text{в.н.р}}$, вычисляют $K_{\text{р}\, t}$ по формуле (113), причем в нее подставляют компоновочные параметры, соответствующие первому ряду калориферов по ходу движения воздуха.

18. Вспомогательные переменные M и N вычисляют по формулам (114). При этом в формулу для вычисления величины M входит сомножитель $L_{\text{р}}$.

19. Для определения предварительных значений температур воды и воздуха $t_{в.к.пр}$ и $t_{о.к.пр}$ используют формулы (115) и (117)

$$t_{о.к.пр} = t_{о.н.р} - \frac{t_{в.к.пр} - t_{в.н.р}}{N}. \quad (117)$$

20. Начиная с сечения, имеющего температуры $t_{о.н.р}$ и $t_{в.к.пр}$, определяют уточненное значение $t_{о.к.р}$ для всех $L_р$ рядов калориферов по ходу движения воздуха в соответствии с последовательностью, описанной в методике расчета температур энергоносителей в многорядных установках с перекрестно-последовательной схемой движения энергоносителей.

21. Рассчитанное значение $t_{о.к.р}$ температуры воды на выходе из калориферов последнего ряда сравнивается с $t_{о.к.пр}$, т. е. проверяется условие

$$|t_{о.к.р} - t_{о.к.пр}| \leqslant 0{,}5. \quad (118)$$

Выполнение условия (118) означает, что температуры $t_{в.к.пр}$ и $t_{о.к.р}$ вычислены с требуемой точностью. Перейти к пункту 23.

При невыполнении условия (118) присвоить $t_{о.к.пр} = t_{о.к.р}$ и вычислить значение $t_{в.к.пр}$ по формуле

$$t_{в.к.пр} = t_{в.н.р} + N(t_{о.н.р} - t_{о.к.пр}). \quad (119)$$

22. Расчет повторить в объеме пунктов 20—21.

23. Среднелогарифмический температурный напор для всех j-тых рядов, $j = \overline{1, L_р}$ $\Delta t_{ср.лог.р\,j}$ по формуле (86).

24. Фактическая теплопроизводительность (кВт) калориферов j-го ряда, $j = \overline{1, L_р}$ и установки в целом в расчетном режиме:

$$\left.\begin{aligned} Q_{ф.р\,j} &= \psi_{з\,j} K_{р\,tj} F_{t1} N_{к\,j} M_{к\,j} L_{я\,j} L_{к\,j} \psi_с \Delta t_{ср.лог.р\,j}/1000; \\ Q_{ф.р} &= \sum_{j=1}^{L_р} Q_{ф.р\,j}. \end{aligned}\right\} \quad (120)$$

25. Абсолютные значения погрешности расчета теплопроизводительности калориферов (Вт) j-го ряда, $j = 1$, $L_р$ и установки в расчетном режиме:

$$\Delta Q_{ф.р\,j} = \Delta\psi_{з\,j} K_{р\,tj} F_{t1} N_{к\,j} M_{к\,j} L_{я\,j} L_{к\,j} \psi_с \Delta t_{ср.лог.р\,j} + \\ + \psi_{з\,j} K_{р\,tj} F_{t1} N_{к\,j} M_{к\,j} L_{я\,j} L_{к\,j} \Delta t_{ср.лог.р\,j} \Delta\psi_с;$$

$$\Delta Q_{ф.р} = \sum_{j=1}^{L_р} \Delta Q_{ф.р\,j}. \quad (121)$$

26. Относительная погрешность определения фактической теплопроизводительности в расчетном режиме $\varepsilon_{Q_{ф.р}}$ по формуле (109).

27. Отношение фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме (%):

$$\psi_Q = \frac{Q_{ф.р}}{Q_р} 100. \quad (122)$$

28. Абсолютное значение погрешности вычисления отношения фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме (%):

$$\Delta\psi_Q = \frac{\Delta Q_{\text{ф.р}}}{Q_{\text{р}}} 100. \qquad (123)$$

29. Относительная погрешность (%):

$$\varepsilon_{\psi_Q} = \frac{\Delta\psi_Q}{\psi_Q} 100. \qquad (124)$$

Определение относительной управляемости теплопроизводительностью калориферной установки.

Тепловая нагрузка калориферных установок в течение отопительного периода изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, режимов работы других теплопотребляющих установок системы теплоснабжения, состояния средств герметизации надшахтного здания и ствола и других факторов. Для обеспечения высокого качества теплоснабжения и экономичных режимов работы источников тепловой энергии необходимо осуществлять регулирование теплопроизводительности.

В системах теплоснабжения шахт в основном применяют центральное качественное и местное количественное регулирование теплопроизводительности. Центральное регулирование осуществляется на источниках тепловой энергии, а местное — непосредственно на калориферных установках.

Метод центрального регулирования заключается в изменении теплопроизводительности установки путем изменения по соответствующей программе (графику) температуры воды на входе в калориферы. Его недостатком является то, что обычно применяемые температурные графики рассчитаны лишь на отопительную нагрузку и поэтому не обеспечивается требуемая точность поддержания теплопроизводительности на заданном уровне. Регулирование в калориферных установках осуществляется методами местного количественного регулирования соотношения нагретого и холодного воздуха, проходящего через смесительную камеру, или количества подмешиваемой воды (для установок со смесительными насосами).

В процессе наладки калориферных установок должна быть количественно оценена управляемость теплопроизводительностью установки по каналам управляющих воздействий, т. е. установлена степень изменения теплопроизводительности при изменении положения затворов дроссельных клапанов смесительной камеры (для установок с регулированием теплопроизводительности соотношением расходов нагретого и холодного воздуха) и затворов клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды (для установок со смесительными насосами). Полученные оценки могут быть использованы при проверке соответствия технологических возможностей регулирующих клапанов технологическим требованиям, предъяв-

ляемым к системе регулирования теплопроизводительности установки.

Исходными данными для определения относительной управляемости теплопроизводительностью калориферной установки должны служить результаты измерений параметров сетевой воды в режиме испытания клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды и дроссельных клапанов смесительной камеры.

Для определения относительной управляемости теплопроизводительностью установки вычисляют следующие величины.

1. Средние значения температуры воды во входном $t_{он.ср}$ и выходном $t_{ок.ср}$ сечении установки при полностью закрытом клапане, установленном на «горячей» стороне смесительной камеры, по формуле (57).

2. Среднее значение массового расхода греющего энергоносителя $G_{о.ср}$ по формуле (55).

3. Среднеинтегральное значение изобарной теплоемкости воды по формуле (91) и по формуле (84) нижнее значение теплопроизводительности $Q_{ф.м}$.

4. Верхнее значение теплопроизводительности установки $Q_{ф.б}$, соответствующее положению «Полностью открыто» затвора дроссельного клапана, который установлен на тракте движения горячего воздуха смесительной камеры. Вычисления повторить в объеме пунктов 1—3.

5. Относительная управляемость теплопроизводительностью (%):

$$\psi_{ув} = \frac{Q_{ф.б} - Q_{ф.м}}{Q_{ф.б}} 100, \qquad (125)$$

6. Абсолютное значение погрешности расчета управляемости теплопроизводительностью

$$\Delta\psi_{ув} = \left| -\frac{\Delta Q_{ф.м}}{Q_{ф.б}} + \frac{Q_{ф.м}\Delta Q_{ф.б}}{Q^2_{ф.б}} \right|, \qquad (126)$$

где $\Delta Q_{ф.б}$ и $\Delta Q_{ф.м}$ — абсолютные погрешности измерения фактической теплопроизводительности установки при полностью открытом и закрытом клапане смесительной камеры (кВт), вычисляемые по формуле (90).

7. Относительная погрешность измерения управляемости теплопроизводительностью (%):

$$\varepsilon_{\psi_у} = \frac{\Delta\psi_у}{\psi_у} 100. \qquad (127)$$

Для установок со смесительными насосами относительная управляемость теплопроизводительностью вычисляется отдельно для клапана сетевой $\psi_{у.с}$ и подмешиваемой $\psi_{у.п}$ воды по выше приведенным формулам.

3.4. РЕМОНТНО-НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

3.4.1. Организация работ

Ремонтно-наладочные работы должны проводиться в соответствии с утвержденным объединением графиком технического обслуживания на основании «Ведомости состояния тепломеханического оборудования», а также объема ремонтно-наладочных мероприятий, разработанных монтажно-наладочной организацией по результатам технической диагностики воздушного и теплогидравлического трактов КУ. Ремонтно-наладочные работы может выполнять как персонал специализированного монтажно-наладочного управления или треста, так и совместно персонал шахты и персонал монтажно-наладочного управления. Перечень работ, выполняемых персоналом монтажно-наладочного управления и персоналом шахты, утверждает в каждом конкретном случае главный механик объединения (комбината).

Специализированная наладочная бригада должна состоять из руководителя — опытного инженера, слесаря по ремонту оборудования шестого разряда, двух слесарей четвертого разряда, газоэлектросварщика пятого разряда, имеющего право ведения сварочных работ в надшахтных зданиях, и слесаря третьего разряда.

До начала работ в помещении КУ должны быть устроены леса, изготовленные силами шахты (если нет стационарных площадок для обслуживания оборудования, расположенного на высоте).

Огневые работы необходимо проводить в соответствии с инструкцией по ведению огневых работ на объектах народного хозяйства.

Для ведения ремонтно-наладочных работ бригада должна иметь комплект [18, 19] механизмов, инструментов и приспособлений (табл. 11).

3.4.2. Восстановление элементов оребрения калориферов

В процессе эксплуатации и особенно после монтажа наблюдаются случаи, когда оребрение трубок калориферов оказывается смятым. При этом уменьшается сечение для прохода воздуха и соответственно, снижается теплоотдача от теплоносителя. Поэтому оребрение калориферов подлежит обязательному восстановлению. Работа выполняется с помощью большой слесарной отвертки размером 250×14 мм или специально заточенного монтажного ломика (монтировки) и молотка. Пластины должны быть отогнуты таким образом, чтобы сохранилось цинковое покрытие и они были параллельны между собой, а также потоку воздуха, проходящего через калориферы. Состояние оребрения должно быть проверено и отремонтировано как со стороны подачи холодного воздуха, так и со стороны выхода воздуха из калориферов.

Таблица 11

Перечень средств, инструментов и материалов, необходимых для ведения монтажно-наладочных работ

Механизмы, инструменты и приспособления	Единицы измерения, число штук и комплектов	Тип или ГОСТ
Грузо-подъемные средства		
Лебедка рычажная ручная грузоподъемностью 1,5 т	1 шт.	РУЛ-1,5
Лебедка ручная грузоподъемностью 0,5 т	1 шт.	ЛР-0,5
Канат пеньковый диаметром 20 мм	50 м	ГОСТ 483—75
Строп универсальный диаметром 11,5 мм и длиной 2,5 м	2 шт.	—
Сварочное оборудование		
Сварочный трансформатор	1 аппарат	ТС-500 или ТД-500
Керосинорез	1 компл.	Н. д.
Инструмент и принадлежности		
Ключи рожковые двусторонние	2 компл.	ГОСТ 2839—80
Ключи торцовые	1 компл.	
Ключи накидные	1 компл.	—
Ключ газовый	2 шт.	№ 2
Ключ газовый	1 шт.	№ 4
Молотки слесарные массой 800 г	2 шт.	ГОСТ 2310—77
Зубила слесарные	4 шт.	ГОСТ 7211—72
Плоскогубцы комбинированные	2 шт.	ГОСТ 5547—75
Набор щупов	1 компл.	ГОСТ 882—75
Отвертка	2 шт.	ГОСТ 17199—71
Оправка удлиненная	2 шт.	СТД-931/2
Ножовка по металлу	2 шт.	ГОСТ 17270—71
Полотно ножовочное	10 шт.	—
Кувалда массой 3 кг	1 шт.	ГОСТ 11401—75
Ножницы ручные по металлу	1 шт.	СТД-48
Метр складной	1 шт.	—
Штангенциркуль 0—250 мм	1 шт.	ГОСТ 166—80
Ножи для очистки фланцев	2 шт.	—
Набор напильников разных профилей	2 компл.	ГОСТ 1465—80
Струбцины для сборки фланцев	4 шт.	—
Электросверло ИЭ-1014	1 шт.	ГОСТ 8524—80
Сверла стальные с цилиндрическим хвостовиком длиной 2—20 мм	2 компл.	ГОСТ 886—77
Коловорот с трещоткой	2 шт.	—
Ломик монтажный длиной 1 м	2 шт.	Нормаль Главсталь РР-32-55
Передвижной верстак с тисками и прижимами	1 шт.	—
Механизмы и приспособления		
Пресс гидравлический ручной или с электрическим приводом для опрессовки гидравлического тракта	1 шт.	СТД-17-51, ВМС-45М
Компрессор передвижной	1 шт.	ПКСД-5,25

Продолжение табл. 11

Механизмы, инструменты и приспособления	Единицы измерения, число штук и комплектов	Тип или ГОСТ
Приспособления для притирки запорной и регулирующей арматуры	2 компл.	—
Приспособления для центровки валов	1 компл.	—
Материалы		
Паронит ТП-1 толщиной 1—3 мм	100 кг	ГОСТ 481—80
Набивка сальниковая	20 кг	ГОСТ 5152—77
Фторопласт-4	15 кг	ГОСТ 10007—80
Шкурка наждачная на полотне, водостойкая	5 м²	—
Паста ГОИ (грубая, средняя)	1 кг	—
Дизельное топливо	50 л	—
Гильзы под термометры	4 шт.	—
Штуцеры под манометры	4 шт.	—
Болты с гайками М12, М16, М20	По 50 кг	ГОСТ 7798—70 ГОСТ 5915—70
Электроды сварочные МР-3 диаметром 4—5 мм	40 кг	ГОСТ 9466—75
Керосин	20 л	ГОСТ 19499—79
Смазка графитовая БВН-1	5 кг	ГОСТ 5656—60
Круг наждачный диаметром 300 мм	2 шт.	—
Шнур асбестовый	60 кг	—
Железо листовое толщиной 1—1,5 мм	0,5 кг	—
Рукав напорный для воды диаметром 20—25 мм	50 м	—
Микропорошок	5 кг	М4 — М28
Микропорошок	5 кг	М5 — М10
Шлифпорошок	10 кг	Зернистость 3—5

3.4.3. Восстановление уплотнений между калориферами и на соединениях воздушного тракта

Известно, что подсосы холодного воздуха через неплотности воздушного тракта приводят к снижению скорости воздуха в живом сечении калориферов, уменьшению температурного напора между греющей и нагреваемой средой и, как следствие, к уменьшению теплопроизводительности всей установки. При больших значениях подсосов и минимальных температурах наружного воздуха КУ может не обеспечивать расчетную температуру воздуха в стволе, хотя установленная тепловая мощность соответствует расчетному значению, а поэтому работа по уменьшению подсосов воздуха является одним из важнейших наладочных мероприятий и имеет большое практическое значение для нормального функционирования калориферной установки.

При установке калориферов в колонне вплотную один к одному (при монтаже многоходовых калориферов) или, если колонны устанавливаются вплотную между собой (для одноходовых кало-

риферов), целесообразно боковые щитки демонтировать, а секции смонтировать без зазоров так, чтобы оребрения соседних секций соприкасались. В этом случае дополнительного уплотнения между секциями не требуется. Если же из-за некачественного монтажа зазор между оребрениями соседних секций будет, то его необходимо устранить с помощью асбестового шнура.

Проемы, не заполненные теплоотдающими поверхностями, в которых размещаются подводящие трубопроводы и запорная арматура, должны быть закрыты листовым железом толщиной 1—1,5 мм, а мелкие щели — асбестовым шнуром. Необходимо также проверить уплотнение между рядами калориферов при их многорядном расположении. Проемы между рядами должны быть плотно закрыты листовым железом с антикоррозионным покрытием, и весь воздух, прошедший через первый ряд калориферов, должен поступать на второй ряд. Эффективность проведенной работы проверяется при повторной технической диагностике калориферной установки.

3.4.4. Проверка работоспособности и ремонт средств герметизации устья ствола и надшахтного здания

Герметичность устья ствола и надшахтного здания является одним из важнейших условий для эффективной работы безвентиляторной калориферной установки, так как при нарушении герметизации значительно сокращается расход воздуха через калорифер.

При герметизации надшахтного здания с помощью шлюзовых камер шлюзовые двери должны быть выполнены без перекосов и плотно прилегать по всему периметру дверного проема. Щели между дверью и дверным проемом необходимо дополнительно уплотнить эластичным материалом, например, отработавшими свой ресурс резиновыми лентами от ленточных конвейеров. Герметичность устья ствола обеспечивается специальными герметичными дверями, приводимыми в действие клетью или исполнительным механизмом.

При проверке работоспособности средств герметизации устья ствола (внешним осмотром дверей) обнаруживают неплотности, прогибы, выпуклости, отсутствие уплотняющего материала по всему периметру двери. Замеченные дефекты должны быть устранены. Проверяется четкость работы приводных механизмов дверей, состояние крепления дверей и вспомогательного оборудования, отсутствие вибрации при работе исполнительного механизма, наличие смазки в местах трения, а также плотность притвора дверей в положении «Закрыто». При повышенной вибрации (если герметизирующая дверь перемещается от отдельного привода) необходимо проверить центровку механизма и состояние подшипников. Выявленные неисправности устранить.

При ремонте жалюзийных решеток приточных проемов необходимо внешним осмотром выявить их состояние: угол наклона,

перегибы, наличие всех элементов решетки, отсутствие посторонних предметов, уменьшающих живое сечение. Замеченные дефекты устранить. Угол наклона неподвижных решеток должен быть таким, чтобы струя воздуха направлялась вниз, к центру воздуховода.

3.4.5. Проверка работоспособности и ремонт дроссельных клапанов смесительной камеры, клапана воздуховода копра и противопожарных ляд

При выполнении этой работы проверяют состояние поворотных затворов, наличие герметизирующих уплотнений, состояние приводных механизмов, ход затворов. На всем диапазоне перемещения ход затворов должен быть плавным, без заеданий. В положении «Закрыто» клапаны должны иметь плотный притвор по всему периметру соприкасающихся поверхностей. Трущиеся поверхности должны быть смазаны.

Поверхность ляд не должна иметь отверстий, перекосов и перегибов. Крепление канатов на барабане лебедки и в проушинах ляд должно быть надежным. Длина каната должна соответствовать величине хода ляды. К ляде канат прикрепляется не менее чем тремя жимками. На барабане лебедки должно быть не менее 2,5 витков трения. Канаты должны быть смазанными, а пришедшие в негодность заменены, направляющие ролики свободно вращаться. Приводная лебедка должна быть надежно закреплена. На приводных механизмах необходимо проверить надежность крепления электродвигателя и редуктора, качество центровки валов электродвигателя и редуктора, наличие смазки в редукторе и подшипниках.

Редуктор лебедки вскрывают и проверяют состояние зубчатых и червячных колес, их износ, а также состояние поверхности. Допускается не более 10 % износа зубьев по толщине. Необходимо проверить надежность посадки шестерен на валах и состояние подшипников, подшипники промыть и зарядить консистентной смазкой типа 1-13 или ЦИАТИМ. В редуктор должно быть залито масло АК-15 до уровня контрольной пробки. Подшипники отводных и направляющих блоков для канатов должны быть смазаны консистентной смазкой. Центровку валов выполняют с помощью специальных приспособлений [18].

Схема центровки с использованием щупов и центровочных скоб показана на рис. 20. Измерение несоосности валов можно произвести также, пользуясь щупами и линейкой, но этот способ дает меньшую точность.

Соосность валов проверяют после окончания работ по ремонту подшипников, соединительной муфты электродвигателя и редуктора.

Для центровки валы следует разъединить, очистить полумуфты и убедиться в чистоте поверхностей и отсутствии дефектов центровочных поясков. Затем установить центровочное приспособле-

ние и замерить радиальное смещение в плоскости, наиболее близкой к разъему муфты. Замеры произвести в четырех положениях, поворачивая совместно валы на 90° перед каждым измерением. При этом зазоры следует снимать в одной и той же точке полумуфты, отмеченной при первом измерении. Измерения щупами во всех положениях валов должно производить одно и то же лицо, чтобы не внести дополнительной ошибки.

Аналогично необходимо замерить в тех же четырех положениях зазор между полумуфтами и данные замеров внести в формуляр.

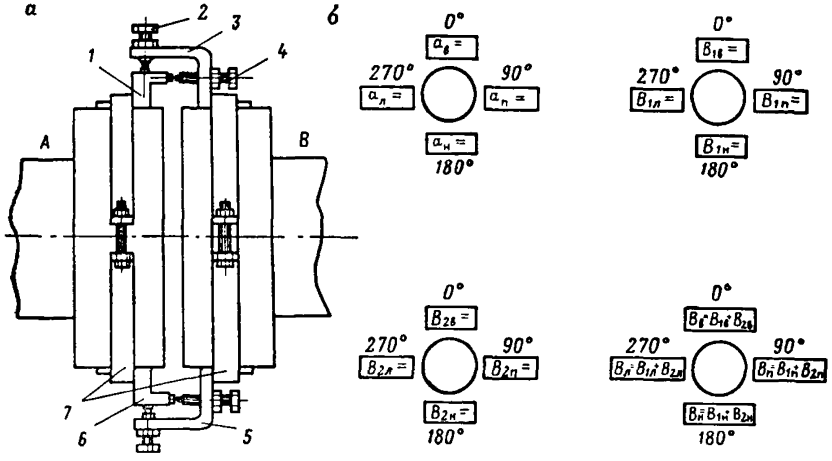

Рис. 20. Установка центровочных скоб (*а*) и круговая диаграмма для записи результатов центровки (*б*):

1, 3, 5, 6 — скобы; *2, 4* — центрирующие болты; *7* — хомуты

Правильность измерений проверяют по следующим равенствам, которые должны соблюдаться:

$$a_в + a_н = a_п + a_л;\ b_в + b_н = b_п + b_л,$$

где a, b — соответственно радиальное и угловое смещения валов в четырех положениях (верх, низ, влево, вправо).

Величину радиального смещения одного вала по отношению к другому в горизонтальной и вертикальной плоскостях можно определить по соответствующим формулам:

$$\Delta h_г = \frac{a_п - a_л}{2};\quad \Delta h_в = \frac{a_в - a_н}{2}.$$

Тангенс угла перекоса валов в горизонтальной и вертикальной плоскостях подсчитывается по формулам соответственно

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{b_п - b_л}{2D},\quad \operatorname{tg}\beta = \frac{b_в - b_н}{2D},$$

где D — диаметр полумуфты, м.

Суммарные величины перемещений подсчитываются по формулам: для первой опоры (считая от муфты) в горизонтальной и вертикальной плоскости

$$x_1 = \Delta h_г + l_1 \operatorname{tg} \alpha;\ y_1 = \Delta h_в + l_1 \operatorname{tg} \beta;$$

для второй опоры соответственно

$$x_2 = \Delta h_г + l_2 \operatorname{tg} \alpha;\ y_2 = \Delta h_в + l_2 \operatorname{tg} \beta,$$

где l_1 и l_2 — расстояние между плоскостью разъема муфты и плоскостями, проходящими через середины первой и второй опор.

После центровки необходимо вновь произвести все замеры и оценить качество соосности. Качество центровки считается удовлетворительным, если в любом из положений полумуфт радиальная расцентровка составляет не более $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м, а осевая — не более $0{,}12 \cdot 10^{-3}$ м.

3.4.6. Выравнивание нагрузки калориферов воздухом

Для выполнения этой работы необходимо произвести расчет сечений направляющих заслонок, установку и регулировку углов их наклона. При вертикальной компоновке калориферов наблюдается большая неравномерность их нагрузки воздухом, что объясняется явлением самотяги — стремлением потока газа опускаться вниз или подниматься вверх в зависимости от того, в какой среде (более легкой или более тяжелой) находится данный поток. Явление самотяги обусловливает гравитационный противонапор, приводящий к перегрузке нижних секций блоков калориферов и недогрузке верхних. Гравитационный противонапор тем больше, чем больше разность геодезических отметок центров потока воздуха на входе в калориферную установку и выходе его в смесительную камеру, а также чем больше разность плотностей воздуха на входе в установку и выходе из калориферов.

Для устранения отрицательных последствий явления самотяги возможны следующие конструктивно-технологические мероприятия. Если позволяет конструкция здания калориферной установки, необходимо верх приточного проема для холодного воздуха выполнить на уровне средних секций калориферов (но не ниже 2 м от поверхности земли), а жалюзийный клапан смесительной камеры расположить на высоте 3—4 м от отметки низа калориферов. В этом случае естественное движение холодного и нагретого воздуха (по восходящей линии) способствует более равномерному распределению воздуха по сечению воздушного тракта калориферной установки. При этом нужно следить, чтобы приточный проем был выполнен по всей длине теплоотдающей поверхности калориферов. Установка направляющих заслонок и их регулировка — менее трудоемкий процесс выравнивания нагрузки калориферов воздухом. Сечение заслонки определяется длиной ряда калориферов или блока калориферов и шириной проема для подачи холодного воздуха. Направляющие заслонки должны быть установлены по всей длине ряда (блока) калориферов, на кото-

рых степень неравномерности распределения воздуха превышает допустимую, и перекрывать не менее 90% площади проема для холодного воздуха. Заслонку крепят на стене здания (примерно на середине высоты колонны калориферов), на валу одной стороной, чтобы она могла перемещаться вокруг оси на угол 90° и надежно фиксироваться в промежуточных положениях. Заслонку изготовляют из листового металла с антикоррозионным покрытием достаточно жесткой, чтобы она могла противостоять давлению воздуха. При больших размерах заслонки и ручном приводе для облегчения управления ее можно выполнить из нескольких секций, каждую с отдельным приводом. Схема установки направляющей заслонки с приводом от самотормозящей червячной лебедки показана на рис. 21.

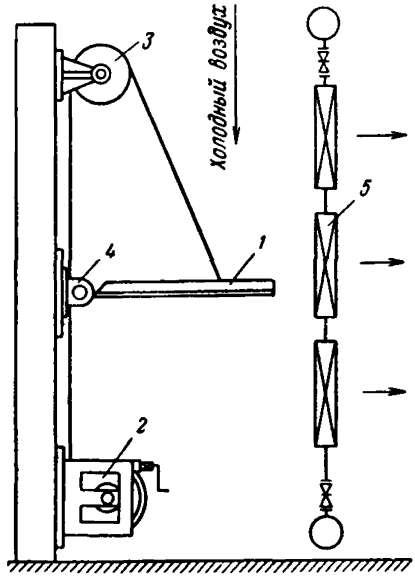

Рис. 21. Схема установки направляющей заслонки с приводом от самотормозящей червячной лебедки:

1 — направляющая заслонка; *2* — самотормозящая червячная лебедка; *3* — шкив; *4* — подшипник скольжения; *5* — калорифер

Регулировать угол наклона заслонки необходимо в зимний период. Оптимальный угол наклона устанавливают экспериментальным путем. Регулировку угла наклона необходимо начинать при положении заслонки, открытой на 45°. В этом положении измеряют расход воздуха через каждую калориферную секцию и определяют коэффициент неравномерности распределения воздуха по методике, описанной в разд. 3.2. Затем заслонку перемещают вверх на 20° от начального положения и повторяют испытания. Третье испытание проводят при положении заслонки 20° вниз от начального положения (45°). Полученные три значения коэффициента неравномерности нагрузки сравнивают между собой. Выбирают то положение заслонки, при котором коэффициент неравномерности нагрузки калориферов наименьший. Это положение принимают за исходное и испытания повторяют с интервалом в 10°. Таким образом, методом последовательного приближения определяют требуемое положение направляющей заслонки, при котором коэффициент неравномерности нагрузки калориферов воздухом не должен превышать 15 % ($\psi_н \leqslant 15$ %).

3.4.7. Проверка работоспособности и ремонт исполнительных механизмов регулирующих клапанов смесительной камеры

Проверку и ремонт исполнительных механизмов регулирующих клапанов совмещают с ремонтом самих клапанов. Исполнительный механизм регулирующих клапанов смесительной камеры типа

МЭО представляет собой электрический двигатель с редуктором, поэтому работы по его техническому обслуживанию сводятся к выполнению операций, описанных в 3.4.5.

3.4.8. Расчет и изменение сечений отдельных участков воздушного тракта

Эта работа производится в случае, если при проведении технической диагностики выяснилось, что аэродинамическое сопротивление воздушного тракта и скорость воздуха в отдельных его сечениях выше допустимых. При расчете сечений для прохода воздуха нужно исходить из максимально допустимой скорости воздуха V_{max}, которая принимается 8—10 м/с[5], тогда площадь сечения проемов (м^2) для прохода воздуха

$$S_{пр} = \frac{G_в}{\rho_в V_{max}},$$

где $G_в$ — массовый расход воздуха через проем, кг/с; $\rho_в$ — плотность воздуха при расчетной температуре, кг/м^3.

Экспериментально установлено, что наибольшие потери давления, как правило, наблюдаются в вентиляционном канале. Для расчета нового сечения вентиляционного канала по результатам технической диагностики воздушного тракта определяется допустимая потеря давления $\Delta P_{доп.в}$ (Па) на вентиляционном канале

$$\Delta P_{доп.в} = \Delta P_{допΣ} - \Delta P_{ж.р} - \Delta P_{с.к} - \Delta P_к,$$

где $\Delta P_{допΣ}$ — суммарная допустимая потеря давления (Па) на воздушном тракте калориферной установки, определяемая по формуле

$$\Delta P_{допΣ} = \frac{N_{доп}\eta_в}{D_{в.к}}$$

($N_{доп} = 0{,}1N_в$, кВт, вычисляется по результатам испытаний; $\eta_в$ — к. п. д. вентилятора главного проветривания; $D_{в.к}$ — объемный расход воздуха в вентиляционном канале, м^3/с); $\Delta P_{ж.р}$, $\Delta P_{с.к}$, $\Delta P_к$ — измеренные потери давления (Па) соответственно на жалюзийных решетках, на клапанах смесительной камеры и на калориферах.

Допустимое сопротивление вентиляционного канала [Па/ (м^3/с^2)]

$$R_{доп.в} = \frac{\Delta P_{доп.в}}{D^2_{в.к}}.$$

Тогда новое сечение вентиляционного канала (м^2) можно вычислить по формуле [6]:

$$S_{в.к} = \left(\frac{4\alpha l}{R_{доп.в}}\right)^{0,4},$$

где α — коэффициент сопротивления трению, при креплении вентиляционного канала бетоном $\alpha = 3 \div 5 \cdot 10^{-5}$ Па·с^2/м^2; l — длина канала, м.

Следует отметить, что для снижения потери давления не обязательно увеличивать сечение каналов, можно уменьшать коэффициент сопротивления трения α. Так, если тщательно оштукатурить стены канала, то коэффициент α можно уменьшить в 2 раза [21].

Строительные работы по увеличению сечения отдельных элементов воздушного тракта должны выполняться силами шахт или специализированными строительными организациями.

3.4.9. Продувка калориферов сжатым воздухом или промывка наружных поверхностей гидропневматическим способом

Продувку или промывку выполняют в целях улучшения теплопередачи и повышения тепловой производительности калориферной установки. Поверхность нагрева калориферов очищают сжатым воздухом под давлением не выше 0,4—0,6 МПа. Для этого используются либо сеть сжатого воздуха шахты, либо передвижной компрессор типов ВКС-6, ДК-9, ПКСД-5,25 производительностью 0,08—0,17 м³/с и резиновый шланг диаметром 20—25 мм с коническим насадком. Диаметр конического насадка должен выбираться из расчета, чтобы скорость истечения воздуха была равна 300—400 м/с. Диаметр выходного сечения сопла должен быть в пределах 10—15 мм. Если поверхность калориферов покрыта плотно слежавшимися пыльными отложениями с примесью масла, то применяют гидропневматический способ очистки с помощью тройника с насадком, присоединяемого гибкими шлангами к водяной и воздушной сетям. Давление воздуха рекомендуется поддерживать в пределах 0,4—0,6 МПа, а давление воды — 0,1 МПа [22].

При очистке калориферов сначала медленно открывают водяной вентиль, а затем вентиль сжатого воздуха. Время очистки каждого калорифера 8—10 мин.

3.4.10. Проверка работоспособности и ремонт запорной, регулирующей и предохранительной арматуры

Станки и механизмы, применяемые при ремонте, описаны в справочнике по ремонту котлов и вспомогательного котельного оборудования [23].

Ремонт арматуры проводят двумя способами: без снятия с места установки и со снятием из трубопровода. При первом способе корпус арматуры не снимают и все ремонтные работы проводят непосредственно на объекте. Основой для организации ремонта по второму способу является создание обменного фонда арматуры и ремонт установки сводится лишь к замене дефектного оборудования, так как неисправная арматура ремонтируется централизованно в специализированных мастерских. Организация работ по второму способу сокращает сроки выполнения ремонта, повышает производительность труда и качество выполняемых работ. Основными операциями при ремонте арматуры являются: разборка, очи-

стка и промывка всех ее частей, осмотр, дефектация, восстановление уплотнительной поверхности корпуса (притирка), восстановление уплотнительной поверхности щечек или клапана, набивка сальникового уплотнения, сборка деталей с заменой негодных новыми.

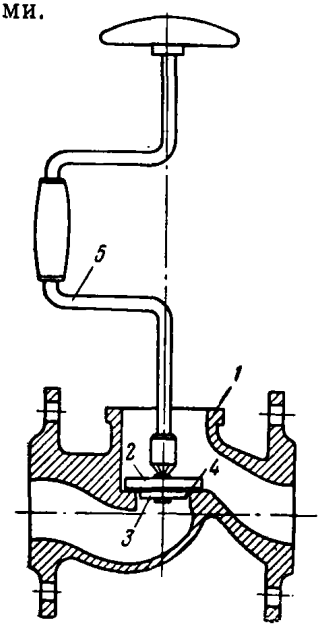

Рис. 23. Приспособление для шлифовки вентилей Ду 50 мм:
1 — привод; *2* — корпус; *3* — шпиндель; *4* — абразивный круг; *5* — губки; *6* — втулка конусная; *7* — гайка

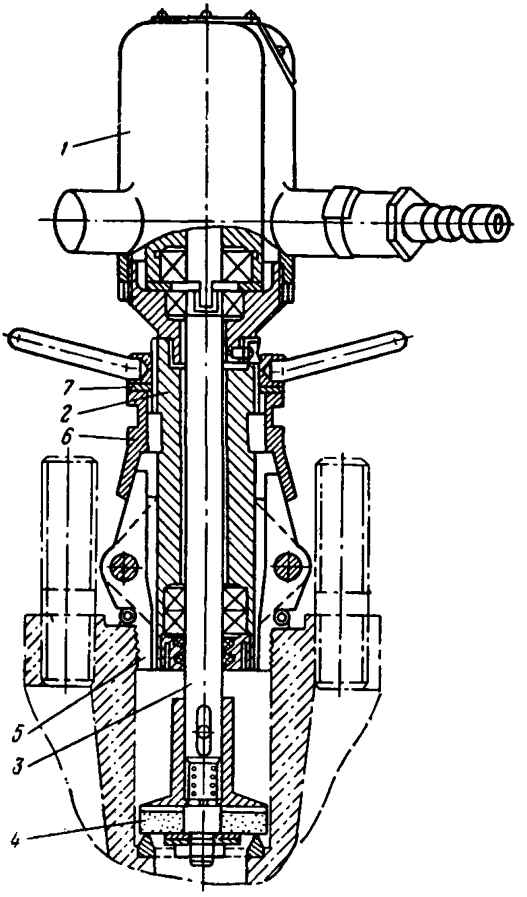

Рис. 22. Притирка запорной арматуры с помощью ручного приспособления:
1 — корпус вентиля; *2* — большой диск притира; *3* — малый диск притира; *4* — полотно наждачное; *5* — коловорот

Резьбовые соединения арматуры должны соответствовать требованиям ГОСТ, не иметь задиров и повреждений. Высокая степень чистоты обработки уплотнительных поверхностей арматуры достигается притиркой, при которой снимается слой металла толщиной $(0{,}002—0{,}03)\cdot10^{-3}$ м. При притирке важное значение имеет правильный выбор абразивного материала. Применяемые абразивные порошки и пасты можно разделить на три группы по размерам зерна: шлифпорошки зернистостью от 600 до 40 мкм для грубой доводки поверхности, микропорошки от М28 до М14 для предварительной доводки и микропорошки от М10 до М5 для окончательной доводки, позволяющей получить значение шероховатости до 0,025 мкм. При отсутствии микропорошков для доводки можно применять пасту ГОИ. В основном должны применяться

порошки на основе электрокорунда, корунда, карбида кремния и карбида бора. Если при работе применяют наждачные круги или наждачное полотно, надо следить, чтобы они имели соответствующую зернистость. Притирку уплотнительных поверхностей можно производить вручную с помощью коловорота и набора притиров, представляющих собой диски разных диаметров (рис. 22). Однако ручная притирка малопроизводительна и поэтому должны применяться механические приспособления на основе электри-

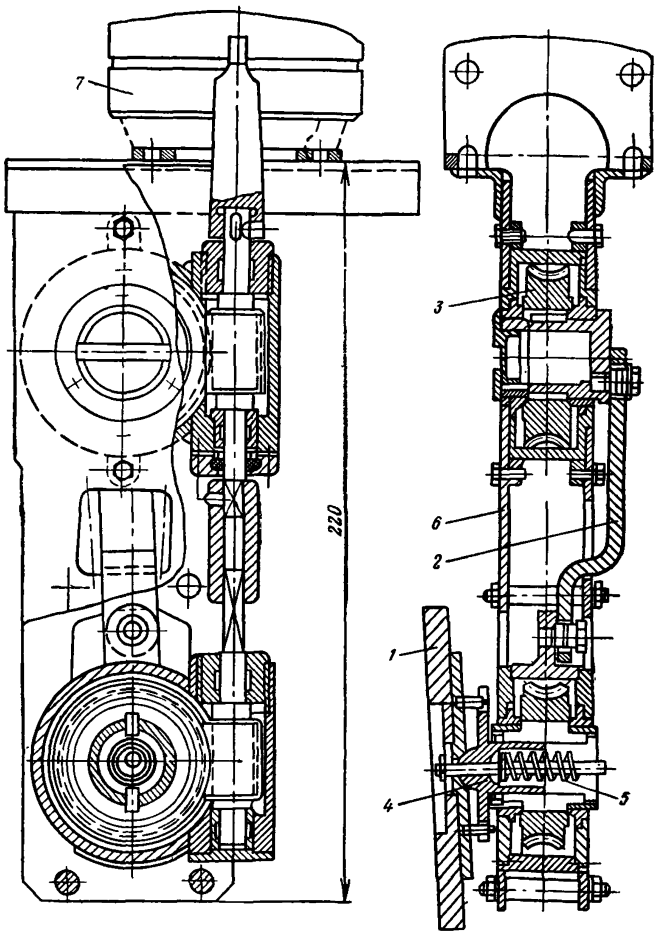

Рис. 24. Приспособление для притирки седел задвижек Ду 100—250 мм:
1 — притир; *2* — поводок; *3* — червячная передача; *4* — стакан; *5* — пружина; *6* — рама; *7* — привод

ческого или пневматического ручного инструмента. Такие приспособления разработаны и выпускаются на предприятиях Каунасэнергоремонт, Белэнергоремналадка и др. На рис. 23 показано приспособление для шлифовки седел вентилей Ду до 50 мм; на рис. 24 — для притирки седел задвижек Ду 100—250 мм, а на рис. 25 — для шлифовки седел регулирующих и дроссельных клапанов Ду 100 мм. Скорость при предварительной доводке должна составлять 15—20 м/с, а при окончательной — 4 м/с. Скорость возвратно-поступательного движения деталей должна составлять 0,2—0,4 частоты вращения притира. Припуск на окончательной доводке поверхности должен быть 3—5 мкм.

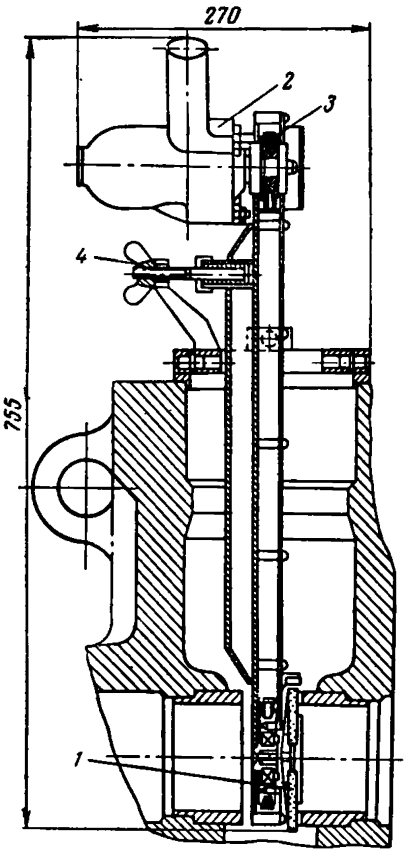

Рис. 25. Приспособление для шлифовки седел регулирующих и дроссельных клапанов Ду 100 мм:
1 — шлифовальный круг; *2* — пневмопривод; *3* — клиноременная передача; *4* — гайка

Надежная работа арматуры зависит от состояния сальникового уплотнения. Утечки теплоносителя через сальниковые уплотнения могут быть вызваны неудовлетворительным состоянием шпинделя задвижки и сальниковой камеры, неправильной укладкой набивки в полости сальниковой камеры и неправильным выбором материала набивки. Если при осмотре штока выявилось, что на нем имеются глубокие (более 0,5 мм) раковины от коррозии, то их необходимо ликвидировать наплавкой с последующей обработкой. Для воды с температурой выше 100 °С в качестве набивки следует применять асбестовый шнур, пропитанный антифрикционной массой, и чешуйчатый графит из прографиченного асбеста. Набивку сальников производят следующим образом. Снимают сальниковую крышку и удаляют старую набивку специальным крючком, изготовленным из стальной проволоки диаметром 3—4 мм. Затем алюминиевым или медным крючком удаляют остатки набивки со стенок камеры, шпинделя или вала. Диаметр шнура сальниковой набивки должен соответствовать зазору между шпинделем и стенкой сальниковой камеры. Если такого шнура нет, то плетут «косичку» соответствующего диаметра. Затем сальниковую набивку разрезают на куски кольцами, причем стыки должны быть смещены друг относительно друга на 90 °. Заполнение сальниковой камеры считается законченным, если грунд-

букса входит в сальниковую камеру на глубину 3—5 мм, а резьба шарнирных болтов при этом выходит из гаек на одну-две нитки. При затяжке гаек нужно следить за тем, чтобы не было перекоса грундбуксы и свободно проворачивался шпиндель или вал. При набивке сальников кранов шнур не разделяют на куски, а оборачивают несколько раз вокруг шпинделя. Перед сборкой арматуры должна быть подготовлена прокладка под крышку из паронита. Для этого прокладку, а также резьбу шпинделя и вкладыш втулки смазывают графитовой смазкой. После сборки запорно-регулирующую арматуру испытывают на плотность затвора и на прочность корпуса давлением, равным $1{,}25P_н$. Продолжительность испытания арматуры 180—300 с. Для регулирующих клапанов, кроме того, должно быть проведено испытание по определению пропуска среды в закрытом состоянии.

3.4.11. Проверка работоспособности и ремонт привода электрифицированных задвижек и исполнительных механизмов регулирующих клапанов

При ремонте приводов электрифицированных задвижек необходимо обращать особое внимание на состояние червяка и червячного колеса, надежность шпоночных соединений шестерен с валами, состояние подшипников, наличие смазки в подшипниках и редукторе. После осмотра и ремонта привод электрифицированных задвижек и исполнительных механизмов регулирующих клапанов испытывают при работе вхолостую и под нагрузкой. После проверки правильности сборки проверяют плавность хода механизмов на ручном управлении, затем в течение 300 с проверяют работу привода вхолостую и окончательно под нагрузкой (по пять раз в каждую сторону).

Для автоматического и дистанционного управления регулирующими клапанами используют чаще всего однооборотные электрические исполнительные механизмы. Для рычажных клапанов с приводом от исполнительного механизма необходимо проверить его сочленение с клапаном (рис. 26) и при необходимости спрямить расходную характеристику клапана, если она существенно нелинейна [23].

Полный угол поворота кривошипа принимаем равным 90°, тогда длина рычага (м) клапана определится из выражения

$$R = A\frac{mr}{x},$$

где A — коэффициент, зависящий от расходной характеристики клапана; m — расстояние между осью вращения рычага клапана и пальцем, крепящим шток и рычаг, м; r — длина кривошипа исполнительного механизма, м; x — рабочий ход клапана, м.

Если характеристика близка к линейной, то $A=1{,}4$, если же клапан имеет криволинейную характеристику, то $A=1{,}2$. При наличии клапана с линейной расходной характеристикой рычаг

устанавливают в положение, при котором клапан открыт наполовину. При этом рычаг должен быть перпендикулярен штоку, т. е. располагаться горизонтально. Далее исполнительный механизм устанавливают так, чтобы окружность радиуса R, описываемая концом кривошипа, касалась перпендикуляра к рычагу, восстановленного из его конца в положение «открыт наполовину» (рис. 26, *а*). Кривошип должен быть установлен параллельно рычагу клапана. Длина тяги должна быть $(3 \div 5)r$. Для регулирующих клапанов с криволинейной расходной характеристикой, требующих

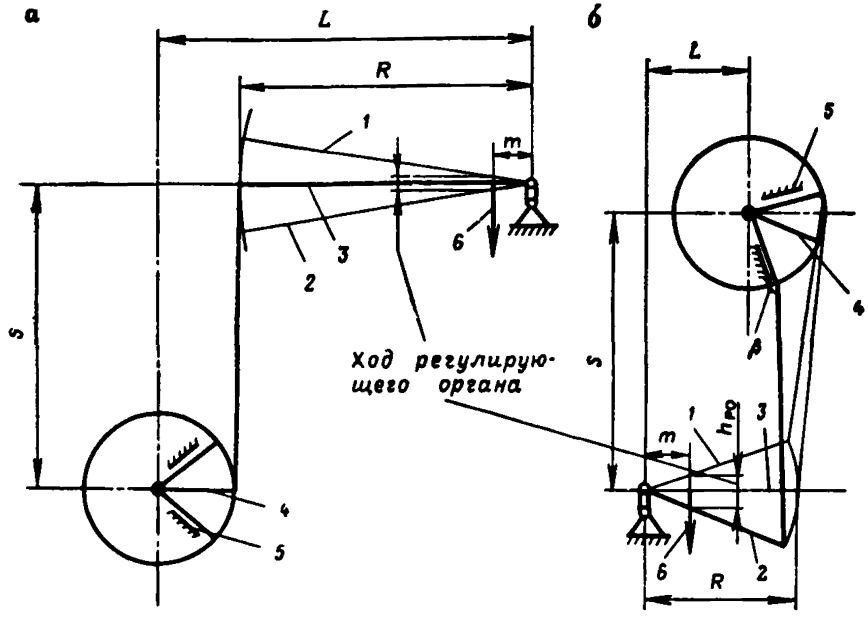

Рис. 26. Кинематическая схема сочленения исполнительного механизма с клапанами:

а — без спрямления расходной характеристики; *б* — со спрямлением расходной характеристики; *1* — положение «Открыто»; *2* — положение «Закрыто»; *3* — среднее положение рычага; *4* — кривошип исполнительного механизма; *5* — механические упоры; *6* — шток

спрямления, исполнительный механизм должен быть установлен так, чтобы расстояние по горизонтали между осями вращения рычага и кривошипа $L=R+0{,}06$ (обратное сочленение) или $L=R-0{,}06$ (прямое сочленение). При этом расстояние по вертикали между осями должно быть $(3 \div 5)r$. Затем рычаг клапана устанавливают в положение «Закрыто», а кривошипы ставят так, чтобы угол между ним и тягой составлял 160—170°. В этом положении кривошип и рычаг должны быть соединены тягой.

Исполнительный механизм должен быть смонтирован при горизонтальном положении вала. Допускается отклонение от горизонтальной оси до 15° в любую сторону. При установке механизма с наклоном более ±2° масло в редукторе должно быть залито до уровня, обеспечивающего погружение в него разбрызгивающей крыльчатки на 8—10 мм. После ремонта производят обкатку

редуктора в течение 15 мин, а затем настраивают индукционные датчики в диапазоне 0—90° и поворотом выходного вала устанавливают регулирующий орган в среднее положение. Продольный кулачок поворачивают относительно выходного вала так, чтобы риска 45° коснулась ролика толкателей датчиков.

Микровыключатели настраивают путем установки их кулачков в соответствующее положение. После регулировки микровыключателей настраивают упоры кривошипа механизма. Тормозное устройство необходимо проверять после 6 мес работы механизма. При увеличении зазора между тормозным диском и якорем электромагнита свыше 0,3—0,4 мм его нужно отрегулировать.

По окончании всех ремонтных работ запорно-регулирующая арматура должна быть окрашена сначала одним слоем алюминиевой термостойкой эмали КО-83 по МРТУ-6-10-622 — 66, а затем отличительной краской в соответствии с ГОСТ 9.032 — 74 и ГОСТ 4666 — 75.

3.4.12. Проверка работоспособности и ремонт подмешивающих насосов

Работу по проверке начинают с внешнего осмотра, при котором выявляют общее состояние оборудования, надежность крепления насоса и электродвигателя к раме, состояние корпуса насоса и электродвигателя.

Ремонт насоса, который производят по технологии [24], заключается в основном в устранении дефектов подшипников и уплотнений и ревизии ротора. Вначале снимают защитный кожух полумуфт, рассоединяют полумуфты и проверяют центровку. Величина радиальной расцентровки должна быть не более 0,5 мм, а перекос осей не более 0,12 мм на 1 м длины. Осевой разбег ротора не должен превышать 0,3 мм. Порядок центровки валов описан ранее.

В зависимости от конструктивных особенностей насоса ремонты ротора и подшипников могут несколько отличаться друг от друга. При ремонте насоса с двухсторонним рабочим колесом сначала снимают буксы и крышки сальников и вынимают набивку, а затем снимают крышку с корпуса насоса, крышки подшипников скольжения, вкладыш и проверяют радиальные и осевые зазоры в лабиринтных уплотнениях и в опорных подшипниках.

На рис. 27, *а* показаны места измерения зазоров. Диаметральный зазор в опорном подшипнике должен быть в пределах от 0,09 до 0,14 мм, а боковой — от 0,06 до 0,09 мм. Регулировку зазоров производят с помощью прокладок. У подшипников скольжения следует контролировать состояние баббитовой поверхности. Суммарная площадь дефектов на рабочей поверхности вкладыша не должна превышать 15 % общей площади заливки. При нормальном прилегании вкладышей к шейкам вала на площади квадрата 100××100 мм должно быть не менее 15 пятен краски, иначе вкладыши нужно пришабрить. При нормальном прилегании упорного подшипника на площади квадрата 25×25 мм должно быть не менее

8 пятен краски. Лабиринтные уплотнения не должны иметь повреждений. Радиальные зазоры в уплотнениях должны составлять 0,09—0,18 мм, а осевые — от 0,8 до 1,0 мм. Такие зазоры можно достичь изменением положения обоймы на роторе, проточкой обоймы или ее заменой. Радиальные зазоры уплотнения рабочего колеса должны находиться в пределах 0,3—0,6 мм.

Ротор в сборе должен быть проверен на биение, величина которого в различных участках ротора допускается от 0,01 до 0,05 мм. При овальности или конусности шеек более 0,015 мм их следует прошлифовать до ремонтного диаметра, при этом чистота шеек должна быть ▽9.

При сборке насоса сначала собирают узел ротора. На вал насаживают рабочее колесо с натягом 0,01 мм и закрепляют поджимающими гайками. Затем устанавливают втулки сальниковых

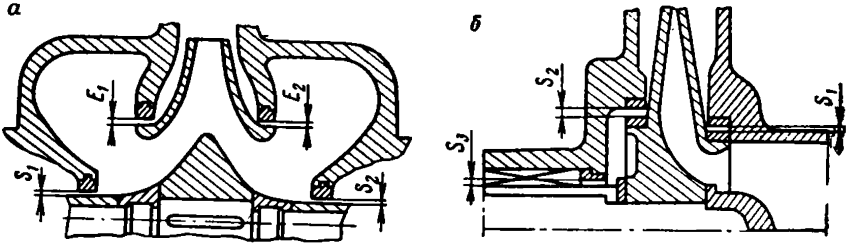

Рис. 27. Схема точек измерения зазоров в проточной части насоса с двусторонним колесом (*а*) и насоса консольного типа (*б*)

уплотнений и также фиксируют гайками. Далее устанавливают дроссельные втулки, крышки и буксы сальников. На ротор надевают полумуфту и упорный диск, а затем проверяют бой упорного диска и осевой разбег ротора (0,2—0,3 мм). Собирают нижнюю часть упорных подшипников, укладывают ротор в подшипники и проверяют фактические боковые зазоры. В нижнюю и верхнюю половины корпуса насоса заводят уплотняющие кольца и закрепляют их винтами, после чего проверяют радиальные зазоры в уплотнениях по колесу. Затем закрывают верхнюю крышку насоса и набивают сальники.

При ремонте насосов консольного типа сначала отсоединяют всасывающий и нагнетательный трубопроводы и электродвигатель. После снятия всасывающего патрубка можно освободить рабочее колесо и снять с его обода уплотняющее колесо (рис. 27, *б*). Отсоединив крышку механического уплотнения, можно освободить буксу и снять втулку с ротора насоса. Далее снимают крышки шарикоподшипников и вынимают ротор вместе с подшипниками. С помощью съемника снимают полумуфту, маслоотбойный щиток и шарикоподшипник. Из корпуса вынимают крышку уплотнения, буксу, дроссельную втулку и набивку. Ротор насоса проверяют в местах посадки полумуфты, подшипников, втулки и рабочего колеса. Выработка шеек ротора по овальности и конусности не должна превышать 0,015 мм, а величина боя ротора — 0,05 мм.

Рабочее колесо осматривают и при необходимости производят зачистку и шлифовку дефектов поверхностей. Зазор в шарикоподшипниках между внешней обоймой и шариками должен быть в пределах 0,015—0,03 мм, в противном случае их нужно заменить. Диаметр расточки под подшипник не должен увеличиваться в результате износа более чем на 0,035—0,04 мм. Детали уплотнения осматривают, зачищают поверхности и заменяют сальниковую набивку. Зазор между дроссельной втулкой и втулкой вала должен быть в пределах 0,55—0,7 мм. Уплотнение по рабочему колесу осуществляют кольцами при зазоре между ними 0,45—0,65 мм. Сборку консольного насоса проводят в порядке, обратном разборке, при этом подшипники должны быть заряжены консистентной смазкой. После сборки насоса необходимо произвести центровку насоса, как описано ранее.

3.4.13. Проверка работоспособности и ремонт отборных устройств для датчиков температуры, давления и расхода воды на гидравлическом тракте

Работу начинают с внешнего осмотра отборных устройств, затем производят ремонт запорной арматуры на импульсных линиях и дефектовку сужающих устройств. Гильзы для термометров должны быть установлены таким образом, чтобы их концы были утоплены в трубопровод на величину радиуса трубопровода плюс 10—15 мм. Для уменьшения погрешности показаний термометров в гильзу должно быть залито масло типа АК или трансформаторное. Манометры следует подключать к трубопроводу через трехходовые краны, которые при необходимости надо притирать и смазывать графитной смазкой.

При ремонте сужающего устройства его демонтируют и очищают от грязи и наростов кольцевые камеры и диафрагму. Прочищают сверления в камерах и каналы, проверяют фактический внутренний диаметр измерительной диафрагмы и сверяют с расчетным. Если на рабочей поверхности диафрагмы имеются раковины или выбоины, то необходимо изготовить новую диафрагму из нержавеющей стали типа Х18Н9Т или другой подобного типа. Особое внимание нужно обратить на работоспособность запорной и продувочной арматуры на импульсных линиях, так как в процессе работы установки их зачастую невозможно отремонтировать без отключения всей КУ. Арматура должна быть очищена от грязи и отложений, запирающие поверхности притерты и заменена сальниковая набивка. Импульсные линии должны быть очищены от внутренних отложений и проверены на герметичность.

3.4.14. Проверка работоспособности датчика температуры воздуха в стволе

При выполнении работы проверяют надежность крепления датчика и очищают его поверхность от грязи и других отложений, которые могут вносить погрешность в измерения. В обводненных стволах принимают меры против непосредственного попадания влаги на корпус. Проверяют состояние контрольного кабеля между датчиком и вторичным прибором. Он не должен иметь видимых повреждений и вмятин, должен быть надежно закреплен на конструкциях. Пригодность кабеля подтверждают измерением сопротивления его изоляции и целостности жил совместно с датчиком. После выполнения ремонтных работ проверяют правильность показаний прибора по контрольному термометру и при необходимости производят наладку вторичного прибора или заменяют датчик.

3.4.15. Расчет оптимальной компоновки калориферов

В процессе проведения наладочных работ часто возникает необходимость в расчете компоновки калориферов, т. е. в определении нового способа их соединения. Такая работа становится необходимой, если в результате технической диагностики было выявлено, что поверхность нагрева калориферов достаточна для подогрева воздуха, поступающего в шахту до требуемой температуры, но из-за неправильного соединения калориферов между собой необходимая теплопроизводительность не обеспечивается или не выдерживаются другие параметры работы КУ (низкая скорость теплоносителя или воздуха, проходящего через калориферы, высокая температура обратной воды). Методика проведения расчетов компоновки калориферов и изменения способа их включения приведена в разд. 5.

3.4.16. Гидропневматическая промывка гидравлического тракта

В соответствии с инструкциями по эксплуатации теплоиспользующих установок система теплопотребления может быть подключена к тепловой сети только после промывки гидропневматическим способом и опрессовки [2]. Целью промывки калориферов и подводящих трубопроводов является уменьшение гидравлического сопротивления элементов гидравлического тракта и улучшение теплопередачи от теплоносителя к воздуху путем тщательного удаления с внутренних поверхностей карбонатных солей, песка, грязи, окалины и других отложений. Промывку производят после завершения всех ремонтных и наладочных работ на гидравлическом тракте калориферной установки, кроме очистки грязевиков, которая производится после промывки КУ. Подводящие магистрали и секции калориферов промывают раздельно. Промытые участки не должны загрязняться при промывке следующих участков. Во вре-

мя промывки трубопроводов калориферов должны быть надежно отделены задвижками или заглушками.

Перед проведением гидропневматической промывки выбирают место подключения и сброса воды. При этом необходимо соблюдать соотношения диаметров промываемого трубопровода штуцера для воздуха, перемычки и дренажного отвода (табл. 12).

Диаметр промываемых труб, мм	50—70	100—150	200—250	300—400	500—600
То же, штуцера для воздуха, мм	25	40	40	50	70
То же, перемычки, мм	50	70	150	200	300
То же, дренажных отводов, мм	40	70	150	200	250

Схема гидропневматической промывки элементов КУ показана на рис. 28.

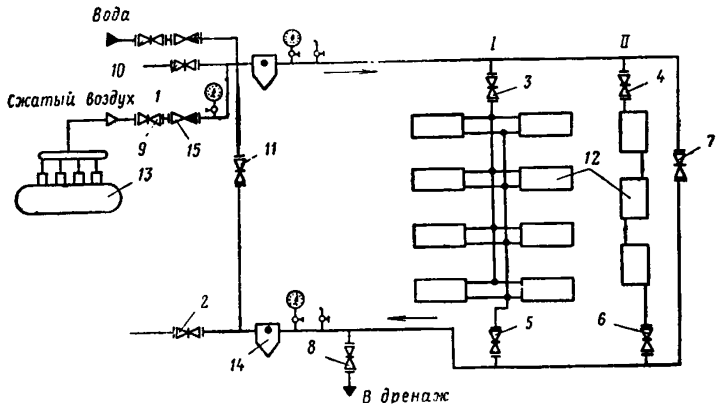

Рис. 28. Схема гидропневматической промывки калориферной установки:
I—II — задвижки; *12* — калориферы; *13* — передвижной компрессор с коллектором; *14* — грязевик; *15* — обратный клапан
I, II — промывка многоярусной и одноярусной компоновки

Для выпуска промывочной воды из трубопроводов и калориферов можно использовать существующие дренажные патрубки.

Источником промывочной воды служит система водоснабжения шахты, а сброс воды осуществляется в канализационную сеть шахты. Источником сжатого воздуха может быть шахтная пневматическая сеть или передвижные компрессорные установки ВКС-6, ДК-9 и ПКСД-5,25 производительностью 0,08—0,17 м³/с.

Режимы промывки могут быть следующие: одновременная непрерывная подача воды и сжатого воздуха; непрерывная подача воды и периодическая подача сжатого воздуха; вытеснение воды воздухом с последующим заполнением водой. Выбор режима зависит от возможностей обеспечения подачи воды и воздуха. Лучший эффект дает первый способ.

Наибольший эффект от гидропневматической промывки получается при отношении расхода воздуха и воды 1 : 2 и скорости водовоздушной смеси 1—3 м/с. Ниже приведены ориентировочные

соотношения между диаметрами промываемых трубопроводов и расходами воды и воздуха.

Диаметр труб, мм	70	100	150	200	250	300	400	500
Расход воды, кг/с	2,8	7,0	19,4	44,4	80	130	167	230
Расход воздуха, м³/с	0,003	0,007	0,02	0,05	0,08	0,13	0,17	0,23

При промывке гидравлического тракта целесообразно выдерживать следующие параметры: напор воды 0,2—0,35 МПа, давление сжатого воздуха 0,5—0,6 МПа, скорость движения воздушной смеси 2—3,5 м/с.

Так как при промывке калориферов обеспечить оптимальную скорость движения водовоздушной смеси при относительно большом живом сечении для прохода теплоносителя (до 0,35 м²) по всей компоновке не представляется возможным, то промывку следует вести последовательно.

Число одновременно промываемых колонн калориферов определяется по формуле

$$n = \frac{D_0}{S_0 W_0},$$

где D_0 — принятый расход воды, м³/с; S_0 — площадь живого сечения для прохода теплоносителя в одном калорифере или колонне, м²; W_0 — скорость воды, м/с.

Расчетную производительность компрессора (м³/с) находят из выражения

$$D_в = 2D_0.$$

Тип и число компрессоров выбирают в соответствии с расчетной производительностью и требуемым давлением. До начала промывки должна быть составлена программа выполнения работ. Промывку осуществляют в следующем порядке.

Сначала производят промывку подводящих трубопроводов. Для этого задвижки *2—6* закрывают и устанавливают заглушки со стороны трубопроводов (см. рис. 28). Если вода подается непосредственно из водопровода через задвижку *10*, то задвижка *1* также должна быть закрыта. Если же вода подается сетевым насосом, то задвижку *1* нужно открыть, задвижку *11* закрыть, а задвижку *7* на концевой перемычке открыть. Затем открывают задвижку *8* на дренажном патрубке, задвижку *10* и после этого задвижку *9*, через которую подается воздух в систему. В процессе промывки необходимо следить за силой гидравлических ударов, не допуская опасных для целостности оборудования и трубопроводов. В целях создания безопасного режима промывки нельзя допускать повышения давления в промываемом трубопроводе более 0,3 МПа. Нормально из дренажного патрубка должны попеременно и толчкообразно выходить вода и воздух. Промывка ведется до полного осветления воды, уходящей в дренаж. По окончании промывки части трубопровода от подающей задвижки до дренажной необходимо задвижку *7* закрыть и открыть задвижку *11*.

Закончив промывку подводящих трубопроводов, закрывают задвижки *7* и *11* на перемычках и приступают к промывке секций

калориферов. У колонн, подлежащих промывке, полностью открывают вентили (задвижки) на входе и выходе. У остальных колонн вентили на входе и выходе закрываются.

Начинать промывку нужно с дальних по ходу воды колонн калориферов. Промываемый участок заполняют водой, затем открывают задвижку на дренажном трубопроводе и одновременно открывают задвижки, через которые подается вода для промывки. Далее включают компрессор и расход воздуха доводят до расчетной величины. Через каждые 5—10 мин на 5 мин прекращается подача воды или воздуха, а потом подача возобновляется в расчетном количестве. Промывку ведут до полного осветления воды. После промывки первой группы колонн калориферов промывают последующие, а промытые закрывают с помощью вентилей на входе и выходе. Во время промывки контролируют давление воды и сжатого воздуха. Гидропневматическую промывку выполняют по особому наряду под руководством специально назначенного ответственного лица.

3.4.17. Вскрытие и чистка грязевиков

После окончания гидропневматической промывки должна быть произведена очистка грязевиков от грязи, мусора, окалины и т. д. Для удаления механических частиц грязевики вскрывают и тщательно очищают. Если в конструкции грязевика предусмотрена сетка, то она должна быть проверена, ячейки очищены. Чистку грязевиков необходимо производить также и в процессе эксплуатации при их загрязнении. О загрязнении судят по увеличению перепада давления на участке, где он установлен.

При установке крышки грязевика следует заменить прокладку (если крышка крепится болтами). Подтяжку болтов производить равномерно, без перекосов.

3.4.18. Опрессовка гидравлического тракта

Трубопроводный тракт калориферной установки подвергают гидравлической опрессовке при избыточном давлении не ниже 1,25 рабочего давления в следующем порядке:

после наполнения системы водой и полного удаления воздуха через воздухоспускные устройства из всех верхних точек рабочее давление $P_р$ в трубопроводах доводится до 0,8 МПа для калориферов, не соответствующих ГОСТу, и до 1,2 МПа для калориферов, изготовляемых по ГОСТ 7201—80, и выдерживается в течение времени, необходимого для тщательного осмотра всех сварных и фланцевых соединений, калориферов, арматуры и трубопроводов, но не менее 10 мин;

если в течение времени осмотра не обнаружено каких-либо дефектов или утечки, давление доводится до испытательного.

Результаты опрессовки считаются удовлетворительными, если в сварных швах труб, фланцевых соединениях и корпусах арматуры

не были обнаружены признаки разрыва, течи и потения, а падание давления в течение 5 мин не превышало 0,02 МПа.

При температурах наружного воздуха выше 0 °С опрессовку ведут, используя водопроводную воду. При температуре же воздуха ниже 0 °С температура воды, подаваемой в систему, должна быть не ниже +50 ÷ +60 °С. При проведении опрессовки применяют:

пружинные манометры класса точности не ниже 1,5 с диаметром корпуса не менее 0,15 м, ценой деления 0,01 МПа и шкалой 0—2,5 МПа. Манометры должны быть опломбированы государственным поверителем;

ручной гидропресс СТД-1751 или передвижной приводной гидропресс ВМС-45 М.

3.5. РАБОТЫ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ И ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

К работам по реконструкции необходимо приступать, если анализ результатов технической диагностики показал, что все условия допустимости состояния технологической схемы калориферной установки не выполняются. В этом случае наладочный персонал должен выдать задание на реконструкцию калориферной установки с указанием: максимального массового расхода воздуха через воздухоподающий ствол; допустимого количества подсосов холодного воздуха помимо калориферов; существующих размеров проемов для монтажа секций калориферов; сечения существующих клапанов смесительной камеры по холодному и горячему воздуху, воздуховода копра, воздухозаборных проемов и вентиляционного канала; типа и модели калориферов, на которые нужно ориентироваться в расчетах; температурного графика работы тепловой сети; способа регулирования теплопроизводительности калориферной установки (изменением расхода воздуха через калориферы с помощью дроссельного клапана смесительной камеры, или изменением температуры и расхода воды через калориферы с помощью регулирующих клапанов и смесительного насоса гидравлического тракта).

В проекте реконструкции производится расчет оптимальной компоновки калориферов и выбор технологического оборудования воздушного и гидравлического трактов. Методика расчета оптимальной компоновки и выбор основного технологического оборудования приведены в разд. 5 настоящего руководства. Проект реконструкции выполняют проектные организации.

Демонтажно-монтажные работы по реконструкции калориферной установки должны производиться, как правило, с привлечением специализированных строительных и строительно-монтажных организаций. Как исключение эти работы могут выполняться силами шахт.

После завершения монтажных работ должны быть проведены ремонтно-наладочные работы в объеме, предусмотренном технологией технического обслуживания после монтажа, начиная с подготовительных работ.

Если анализ результатов технической диагностики покажет, что все показатели качества технологической схемы калориферной установки удовлетворяют допустимым значениям, то можно переходить к заключительным работам: подготовке заключительного технического отчета по наладке установки и составлению паспорта калориферной установки.

В заключительном техническом отчете должны содержаться сведения о выполненных ремонтно-наладочных работах, результаты повторной технической диагностики, анализ результатов наладки на основе сопоставления показателей качества калориферной установки до и после наладки и вывода об эффективности наладочных работ. В отчете должен быть приведен также технический паспорт калориферной установки, в котором содержится следующее.

1. Общие сведения о калориферной установке (расчетный расход воздуха и воды через калориферы, установленная тепловая мощность, наименование организаций, выполнивших проектные, строительно-монтажные и наладочные работы.
2. Компоновочная схема калориферной установки.
3. Техническая характеристика основного и вспомогательного тепломеханического оборудования.
4. Фактические и допустимые показатели качества технологической схемы калориферной установки.

Образцы технической документации этапа заключительных работ приведены в приложении 2.

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Все работы по наладке калориферных установок воздухоподающих стволов шахт следует выполнять в строгом соответствии с требованиями Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах, Правил технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт, Правил техники безопасности при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей и Правил технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей. Наладочная организация, направившая специалистов на объект, несет ответственность за квалификацию персонала. Предприятие, на которое командируется наладочный персонал, несет ответственность за обеспечение безопасных условий работ на рабочем месте.

Каждый работник до поступления на работу должен пройти медицинское освидетельствование в соответствии с указаниями Минздрава СССР. Рабочие должны 1 раз в 2 года проходить периодический медицинский осмотр с обязательной рентгенограф-

фией грудной клетки. Лица, не прошедшие медицинский осмотр, не должны допускаться к работе. К работам по наладке калориферных установок могут быть допущены лица не моложе 18 лет.

4.2. ОБУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА

Обучение персонала безопасным приемам и методам работ производится в определенной последовательности: вводный инструктаж при поступлении на работу; первичный инструктаж на рабочем месте, обучение безопасным приемам ТБ на рабочем месте, проверка знаний правил ТБ и ТЭ, а также местных инструкций, периодический повторный инструктаж, внеплановый инструктаж.

Цель вводного инструктажа — ознакомление вновь поступающих работников с общими правилами техники безопасности и производственной санитарии, а также с правилами внутреннего трудового распорядка. Он проводится для всех вновь поступивших рабочих, ИТР и служащих, а также учащихся и студентов, проходящих практику. Вводный инструктаж проводят в специальном помещении, оборудованном наглядными пособиями по теме инструктажа. На этом этапе должны быть разъяснены: основные положения советского законодательства по охране труда, технике безопасности и производственной санитарии; специфические условия производства работ на данном предприятии; характерные несчастные случаи, происшедшие в результате нарушения правил ТБ и производственной дисциплины; порядок расследования несчастных случаев на производстве; личная ответственность исполнителя за соблюдение правил ТБ.

Первичный инструктаж по ТБ проводят до начала работы непосредственно на рабочем месте всех вновь принятых рабочих, а также переведенных с одного участка на другой. Инструктаж должен сопровождаться практическим показом безопасных приемов и методов работы, применение которых позволит предотвратить для работающих несчастные случаи, профессиональные заболевания и отравления. В программу первичного инструктажа входят: требования, предъявляемые к рабочей одежде, обуви и головным уборам во время работы; ознакомление с технологическим процессом на данном участке работы; ознакомление с устройством оборудования, на котором предстоит работать, с указанием опасных зон и предохранительных ограждений; порядок подготовки к работе (проверка исправности оборудования, приборов, инструмента, приспособлений и т. д.); требования, предъявляемые к правильной организации и содержанию рабочего места, недопустимость загромождения и захламления рабочих мест, проходов и проездов; правила безопасности при работе с пневматическим и электрифицированным инструментом и порядок его содержания; правила безопасности при работе с огневзрывоопасными веществами (бензином, растворителями, нитрокрасками и т. д.); правила безопасности при эксплуатации грузоподъемных механизмов; правила безопасности при выполнении их несколькими рабочими совместно; под-

робное разъяснение инструкции по безопасным методам ведения работ, а также необходимости безупречного ее выполнения; правила поведения работающих в цехах и необходимости безупречного ее выполнения; правила пользования первичными средствами пожаротушения; правила поведения работающих при авариях и несчастных случаях и порядок оповещений о них; правила оказания первой помощи; правила пользования защитными средствами по ТБ.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводит руководитель наладочных работ (мастер), в непосредственном подчинении которого находятся работающие, либо руководитель участка. Проведение первичного инструктажа фиксируется в «Книге регистрации инструктажа рабочих по технике безопасности» под роспись.

Кроме первичного инструктажа, все вновь принятые рабочие, не имеющие стажа работы по данной профессии, обязаны пройти обучение безопасным приемам работы непосредственно на рабочем месте в течение двух первых недель. На время обучения вновь принятые рабочие закрепляются за высококвалифицированными рабочими-инструкторами распоряжением по участку.

По окончании срока обучения и стажировки обучаемый должен пройти проверку знаний правил техники безопасности и местных инструкций в специальной комиссии в составе не менее трех человек, созданной распоряжением по предприятию. При положительной оценке знаний он может быть допущен к самостоятельной работе распоряжением по предприятию (участку). На руки работнику выдается удостоверение установленной формы.

Повторная проверка знаний должна проводиться 1 раз в 12 месяцев, либо после нарушения работником правил ТБ и местных инструкций. Все работающие, независимо от их квалификации и стажа работы по данной профессии, должны проходить периодический повторный инструктаж по безопасным приемам и методам работы. Его проводят не реже одного раза в три месяца по программе первичного инструктажа. Периодический повторный инструктаж должен проводиться в форме живой беседы и подкрепляться подробным разбором конкретных примеров, случаев нарушений правил ТБ, а также их последствий. После проведения инструктажа необходимо произвести выборочную проверку знаний инструктируемыми правил ТБ. При неудовлетворительном ответе необходимо повторно разъяснить работникам тот или иной вопрос.

Периодический повторный инструктаж проводит руководитель группы (бригады). Внеплановый инструктаж следует проводить при: изменении технологического процесса и оборудования, в результате чего изменились условия безопасности работ; выявлении нарушений правил и инструкций по ТБ и промсанитарии, либо если имели место несчастные случаи из-за недостаточного инструктажа работающих; изменении правил и норм по ТБ и промсанитарии, а также по распоряжению вышестоящих организаций. Инструктаж проводит руководитель группы (бригады).

4.3. ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

До начала производства работ должны быть выполнены организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ. Такими мероприятиями являются: оформление работы нарядом или устным распоряжением; допуск к работе; надзор во время работы; перевод на другое рабочее место; оформление перерыва в работе; оформление окончания работы.

Наряд — это письменное распоряжение на работу, определяющее место, время и условия производства работы, необходимые меры безопасности, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность работ. К основным работам, которые должны выполняться по наряду, относятся газо- и электросварочные работы на оборудовании калориферной установки, промывка и опрессовка КУ. Исходя из местных условий, перечень работ, выполняемых по нарядам, может быть расширен. Работы, не требующие подготовки рабочего места, выполняются по распоряжению, которое имеет разовый характер и выдается на одну работу. Лицами, ответственными за безопасность работ, являются лица, выдающие наряд (распоряжение), ответственный руководитель работ, производитель работ (наблюдающий), допускающий к работе, члены бригады.

Поскольку работы производятся в действующих теплоустановках, то выдающий наряд, ответственный руководитель работ и допускающий должны назначаться из числа персонала предприятия, эксплуатирующего данную установку. Наладочный персонал, может выполнять обязанности производителя работ и членов бригады.

При работах по наряду лицо, выдающее наряд, определяет необходимость производства работ, возможность безопасного ее выполнения и отвечает за правильность и полноту указанных в наряде мер безопасности.

Ответственный руководитель отвечает за численный состав бригады и за уровень квалификации лиц, включенных в наряд. Принимая рабочее место, он несет ответственность наравне с допускающим за правильность подготовки рабочего места и достаточность принятых мер безопасности. Производитель работ, принимая рабочее место от допускающего, отвечает за правильность выполнения мер безопасности, за полноту инструктажа бригады, за соблюдение правил ТБ им самим и членами его бригады. Допускающий несет ответственность за правильность допуска к работе и полноту инструктажа ответственного руководителя и производителя работ безопасным приемам работы.

Члены бригады отвечают за соблюдение инструктивных указаний, полученных при допуске и во время работы.

При выполнении работ по распоряжениям назначения ответственного руководителя не требуется. Распоряжение записывается в оперативном журнале, где указывается, кем отдано распоряжение, место и наименование работы, фамилия, инициалы производителя работ и членов бригады, время начала и окончания работ,

удостоверяемое подписью производителя работ и допускающего. Изменение состава бригады в процессе работы, выполняемой по распоряжениям, не допускается.

Работы должны выполнять не менее чем два лица, включая производителя работ. В состав бригады допускается включение учеников, а также вновь принятых рабочих (но не более трех человек).

При допуске бригады к работе производитель работ проводит инструктаж каждого члена бригады непосредственно на его рабочем месте, а затем в процессе работы осуществляет постоянный надзор за ними в отношении их безопасности, а также за наличием и исправностью инструмента, инвентаря, защитных средств и сохранностью ограждений и плакатов, запирающих устройств.

При выполнении работ наладочному персоналу запрещается: принимать на себя временную эксплуатацию калориферной установки; снимать с аппаратов предупредительные плакаты без ведома оперативного персонала, производить какие-либо изменения в схеме установки; возобновлять работы после перерыва в работе в течение рабочего дня, если на месте работ отсутствует производитель работ или если на рабочем месте будут сняты разрешающие плакаты и установлены запрещающие; производить электросварочные и ремонтные работы на оборудовании, находящемся в работе (под давлением, при высокой температуре). Работы, связанные с изменением режима работы калориферных установок, выполняет оперативный персонал или бригада наладчиков под наблюдением оперативного персонала. При производстве работ в калориферных установках категорически запрещается пользоваться открытым огнем (без специального разрешения). Курение разрешается только в специально отведенных местах на расстоянии не менее 30 м от устья ствола. Наладочный персонал, выполняя работы по технической диагностике и наладке калориферных установок, должен надевать каски.

Работа при температуре воздуха выше +50 °С не допускается. Во избежание тепловых ударов время пребывания на теплой стороне калориферной установки при температуре от 40 до 50 °С не должно превышать 20 мин с десятьюминутными перерывами для отдыха.

4.4. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Замеры скорости и температуры проходящего через калориферы воздуха необходимо производить со смотровых площадок или лесов, а при их отсутствии устанавливать датчики с приставной лестницы, а замеры скорости воздуха выполнять с пола, пользуясь удлинительной штангой.

Для выполнения работ на высоте более 1 м заказчик должен оборудовать леса или подмости в соответствии с разделом Б1-4-Д

ПТБ при эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей.

Если невозможно сделать козлы или настил, кратковременные работы на высоте не более 5 м разрешается производить с приставных лестниц и стремянок — исправных и соответствующих требованиям правил техники безопасности. Работа с неисправных лестниц и стремянок, а также с верхней ступеньки лестниц категорически запрещена. Общая длина деревянных лестниц во всех случаях не должна превышать 5 м.

При производстве работ на высоте более 1, 5 м без подмостей или на них, но без ограждений обязательно применение предохранительных поясов, которые должны иметь паспорта и бирки с отметкой о дате последнего испытания. При отсутствии отметки об испытании или при наличии просроченной отметки использование предохранительных поясов запрещается. При производстве работ на высоте с применением предохранительных поясов обязательно должен присутствовать руководитель группы (бригады). Для выполнения замеров температуры и скорости воздуха в вентиляционном канале необходимо назначать не менее двух рабочих, причем один из них должен иметь квалификацию не ниже 4 разряда.

Для спуска и подъема инструментов и приборов в вентиляционный канал применяют веревку. Для обвода сечения вентиляционного канала при замере средней скорости воздуха следует пользоваться удлинительной штангой с противовесами. Во время проведения технической диагностики калориферных установок запрещается снимать верхнюю одежду, которая уменьшает вероятность ожогов при аварийных ситуациях.

При замерах температуры воздуха автоматическим мостом кабель питания и соединительные провода к датчикам следует подвешивать так, чтобы они не мешали свободному проходу людей. Работу с приборами, имеющими питание от сети переменного тока, разрешается поручать лицам, имеющим квалификацию не ниже 4 разряда и прошедшим специальный инструктаж. Подключение и отключение приборов, имеющих питание от сети переменного тока, должен производить персонал заказчика.

При работах с приборами, заполненными ртутью, следует соблюдать особые меры предосторожности. Термометры с ртутным заполнением должны храниться и транспортироваться в футлярах, а установленные на рабочих местах — иметь защитные металлические кожухи (оправы). Опускать термометр в гильзу надо осторожно. Если термометр в гильзе разобьется, необходимо отключить этот участок тепловой сети, вывернуть гильзу с поврежденным термометром и тщательно промыть ее. Ртуть должна быть собрана в специальный сосуд, заливаемый водой, или с притертой пробкой. Продувку, включение и отключение приборов, заполненных ртутью, надо производить с особой осторожностью, чтобы не допустить выброса ртути в трубопроводы или в производственные помещения. Продувку импульсных линий по распоряжению с ука-

занием дополнительных мер безопасности должны выполнять не менее чем два человека, которые во избежание ожогов должны работать в рукавицах. Разлившуюся ртуть нужно тщательно собрать в герметический баллон резиновой грушей и с помощью лупы убедиться в полноте сбора. Остатки ртути надо собрать ветошью, смоченной 0,1 %-ным раствором марганцовокислого калия (раствор светло-розового цвета) с добавлением 5 мл концентрированной соляной кислоты на 1 л раствора. На каждый случай утечки ртути в рабочем помещении должен быть составлен акт за подписью лиц, ответственных за технику безопасности, и представителя профсоюзной организации.

4.5. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕМОНТНЫХ И РЕМОНТНО-НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Ремонтные и ремонтно-наладочные работы, производимые на оборудовании калориферной установки, должны выполняться по наряду. Подлежащую ремонту калориферную установку следует отключить, а приводы задвижек, с помощью которых было произведено отключение, запереть на замок и на них вывесить плакаты «Не открывать, работают люди!». С исполнительных механизмов также должно быть снято напряжение и вывешены плакаты «Не включать, работают люди!».

До начала газо- и электросварочных работ энергомеханической службой шахты должны быть разработаны противопожарные мероприятия. После утверждения главным инженером и согласования с ВГСЧ мероприятий главный механик шахты выдает согласованный с начальником участка ВТБ письменный наряд на производство огневых работ, в котором указывается место, время, характер и объем сварочных работ, меры безопасности, а также фамилии и должности исполнителей огневых работ.

Огневые работы осуществляются под руководством главного механика или его заместителя в присутствии респираторщика ВГСЧ и представителя участка ВТБ. Все воспламеняющиеся материалы должны быть убраны на расстояние не менее 20 м от места ведения сварочных работ. У места проведения огневых работ должно быть не менее двух огнетушителей, пожарный рукав со стволом, присоединенный к ближайшему пожарному крану, и не менее двух ведер с песком или инертной пылью. При ведении огневых работ с помощью электросварки остатки электродов необходимо складывать в специальный металлический ящик (или пустое ведро).

При выполнении такелажных работ нельзя оставлять на весу поднятые грузы на продолжительное время, приподнятые детали и узлы должны быть установлены на надежных подкладках. Запрещается также находиться под поднятыми грузами. Расстроповка установленного оборудования может быть произведена лишь после надежного его закрепления. Для подъема и перемещения оборудования необходимо применять надежные и испытанные подъемные механизмы и приспособления, которые должны быть

осмотрены до начала работы. При осмотре необходимо проверить исправность всех деталей и узлов, их допустимую рабочую нагрузку и соответствие ее поднимаемому грузу. Все подъемные механизмы и приспособления следует периодически испытывать в соответствии с нормами и сроками, предусмотренными правилами ТБ.

При ремонте противопожарных ляд необходимо соблюдать следующие меры предосторожности.

Подъем и опускание ляды должны производить не менее двух человек, один из которых управляет лебедкой, а второй наблюдает за лядой, причем оба должны видеть или слышать друг друга. При подъеме и опускании ляды нельзя находиться под лядой или на ней. Если необходимо работать под лядой, то ее нужно надежно подпереть распилами или стойками. В случае зависания ляды в промежуточном положении ее нужно подпереть, а затем выяснить и устранить причину зависания. При напуске каната и схода его с барабана лебедки необходимо отключить электродвигатель, принять меры против ошибочного его включения и, вращая лебедку вручную, натянуть канат. Недопустимо направлять канат голыми руками, так как оборванные проволоки могут травмировать руки. Для ремонта редукторов лебедок, исполнительных механизмов и насосов нужно отключить электродвигатели от сети коммутационными аппаратами, принять меры против ошибочного их включения и вывесить плакаты «Не включать, работают люди!». Кроме того, надо закрыть задвижки насосов, запереть их на замок и вывесить плакаты «Не открывать, работают люди!». Концы кабеля, питающего электродвигатель, должны быть отсоединены от двигателя и между ними должен быть обеспечен видимый зазор.

Отворачивать гайку и соединительные болты надо только в рукавицах во избежание ранения рук расклепанными краями деталей. При снятии и установке крышек и других узлов необходимо следить за тем, чтобы руки не оказались зажатыми между деталями. Старую консистентную смазку надо удалять с помощью деревянных или металлических скребков. При установке валов их проворачивание осуществлять вручную.

К работе с электроинструментом допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие обучение и имеющие право производства работ с электрифицированным инструментом. Весь электроинструмент подлежит строгому учету и выдается на руки рабочему на время производства работ. Напряжение тока, при котором работает инструмент, должно соответствовать условиям производства работ: 36 В в особо опасных условиях и 220 В в помещениях без повышенной опасности. Применение электроинструмента с двойной изоляцией резко сокращает травматизм от поражения электрическим током.

До начала работы с электроинструментом необходимо проверять его исправность (исправность изоляции проводов, отсутствие оголенных токоведущих частей, отсутствие замыкания на корпус). При работе с электроинструментом с одинарной изоляцией работающий должен надевать резиновые диэлектрические перчатки и

стоять на изолирующей поверхности (резиновый коврик). При этом корпус электроинструмента должен быть заземлен отдельной жилой. Запрещается держать включенную электрическую дрель за провод, удалять руками стружку во время сверления, пользоваться переносными металлическими лестницами, прислоняться к металлическим частям оборудования.

4.6. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ТБ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ

К лицам, виновным в нарушении ТБ и инструкций по безопасным методам работ, в зависимости от характера и степени опасности нарушения для жизни и здоровья людей должны применяться следующие меры воздействия.

1. Дисциплинарные: замечание, выговор, строгий выговор, перевод на нижеоплачиваемую работу до трех месяцев или смещение на низшую должность на тот же срок, увольнение с работы с указанием в трудовой книжке, за что уволен.

2. Материальные: лишение частично или полностью премий за производственные показатели.

3. Передача материалов в следственные органы на злостных нарушителей ТБ, а также лиц, виновных в допущении несчастных случаев или аварий.

Наложение на нарушителя ТБ дисциплинарного взыскания или применение других мер воздействия не освобождает его от материальной и уголовной ответственности в установленном законом порядке.

5. РАСЧЕТ КОМПОНОВОК И ФОРМИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРИ НАЛАДКЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК

Наладка и реконструкция калориферных установок связаны с бо́льшим объемом работ по формированию вариантов технологических схем, расчету оптимальной компоновки калориферов, выбору типоразмеров основного тепломеханического оборудования воздушного и гидравлического трактов, расчету надежности компоновки.

Известные номографические методы расчетов калориферных установок [6] ориентированы на «ручной счет», весьма трудоемки и не могут использоваться при массовом централизованном техническом обслуживании калориферных установок бассейна. В последнее время разработаны методы и программные средства для выполнения теплогидравлических расчетов калориферных установок с помощью современных ЭВМ, которые сокращают трудозатраты на расчеты и позволяют получать более точные и обоснованные результаты при любых типоразмерах тепломеханического оборудования и любых технологических схемах [12, 14, 16, 25—29].

Ниже приведено систематическое описание машинных методов расчета калориферных установок, нашедших применение в практике технического обслуживания калориферных установок Карагандинского бассейна.

5.1. ФОРМИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК

Работы по реконструкции калориферных установок приводят к коренным изменениям технологических схем или к их полному обновлению. Так как технологическая схема определяет строение калориферной установки и предопределяет ее свойства, то важное значение приобретает методика конструирования вариантов схем.

Конструирование вариантов технологических схем является творческим актом и выполняется, как правило, опытным специалистом. Однако качество творческой работы во многом зависит не только от опыта и квалификации, но и от наличия правил построения технологических схем, позволяющих изменить исходную схему в нужном направлении.

На основе анализа закономерностей строения калориферных установок был создан метод конструирования и компактного описания технологических схем, сущность которого сводится к следующему [7].

Основную технологическую функцию калориферной установки расчленили на ряд обеспечивающих функций, совместное выполнение которых реализует основную технологическую цель калориферной установки — бесперебойный и экономичный нагрев атмосферного воздуха, поступающего в шахту.

Если для каждой обеспечивающей технологической функции назначить ряд технологически возможных способов и средств ее реализации, то конкретный вариант технологической схемы можно получить, выбрав по одному из способов для каждой обеспечивающей функции.

Ниже приведены обеспечивающие технологические функции и их обозначения, а в табл. 12 — способы и средства их реализации.

Обеспечивающие технологические функции

	Обозначение функции
1. Греющий энергоноситель	*F01*
2. Теплопередача от греющего к нагреваемому энергоносителю	*F02*
3. Обеспечение движения воздуха	*F03*
4. Равномерное распределение потока наружного воздуха между калориферами	*F04*
5. Установка калориферов	*F05*
6. Герметизация устья ствола и копра	*F06*
7. Дросселирование воздушного потока	*F07*
8. Дросселирование потока греющего энергоносителя	*F08*
9. Смешение нагретого и наружного воздуха	*F09*
10. Формирование входного потока воздуха	*F10*
11. Ограждение технологического оборудования от окружающей среды	*F11*
12. Распределение греющего энергоносителя между калориферами	*F12*
13. Удаление воздуха из трубной системы гидравлического тракта	*F13*
14. Защита трубной системы гидравлического тракта от избыточного давления	*F14*

15. Удаление взвешенных частиц из потока греющего энергоносителя *F15*
16. Отвод конденсата *F16*
17. Защита от замораживания греющего энергоносителя в калориферах *F17*
18. Теплоизоляция *F18*
19. Крепление калориферов *F19*
20. Регулирование теплопроизводительности *F20*
21. Подъемно-транспортные операции при текущем ремонте и устранении неисправностей *F21*
22. Обеспечение противопожарной безопасности в процессе эксплуатации *F22*
23. Перемещение затворов запорной и регулирующей арматуры воздушного и гидравлического трактов *F23*
24. Автоматическое управление технологическими процессами *F24*
25. Размещение аппаратуры электроснабжения и автоматического управления *F25*
26. Обеспечение подмешивания обратной воды *F26*
27. Дросселирование потока подмешиваемой воды *F27*

На основе перечня обеспечивающих функций из табл. 12 построена таблица вариантов технологических схем калориферных установок (табл. 13).

Строкам таблицы вариантов поставлены в соответствие имена обеспечивающих технологических функций, а столбцам — способы и средства реализации этих функций. На пересечении строк и столбцов записаны символические имена реализаций способов и средств. Пустой элемент таблицы соответствует еще не придуманной в данный момент времени реализации соответствующей обеспечивающей функции. Одному варианту технологической схемы соответствует список имен реализаций технологических функций, взятых по одному, и только одному, из каждой строки таблицы вариантов.

Общее число вариантов технологических схем, описанных таблицей вариантов,

$$B = \prod_{i=1}^{\Phi} C_i,$$

где Φ — общее число выделенных обеспечивающих технологических функций; C_i — число способов и средств реализации i-ой технологической функции.

В табл. 13 основная технологическая функция калориферной установки расчленена на 27 обеспечивающих и для каждой указаны варианты технической реализации. Общее число вариантов технологических схем в таблице $B = 3 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 \times \times 2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 6 = 1{,}444738 \cdot 10^{14}$.

Таблица вариантов является удобным и простым средством хранения технических решений по техническим схемам калориферных установок и позволяет сократить затраты времени на конструирование вариантов и их изменение в нужном направлении в процессе реконструкции, а также снижает требования к квалификации и опыту конструктора схемы. При выборе конкретного варианта необходимо учитывать технологическую совместимость и взаимную зависимость способов и средств реализации отдельных обеспечивающих функций.

Дальнейшая детализация варианта схемы, взятого из таблицы, сводится к выбору или конструированию типоразмеров технологического оборудования и установлению отношений между ними по ходу греющего и нагреваемого энергоносителей.

Таблица 12

Способы и средства реализации обеспечивающих технологических функций

Обозначение технологической функции	Способ технической реализации технологической функции	Обозначение реализации
F01	Насыщенный водяной пар	*F01 (1)*
	Перегретый водяной пар	*F01 (2)*
	Высокотемпературная (перегретая) вода	*F01 (3)*
F02	Калориферы стальные модели:	
	самой малой	*F02 (1)*
	малой	*F02 (2)*
	средней	*F02 (3)*
	большой	*F02 (4)*
	самой большой	*F02 (5)*
F03	Специальный вентилятор центробежный	*F03 (1)*
	Несколько специальных вентиляторов центробежных	*F03 (2)*
	Специальный вентилятор осевой	*F03 (3)*
	Вентилятор главного проветривания шахты	*F03 (4)*
F04	Диффузор на входе и выходе воздуха из пакета калориферов	*F04 (1)*
	Поворотная направляющая заслонка перед входом воздуха в пакет калориферов	*F04 (2)*
	Специальная стенка на выходе воздуха из пакета калориферов	*F04 (3)*
F05	Компоновка однорядная по ходу воздуха:	
	вертикальная	*F05 (1)*
	горизонтальная	*F05 (2)*
	наклонная	*F05 (3)*
	Компоновка многорядная по ходу воздуха:	
	вертикальная	*F05 (4)*
	горизонтальная	*F05 (5)*
	наклонная	*F05 (6)*
F06	Сплошная обшивка копра стальным листом и рифленым листом устья ствола. В местах сочленения копра с устьем ствола и воздухопроводом установлены прокладки и фартуки из прорезиненных тканей. Двери ствола герметизированы	*F06 (1)*
	Сплошная обшивка синтетическими материалами копра и устья ствола. В местах сочленения копра с устьем ствола и воздуховодом установлены прокладки из синтетических материалов. Двери ствола герметизированы	*F06 (2)*
F07	Поворотная заслонка	*F07 (1)*
	Две поворотные заслонки	*F07 (2)*
	Дисковый поворотный затвор	*F07 (3)*
	Поворотные жалюзи (многостворчатый клапан)	*F07 (4)*
	Горизонтальный шибер специального профиля	*F07 (5)*
F08	Клапан:	
	регулирующий золотниковый с цилиндрическим золотником	*F08 (1)*
	подъемный	*F08 (2)*
	поворотный	*F08 (3)*
	регулирующий тарельчатый с плоской опорной поверхностью	*F08 (4)*
	регулирующий тарельчатый с конической опорной поверхностью	*F08 (5)*
	смесительный трехходовой	*F08 (6)*

Обозначение технологической функции	Способ технической реализации технологической функции	Обозначение реализации
F09	Смешение воздуха в воздухоподающем стволе при раздельном поступлении в него потоков нагретого и холодного воздуха	*F09 (1)*
	Смешение воздуха в специальной смесительной камере, размещенной в здании калориферной установки и соединенной с воздухоподающим стволом подземным каналом	*F09 (2)*
	Смешение воздуха в подземном канале, соединенном с атмосферой, калориферной установкой и воздухоподающим стволом	*F09 (3)*
F10	Сосредоточенный забор воздуха через воздухозаборную камеру на крыше здания калориферной установки. Входные проемы камеры снабжены неподвижными жалюзийными решетками	*F10 (1)*
	Сосредоточенный забор воздуха через воздухозаборную камеру на крыше здания калориферной установки. Входные проемы камеры снабжены поворотными жалюзи	*F10 (2)*
	Распределенный забор воздуха для пакетов калориферов через проемы в стене здания калориферной установки, а для смесительной камеры через воздухозаборную камеру на крыше. Проемы снабжены неподвижными жалюзийными решетками	*F10 (3)*
	Распределенный забор воздуха через проемы в стенах и воздухозаборную камеру на крыше. Проемы снабжены поворотными жалюзи	*F10 (4)*
	Сосредоточенный забор воздуха через воздухозаборную камеру, приблокированную к зданию калориферной установки. Входные проемы камеры снабжены неподвижными жалюзийными решетками	*F10 (5)*
	Распределенный забор воздуха через проемы в стене и воздухозаборную камеру, приблокированную к зданию калориферной установки. Проемы снабжены поворотными жалюзи	*F10 (6)*
	Распределенный забор воздуха через несколько воздухозаборных камер на крыше здания калориферной установки. Проемы камер снабжены неподвижными решетками	*F10 (7)*
F11	Одноэтажное промышленное здание из типовых конструкций, приблокированное к зданию воздухоподающего ствола или к зданию вентилятора главного проветривания	*F11 (1)*
	Отдельно стоящее промышленное здание из типовых конструкций	*F11 (2)*
F12	Трубы стальные:	
	электросварные, вместе со стандартными соединительными деталями крепления и арматурой	*F12 (1)*
	водогазопроводные вместе со стандартными соединительными деталями, деталями крепления и арматурой	*F12 (2)*
	бесшовные холоднотянутые вместе со стандартными соединительными деталями, деталями крепления и арматурой	*F12 (3)*
	бесшовные горячекатаные вместе со стандартными соединительными деталями крепления и арматурой	*F12 (4)*
F13	Воздухоотводчики:	
	горизонтальные проточные	*F13 (1)*

Продолжение табл. 12

Обозначение технологической функции	Способ технической реализации технологической функции	Обозначение реализации
	вертикальные проточные	*F13 (2)*
	автоматические	*F13 (3)*
	ручные	*F13 (4)*
F14	Клапан:	
	предохранительный	*F14 (1)*
	редукционный	*F14 (2)*
F15	Грязевик:	
	с сеткой в корпусе	*F15 (1)*
	с перфорированной трубкой в корпусе	*F15 (2)*
F16	Автоматический конденсатоотводчик	*F16 (1)*
	Гидравлический затвор	*F16 (2)*
	Дроссельные шайбы	*F16 (3)*
	Отвод конденсата по уровню в конденсатосборнике	*F16 (4)*
F17	Рециркуляция нагретого воздуха на вход калориферов в зависимости от температуры наружного воздуха и температуры греющего энергоносителя на выходе из калориферов	*F17 (1)*
	Отключение гидравлического тракта калориферной установки от тепловой сети и одновременный сброс греющего энергоносителя в канализацию в зависимости от температуры на выходе из калориферов	*F17 (2)*
	Прекращение доступа наружного воздуха к калориферам при одновременной подаче наружного воздуха в ствол через смесительную камеру в зависимости от температуры наружного воздуха и температуры греющего энергоносителя на выходе из калориферов	*F17 (3)*
	Прекращение доступа наружного воздуха к калориферам. Отключение гидравлического тракта от тепловой сети. Обеспечение циркуляции энергоносителя по гидравлическому тракту с помощью смесительного насоса	*F17 (4)*
F18	Изоляция готовыми теплоизоляционными конструкциями	*F18 (1)*
	Изоляция оберточными штучными изделиями	*F18 (2)*
	Изоляция жесткими изделиями	*F18 (3)*
F19	Сварная опорная конструкция из стального профиля	*F19 (1)*
	Железобетонная опорная конструкция	*F19 (2)*
F20	Качественное централизованное и местное количественное изменение расхода воздуха через калориферы	*F20 (1)*
	Регулирование теплопроизводительности:	
	изменением расхода греющего энергоносителя при постоянном расходе воздуха через калориферы	*F20 (2)*
	одновременным изменением расхода греющего энергоносителя и воздуха, проходящего через калориферы при постоянной температуре греющего энергоносителя	*F20 (3)*
	изменением теплоотдающей поверхности путем отключения колонн или пакетов калориферов и изменения расхода воздуха через калориферы	*F20 (4)*
	изменением подачи подмешиваемой воды при постоянном расходе воздуха через калориферы	*F20 (5)*
F21	Стационарный монорельс вдоль всех пакетов калориферов, рассчитанный на ручную таль	*F21 (1)*
	Переносная опорная конструкция для ручной тали, постоянно не находящаяся в здании калориферной установки	*F21 (2)*

Продолжение табл. 12

Обозначение технологической функции	Способ технической реализации технологической функции	Обозначение реализации
F22	Две падающие противопожарные ляды из листовой стали, снабженные электроприводом и размещенные в подземном канале калориферной установки	*F22 (1)*
	Две противопожарные двери из листовой стали, снабженные электроприводом и размещенные в подземном канале калориферной установки	*F22 (2)*
	Две падающие противопожарные ляды из листовой стали, покрытые мастичной теплоизоляцией, снабженные электроприводом и размещенные в подземном канале калориферной установки	*F22 (3)*
F23	Электрический исполнительный механизм однооборотный	*F23 (1)*
	То же, многооборотный	*F23 (2)*
	Пневматический исполнительный механизм однооборотный	*F23 (3)*
	Гидравлический исполнительный механизм поступательный	*F23 (4)*
	Пневматический исполнительный механизм многооборотный	*F23 (5)*
	Мембранный пневматический исполнительный механизм	*F23 (6)*
F24	Централизованное регулирование теплопроизводительности, автоматическая защита от замораживания энергоносителя в калориферах, контроль и сигнализация	*F24 (1)*
	Местное и централизованное регулирование теплопроизводительности, автоматическая защита от замораживания энергоносителя в калориферах, контроль и сигнализация	*F24 (2)*
F25	Аппаратура электроснабжения и автоматического управления, размещенная в обогреваемой части помещения калориферной установки	*F25 (1)*
	Аппаратура электроснабжения и автоматического управления, размещенная в изолированном помещении здания калориферной установки	*F25 (2)*
F26	Насос подмешивания:	
	центробежный	*F26 (1)*
	водоструйный	*F26 (2)*
F27	Клапан:	
	регулирующий золотниковый с цилиндрическим золотником	*F27 (1)*
	подъемный	*F27 (2)*
	поворотный	*F27 (3)*
	регулирующий тарельчатый с плоской опорной поверхностью	*F27 (4)*
	регулирующий тарельчатый с конической опорной поверхностью	*F27 (5)*
	смесительный трехходовой	*F27 (6)*

С помощью тепловых, гидравлических и аэродинамических расчетов воздушного и гидравлического трактов определяют типоразмеры технологического оборудования, обеспечивающие заданные значения показателей качества технологической схемы.

5.2. ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ КАЛОРИФЕРОВ

Как показал опыт технического обслуживания калориферных установок в Карагандинском угольном бассейне, расчет компоновок калориферов является наиболее трудоемкой и часто выпол-

Таблица 13

Таблица вариантов технологических схем калориферных установок

Номера обеспечивающих технологических функций	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	F01(1)	F01 (2)	F01 (3)							
2	F02(1)	F02 (2)	F02 (3)	F02 (4)	F02 (5)					
3	F03(1)	F03 (2)	F03 (3)	F03 (4)						
4	F04(1)	F04 (2)	F04 (3)							
5	F05(1)	F05 (2)	F05 (3)	F05 (4)	F05 (5)	F05 (6)				
6	F06(1)	F06 (2)								
7	F07(1)	F07 (2)	F07 (3)	F07 (4)	F07 (5)					
8	F08(1)	F08 (2)	F08 (3)	F08 (4)	F08 (5)	F08 (6)				
9	F09(1)	F09 (2)	F09 (3)							
10	F10(1)	F10 (2)	F10 (3)	F10 (4)	F10 (5)	F10 (6)	F10(7)			
11	F11(1)	F11 (2)								
12	F12(1)	F12 (2)	F12 (3)	F12 (4)						
13	F13(1)	F13 (2)	F13 (3)	F13 (4)						
14	F14(1)	F14 (2)								
15	F15(1)	F15 (2)								
16	F16(1)	F16 (2)	F16 (3)	F16 (4)						
17	F17(1)	F17 (2)	F17 (3)	F17 (4)						
18	F18(1)	F18 (2)	F18 (3)							
19	F19(1)	F19 (2)								
20	F20(1)	F20 (2)	F20 (3)	F20 (4)	F20 (5)					
21	F21(1)	F21 (2)								
22	F22(1)	F22 (2)	F22 (3)							
23	F23(1)	F23 (2)	F23 (3)	F23 (4)	F23 (5)	F23 (6)				
24	F24(1)	F24 (2)								
25	F25(1)	F25 (2)								
26	F26(1)	F26 (2)								
27	F27(1)	F27 (2)	F27 (3)	F27 (4)	F27 (5)	F27 (6)				

няемой работой при наладке и реконструкции, а применение ЭВМ для оптимизации компоновок калориферов дает значительный технический и экономический эффект. На множестве серийных моделей и номеров калориферов, а также способов их соединения между собой возможно счетное множество вариантов компоновок, различающихся между собой показателями качества, которые отображают успешность выполнения технологической цели компоновки.

Качество любого варианта компоновки калориферов достаточно полно оценивается следующей совокупностью свойств:

температура воды на выходе из калориферов в расчетном режиме; температура воздуха в стволе в расчетном режиме; тепловая мощность в расчетном режиме; скорость воды в трубках калориферов; габаритные размеры помещения для размещения калориферов; тип модели и номер калориферов в компоновке; приведенные затраты на монтаж и эксплуатацию компоновки; коэффициент готовности компоновки, определяющий ее надежность.

Для того чтобы из множества возможных вариантов компоновок выбрать один с лучшим качеством, необходимо иметь количе-

ственный критерий предпочтения, по экстремальному значению которого можно выбрать лучшую компоновку.

Критерием предпочтения целесообразно назначить приведенные затраты, определяющие экономические свойства компоновки калориферов. Из множества возможных вариантов компоновок выделим допустимое подмножество, в котором каждая компоновка одновременно обеспечивает заданные значения таких свойств, как требуемая высота и периметр помещения, скорость воды в трубках, температура воздуха в стволе, температура воды на выходе из калориферов, коэффициент готовности. Тогда задача выбора наилучшей компоновки из множества возможных вариантов заключается в том, чтобы выделить допустимое подмножество компоновок и из этого подмножества выбрать компоновку, соответствующую минимальному значению приведенных затрат. Компоновку, определенную таким образом, будем называть оптимальной в смысле минимума приведенных затрат.

Содержательно сформулированная задача относится к классу однокритериальных задач математического программирования и является одной из частных задач более общей задачи оптимизации технологической схемы, поставленной в работе [26]. Для формальной постановки задачи определим критерий оптимальности и ограничения как функции компоновочных переменных: число калориферов в колонне, число колонн в блоке, число блоков в ярусе и число ярусов в ряду.

5.2.1. ФОРМАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ

Сооружение и освоение теплопроизводительности калориферной установки осуществляется в течение одного года при неизменных во времени годовых эксплуатационных затратах, поэтому годовые приведенные затраты на монтаж и поддержание функционирования компоновки калориферов можно выразить с помощью соотношения

$$Z = C + EK, \tag{128}$$

где Z — годовые приведенные затраты, руб; C — годовые эксплуатационные расходы, руб; E — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый для угольной промышленности равным 0,12; K — единовременные капитальные затраты, руб.

Выразим капитальные и эксплуатационные расходы через компоновочные переменные для случая однорядной компоновки, так как именно она обеспечивает более эффективное использование теплообменных аппаратов в безвентиляторной технологии нагрева воздуха. Существенными капитальными затратами (руб) на сооружение фиксированного варианта компоновки калориферов являются затраты на приобретение калориферов и их монтаж:

$$K = (Ц_{1i} + Ц_{2i}) N_{к\,i} M_{к\,i} L_{к\,i} L_{я\,i}, \tag{129}$$

где $Ц_{1i}$ и $Ц_{2i}$ — соответственно цена одного калорифера i-го типо-

размера и стоимость его монтажа, руб; $N_{к\,i}$, $M_{к\,i}$, $L_{к\,i}$, $L_{я\,i}$ — компоновочные переменные в компоновке из калориферов i-го типоразмера.

Значительными эксплуатационными затратами (руб) в процессе функционирования компоновки калориферов являются годовые затраты на электроэнергию, расходуемую на перемещение воды и воздуха через калориферы, и амортизационные отчисления:

$$C = \{(D_{в.к}\Delta P_{в.к})/\eta_в + (D_{о.к}\Delta P_{о.к})/\eta_0\}\, N_к M_к L_к L_я 0{,}24 N_о Ц_э + N_к M_к L_к L_я (Ц_1 + Ц_2)\, A_к, \quad (130)$$

где $\eta_в$, η_0 — соответственно, к. п. д. вентилятора главного проветривания и сетевой насосной станции; $N_о$ — длительность отопительного периода, сутки; $Ц_э$ — стоимость электроэнергии по одноставочному тарифу, руб/кВт·ч; $A_к$ — нормативный коэффициент амортизационных отчислений на восстановление капитальных вложений в калориферы.

Объемный расход воздуха (м³/с) через воздушный тракт одного калорифера компоновки

$$D_{в.к} = D_{в.у}/N_к M_к L_к L_я, \quad (131)$$

где $D_{в.у}$ — объемный расход воздуха через калориферную установку, м³/с.

Объемный расход воды (м³/с) через гидравлический тракт одного калорифера компоновки

$$D_{о.к} = D_{о.р}/L_к L_я, \quad (132)$$

где $D_{о.р}$ — объемный расход воды через калориферную установку в расчетном режиме, м³/с.

Потеря давления (Па) на воздушном тракте одного калорифера компоновки

$$\Delta P_{в.к} = B_i (D_{в.у}\rho_в/N_к M_к L_к L_я S_{в\,i})^{A_i}, \quad (133)$$

где A_i, B_i — эмпирические константы для i-го типоразмера калорифера; $\rho_в$ — плотность воздуха при расчетной температуре и нормальном атмосферном давлении, кг/м³; $S_{в\,i}$ — живое сечение калорифера i-го типоразмера по тракту движения воздуха, м².

Потеря давления (Па) на гидравлическом тракте одного калорифера компоновки

$$\Delta P_{о.к} = 937{,}563 k_i^{0{,}8} D_{о.к}^{1{,}85}/d_i^4, \quad (134)$$

где k_i — число «ходов» в калорифере i-го типоразмера; d_i — диаметр входных патрубков калорифера i-го типоразмера, м.

Введенные соотношения (131)—(134) справедливы для случая равномерной нагрузки калориферов компоновки водой и воздухом, что является необходимым требованием при конструировании компоновки. Подставляя выражения (129)—(134) в (128), получим окончательное выражение для критерия оптимальности как детерминированной функции компоновочных переменных при фиксированном i-ом типоразмере калориферов в компоновке:

$$Z_i = \{D_{в.у} B_i D_{в.у} \rho_в (N_к M_к L_к L_я S_{в\,i})^{A\,i}/\eta_в + \\ + D_{ор} M_к N_к \left(937{,}563 k_i^{0{,}8} D_{ок}^{1{,}85}/d_i^4\right)/\eta_0\} \, 0{,}024 N_0 Ц_э + \\ + (E + A_к)(Ц_1 + Ц_2) N_к M_к L_к L_я. \qquad (135)$$

Скорость воды в трубках калориферов определяет не только интенсивность теплопередачи, но и возможность замерзания воды в калориферах в аварийных ситуациях. С учетом требований интенсификации теплопередачи и обеспечения требуемой надежности компоновки допустимая скорость воды в трубках калориферов должна находиться в диапазоне $0{,}3 \leqslant w \leqslant 0{,}8$ м/с. При равномерном потокораспределении воды между блоками калориферов скорость воды (м/с) в трубках может быть выражена через компоновочные переменные следующим образом:

$$w_0 = G_{ор}/S_{0i}\rho_0 L_к L_я, \qquad (136)$$

где S_{0i} — живое сечение калорифера i-го типоразмера по гидравлическому тракту, м^2; ρ_0 — плотность воды в живом сечении калорифера, кг/м^3.

Согласно требованиям Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах (§ 150) температура воздуха в стволе в зимнее время должна быть не менее +2 °С. Однако для шахт, расположенных в зонах многолетней мерзлоты, допустимая температура воздуха может быть принята ниже нуля. Однако, учитывая кратковременность пребывания горнорабочих в стволе и околоствольных выработках и исходя из экономических соображений, верхний предел температуры целесообразно иметь на уровне +5 °С, а нижний — на уровне требований Правил безопасности.

Для шахт, размещенных в зонах многолетней мерзлоты, подогрев воздуха до положительных температур может снизить устойчивость горных пород и явиться причиной ухудшения условий поддержания выработок. Поэтому допустимая температура воздуха в стволе должна быть в области отрицательных температур: $-7\,°С \leqslant t \leqslant -4\,°С$.

Допустимый диапазон температур воды на выходе из калориферов в расчетном режиме для калориферных установок шахт принят $+65\,°С \leqslant t_{о.к} \leqslant +70\,°С$.

Температуру воздуха в стволе и воды на выходе из калориферов при расчетной температуре атмосферного воздуха (в соответствии с нормами технологического проектирования угольных шахт расчетной температурой считают абсолютно минимальную температуру атмосферного воздуха, определяемую по СНиП II-А-6—73) можно выразить через компоновочные переменные с помощью уравнений энергии и теплопередачи для стационарного режима:

$$\left.\begin{aligned} &Q_0 = G_0 c_0 (t_{о.н} - t_{о.к}); \\ &Q_в = G_{в.у} c_в (t_{в.к} - t_{в.н}); \\ &Q_в = K_t F_{t\,к} \Delta t_{ср.лог.} \psi_с; \\ &G_{в.с} C_в (t_{ст})\, t_{ст} = G_{в.п} C_в (t_{в.п}) t_{в.п} + G_{в.у} C (t_{в.к}) t_{в.к}, \end{aligned}\right\} \qquad (137)$$

где $Q_о$, $Q_в$ — тепловые потоки соответственно греющего и нагреваемого энергоносителей, Вт; G_0, $G_{в.у}$, $G_{в.п}$, $G_{в.с}$ — массовые расходы соответственно воды через калориферы, воздуха через калориферы всей установки, воздуха через неплотности воздушного тракта, воздуха через ствол, кг/с; c_0, $c_в$ — средние теплоемкости воды и воздуха для температурных перепадов $(t_{о.н} - t_{о.к})$ и $(t_{в.к} - t_{в.н})$, Дж/(кг·°С); $c_в(t_{ст})$, $c_в(t_{в.к})$, $c_в(t_{в.н})$ — истинная теплоемкость соответственно воздуха в стволе, после калориферов и атмосферного воздуха, Дж/(кг·°С); $t_{ст}$, $t_{в.н}$, $t_{в.к}$, $t_{о.н}$, $t_{о.к}$ — температура соответственно воздуха в стволе, атмосферного воздуха и на выходе из калориферов, температура воды на входе и на выходе из калориферов, °С; $F_{t\,к}$ — теплоотдающая поверхность компоновки, м^2.

Для случая перекрестного тока энергоносителей, имеющего место в калориферах, среднелогарифмический температурный напор определяется из выражения

$$\Delta t_{ср.лог} = \frac{(t_{о.н} - t_{в.к}) - (t_{о.к} - t_{в.н})}{\ln \dfrac{t_{о.н} - t_{в.к}}{t_{о.к} - t_{в.н}}}. \qquad (138)$$

Коэффициент $\psi_с$ для случая смешанного и перекрестного тока всегда меньше единицы и является функцией температур энергоносителей на входе и выходе из калориферов. Из опыта проектирования компоновок определено, что в расчетном режиме $\psi_с \approx 0{,}95$ для всего ряда теплопроизводительностей установок с расходом воздуха 100—400 кг/с.

Решив систему (137) относительно $t_{в.к}$, $t_{о.к}$ и $t_{ст}$ с использованием формулы (138), получим соотношения для расчета температур воды и воздуха на выходе из калориферной установки в стационарном расчетном режиме.

Коэффициент теплопередачи определяется соотношением (113), температуры $t_{в.к}$ и $t_{о.к}$ — (115), а температура воздуха в стволе

$$t_{ст} = \frac{G_{в.п}c_в(t_{в.п}) + G_{в.к}c_в(t_{в.к})\,t_{в.к}}{G_{в.с}c(t_{ст})}. \qquad (139)$$

Теплоотдающая поверхность компоновки

$$F_{t\,к} = F_{tl}M_к N_к L_к L_я, \qquad (140)$$

где F_{tl} — поверхность теплоотдачи калорифера i-го типоразмера, м^2.

Геометрические размеры компоновки калориферов по высоте должны быть ограничены соображениями удобства монтажа и эксплуатации, что выражается соотношениями

$$(R_д - 1{,}5A_{з.к\,i})/A_{к\,i} \geqslant N_к L_я \qquad (141)$$

и

$$(R_д - 1{,}2Б_{2i})/Б_{2i} \geqslant N_к L_я, \qquad (142)$$

где $R_д$ — допустимый размер помещения калориферной установки по высоте, м; $A_{з.к\,i}$, $Б_{2i}$ — высота одноходового и многоходового калориферов i-го типоразмера.

Соотношение (141) справедливо для одноходовых калориферов, (142) — для многоходовых.

Коэффициент готовности компоновки $K_{2к}$ является сложной функцией компоновочных переменных и должен находиться, как показывает опыт эксплуатации калориферных установок, в диапазоне 0,85—0,95.

Определив критерий оптимальности и все функциональные ограничения по обеспечению выделения допустимых компоновок, сконструированных из калориферов одного типоразмера, запишем задачу выбора наилучшей компоновки как задачу нелинейного программирования:

$$\min_{i\in I}\min_{N_к,\ M_к\ C_{к}iL_{я}i\in Ei} Z = \{D_{вy}B_i[D_{вy}\rho_в(N_{к\,i}\times$$

$$\times M_{к\,i}L_{к\,i}L_{я\,i}S_{в\,i})^{A_i}]/\eta_в + D_{ор}M_к N_к\left(937{,}563k_i^{0,8}D_{ок}^{1,85}/d_i^4\right)/\tau_0\} 0{,}024N_0Ц_3 +$$

$$+ (E + A_к)(Ц_1 + Ц_2)N_{к\,i}M_{к\,i}L_{к\,i}L_{я\,i};$$

$$E_i = \{M_{к\,i},\ N_{к\,i}L_{к\,i}L_{я\,i}/0{,}3 \leqslant W_0(L_{к\,i},\ L_{я\,i}) \leqslant 0{,}8;$$

$$(R_д - 1{,}5A_{3к\,i})/A_{3к\,i} \geqslant N_{к\,i}L_{я\,i} \vee (R_д - 1{,}2Б_{2i})/Б_{2i} \geqslant N_{к\,i}L_{я\,i};$$

$$+2 \leqslant t_{ст}(N_{к\,i},\ M_{к\,i},\ L_{к\,i},\ L_{я\,i}) \leqslant +5; \qquad (143)$$

$$-7 \leqslant t_{ст}(N_{к\,i},\ M_{к\,i},\ L_{к\,i},\ L_{я\,i}) \leqslant -4;$$

$$+65 \leqslant t_{ок}(N_{к\,i},\ M_{к\,i},\ L_{к\,i},\ L_{я\,i}) \leqslant +70;$$

$$0{,}85 \leqslant k_{гк}(N_{к\,i},\ M_{к\,i},\ L_{к\,i}L_{1i}) \leqslant 0{,}95.$$

В обозначениях задачи (143) E_i — допустимое множество значений компоновочных переменных для компоновки из калориферов i-го типоразмера, I — число типоразмеров калориферов, среди которых отыскивается оптимальная компоновка. Решением задачи (143) должны быть такие целочисленные значения компоновочных переменных, которые обеспечивают минимум приведенных затрат на допустимом множестве значений E_i. Так как аналитическое решение сформулированной задачи (143) невозможно из-за существенной нелинейности критерия оптимальности и ограничений, то воспользуемся численными методами. Учитывая усложненность компоновочных переменных, ограниченность множества типоразмеров калориферов и допустимого множества, на котором определены компоновочные переменные, воспользуемся методом полного перебора — наиболее общим методом решения комбинаторных задач математического программирования, который обеспечивает получение глобального экстремума критерия оптимальности.

5.2.2. АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ

Задача оптимизации компоновки может быть решена после выполнения следующих арифметических и логических действий.

1. Вычислить массовый расход воздуха (кг/с) через воздухоподающий ствол:

$$G_{в.с} = D_{в.с}\rho_в(t_{в.н}),$$

где $D_{в.с}$ — объемный расход воздуха через воздухоподающий ствол, м³/с, определяемый либо по результатам расчета вентиляции шахты (для проектируемых установок), либо по результатам депрессионных съемок (при наладке и реконструкции). Плотность воздуха при нормальном давлении $\rho_в$ (кг/м³) вычисляется для расчетной температуры $t_{в.н}$ по формуле

$$\rho_в = 1{,}29365 - 0{,}0048t + 0{,}000017t^2. \quad (144)$$

2. Вычислить массовые расходы воздуха через неплотности воздушного тракта и через калориферы всей установки:

$$G_{в.н} = PG_{в.с}; \quad (145)$$

$$G_{в.у} = G_{в.с} - G_{в.н}, \quad (146)$$

где P — относительный расход воздуха через неплотности воздушного тракта, принимаемый равным 0,2 для проектируемых установок и равным фактическому значению, удовлетворяющему нормативным требованиям и определяемому в процессе технической диагностики калориферной установки (при наладке и реконструкции).

3. Вычислить требуемую температуру воздуха на выходе из калориферов в расчетном режиме для обеспечения минимально допустимой температуры воздуха в стволе:

$$t_{в.к1} = \frac{G_{в.с}c_в(t_{ст.н})\,t_{ст.н} - G_{в.н}c_в(t_{в.н})\,t_{в.н}}{G_{в.у}c_в(t_{в.к1})}, \quad (147)$$

где $t_{ст.н}$ — минимально допустимая температура воздуха в стволе, принимаемая равной $+2$ °С или -7 °С (для районов с многолетней мерзлотой).

Изобарная истинная теплоемкость воздуха Дж/(кг·°С) при соответствующих температурах и нормальном давлении вычисляются по формуле [16]

$$c_в = 1006{,}05 - 0{,}0855t + 0{,}00163t^2. \quad (148)$$

Расчет $t_{в.к1}$ выполняется по простой итерационной схеме:

3.1. Назначается начальная температура, например, $t_{вк1} = +30$ °С.

3.2. Вычисляется теплоемкость воздуха при температурах $t_{в.к\,1н}$, $t_{ст.н}$, $t_{в.н}$ по формуле (148).

3.3. Рассчитывается уточненное значение температуры по формуле (147).

3.4. Рассчитывается относительная ошибка

$$\varepsilon = \frac{|t_{в.к\,1у} - t_{в.к\,1н}|}{|t_{в.к\,1у}|}.$$

3.5. Если $\varepsilon \leqslant 0{,}01$, то расчет $t_{в.к1}$ выполнен с требуемой точностью, т. е. $t_{в.к1} = t_{в.к\,1у}$.

В противном случае начальному значению $t_{в.к\,1н}$ присваивается значение $t_{в.к\,1у}$, т. е. $t_{в.к\,1н} = t_{в.к\,1у}$ и расчеты возобновляются с пункта 3.2.

4. Вычислить требуемую температуру воздуха на выходе из калориферов в расчетном режиме для обеспечения максимально допустимой температуры воздуха в стволе:

$$t_{в.к2} = \frac{G_{в.с} c_в (t_{ст.в})\, t_{ст.в} - G_{в.н} c_в (t_{в.н})\, t_{в.н}}{G_{в.у} c (t_{в.к2})}, \qquad (149)$$

где $t_{ст.в}$ — максимально допустимая температура воздуха в стволе, принимаемая равной +5 °С, либо —4 °С.

Расчет $t_{в.к\,2}$ выполняется аналогично $t_{в.к\,1}$.

5. Вычислить требуемую тепловую мощность (Вт) калориферной установки для обеспечения минимально допустимой температуры воздуха в стволе $t_{ст.н}$:

$$Q_1 = G_{в.у} c_в (t_{в.к1},\ t_{в.н})\, (t_{в.к1} - t_{в.н}), \qquad (150)$$

где $c_в (t_{в.к1},\ t_{в.н})$ — средняя теплоемкость воздуха в интервале температур ($t_{в.к1}$, $t_{в.н}$) при нормальном атмосферном давлении, Дж/(кг·°С).

Средняя теплоемкость воздуха для интервала температур ($t_{в.к1}$, $t_{в.н}$) вычисляется через истинную теплоемкость по формуле (104).

6. Вычислить требуемую тепловую мощность (Вт) калориферной установки для обеспечения максимально допустимой температуры воздуха в стволе $t_{ст.в}$

$$Q_2 = G_{в.у} c_в (t_{в.н},\ t_{в.к2})\, (t_{в.к2} - t_{в.н}), \qquad (151)$$

где средняя теплоемкость $c_в (t_{в.н},\ t_{в.к2})$ вычисляется по формуле (104).

7. Вычислить расчетный массовый расход воды (кг/с) через калориферную установку:

$$G_{о.р} = Q_1 / c_0 (t_{о.н},\ t_{о.к})\, (t_{о.н} - t_{о.к}), \qquad (152)$$

где $c_0 (t_{о.н},\ t_{о.к})$ — средняя теплоемкость воды на интервале температур воды ($t_{о.н}$, $t_{о.к}$), вычисляемая по формуле (85); $t_{о.н}$, $t_{о.к}$ — температура воды на входе и выходе из калориферов в расчетном режиме, определяемая по действующему в системе теплоснабжения температурному графику.

8. Вычислить среднелогарифмический температурный напор в расчетном режиме для максимально и минимально допустимой температуры воздуха в стволе:

$$\Delta t_{ср.лог1} = \frac{(t_{о.н} - t_{в.к1}) - (t_{о.к} - t_{в.н})}{\ln \dfrac{t_{о.н} - t_{в.к1}}{t_{о.к} - t_{в.н}}}; \qquad (153)$$

$$\Delta t_{ср.лог2} = \frac{(t_{о.н} - t_{в.к2}) - (t_{о.к} - t_{в.н})}{\ln \dfrac{t_{о.н} - t_{в.к2}}{t_{о.к} - t_{в.н}}}, \qquad (154)$$

где $t_{о.н}$ и $t_{о.к}$ определяются по принятому в системе температурному графику для расчетной температуры атмосферного воздуха, °С.

9. Из исходного множества типов и моделей калориферов выбрать очередной тип и модель. При проектировании калориферной

установки исходное множество типоразмеров калориферов должно включать все выпускаемые калориферы для воды.

При расчете компоновки в процессе наладки или реконструкции назначается только имеющийся в наличии типоразмер.

10. Для выбранного типоразмера калорифера определить допустимую компоновку. Алгоритм выбора допустимой компоновки описан ниже.

11. По формуле (135) вычислить приведенные затраты для допустимой компоновки.

12. Действия 9—11 повторить для всех типоразмеров калориферов из исходного множества, фиксируя компоновочные параметры всех найденных допустимых компоновок и приведенные затраты на их реализацию.

13. На множестве допустимых компоновок выбрать одну, соответствующую минимальному значению приведенных затрат, которая и является результатом решения задачи.

5.2.3. АЛГОРИТМ ПОИСКА ДОПУСТИМОЙ КОМПОНОВКИ

Алгоритм обеспечивает поиск таких значений компоновочных переменных компоновки из калориферов i-го типоразмера, при которых выполняются установленные ограничения на высоту помещения калориферной установки, скорость воды в калориферах, температуру воздуха в стволе, температуру воды на выходе из калориферов и коэффициент готовности компоновки. Поиск допустимой компоновки на начальном множестве типоразмеров калориферов заключается в последовательном определении следующих величин и выполнении логических действий.

1. Максимально возможное число ярусов в заданном помещении калориферной установки

$$L_{я\ max} = R_д / B_{2i} - 1,\ 2. \tag{155}$$

2. Начальное значение числа ярусов в компоновке путем присвоения ($L_я = 1$).

3. Первое приближение минимально допустимого числа калориферов в компоновке

$$N_{у\ min} = \frac{Q_1}{\Delta t_{ср.лог1} \psi_с F_{t\ к} K_{t\ max}}, \tag{156}$$

где $K_{t\ max}$ — максимально возможное по паспортным данным значение коэффициента теплопередачи калорифера i-го типоразмера, принимаемое 50 Вт/(м^2·°С).

4. Первое приближение максимально допустимого числа калориферов в компоновке

$$N_{у\ max} = \frac{Q_2}{\Delta t_{ср.лог\ 2} \psi_с F_{t\ к} K_{t\ min}}, \tag{157}$$

где $K_{t\ min}$ — минимально возможное по паспортным данным значение коэффициента теплопередачи калорифера i-го типоразмера, принимаемое 10 Вт/(м^2·°С).

5. Максимально допустимое число калориферов в колонне

$$N_{\text{к max}} = (R_{\text{д}} - 1{,}2B_{2i})/B_{2i}L_{\text{я1}}. \quad (158)$$

6. Минимально допустимое число блоков в одном ярусе

$$L_{\text{к min}} = G_{\text{о.р}}/[S_{0i}L_{\text{я}\,i}\rho_0\,(t_{\text{о.н}})\,W_{\text{о.в}}], \quad (159)$$

где $\rho\,(t_{\text{о.н}})$ — плотность воды, вычисляемая для температуры $t_{\text{о.н}}$ по формуле

$$\rho_0 = 1000{,}8274 - 0{,}0837t - 0{,}00373t^2 + 0{,}000003681t^3, \quad (160)$$

$W_{\text{о.в}}$ — верхнее значение скорости воды в трубках калориферов, принимаемое равным 0,8 м/с.

7. Максимально допустимое число блоков в одном ярусе

$$L_{\text{к max}} = G_{\text{о.р}}/[S_{0\,i}L_{\text{я}\,i}\rho_0\,(t_{\text{о.н}})\,W_{\text{о.н}}L_{\text{я1}}], \quad (161)$$

где $W_{\text{о.н}}$ — нижнее значение скорости воды в трубках калориферов, принимаемое 0,3 м/с.

8. Максимальное число колонн в блоке

$$N_{\text{к max}} = \left[\frac{Q_1}{L_{\text{к min}}N_{\text{к min}}L_{\text{я1}}1{,}163F_{ti}A_{1i}\psi_{\text{с}}\Delta t_{\text{ср.лог}_1}\times}\right.$$

$$\left.\times\frac{Q_1}{\left(\frac{G_{\text{ву}}}{L_{\text{к min}}N_{\text{к min}}L_{\text{я1}}S_{\text{в1}}}\right)^{A_{2i}}\left(\frac{G_{\text{о.р}}}{L_{\text{к min}}L_{\text{я1}}S_{01}\rho_0\,(t_{\text{о.н}},\,t_{\text{о.к}})}\right)^{A_{3i}}}\right]^{\frac{1}{1-A_{2i}}} + 1, \quad (162)$$

где $\rho_0\,(t_{\text{о.н}},\ t_{\text{о.к}})$ — среднеинтегральная плотность воды в гидравлическом тракте калориферной установки в расчетном режиме, вычисляемая для интервала температур ($t_{\text{о.н}}$, $t_{\text{о.к}}$) по формуле (62); $N_{\text{к min}}$ — минимально возможное число калориферов в одной колонне, принимаемое 1.

9. Начальное значение температуры воздуха в стволе и число калориферов в компоновке путем присвоения: $N_{\text{у.н}} = 1000$; $t_{\text{ст}} = t_{\text{ст.н}}$, где $N_{\text{у.н}}$ — начальное значение числа калориферов в установке, используемое при сравнении двух альтернативных вариантов.

10. Начальное значение числа блоков в ярусе путем присвоения ($L_{\text{к}} = L_{\text{к min}}$).

11. Начальное значение числа калориферов в колонне путем присвоения ($N_{\text{к}} = N_{\text{к max}}$).

12. Начальное значение числа колонн в блоке путем присвоения ($M_{\text{к}} = 1$).

13. Фактическое число калориферов в компоновке путем присвоения ($N_{\text{у}} = L_{\text{к}}L_{\text{я}}M_{\text{к}}N_{\text{к}}$).

14. Если $N_{\text{у min}} < N_{\text{у}} < N_{\text{у max}}$, то выполнить действие 15. Иначе — перейти к выполнению действия 23.

15. Фактическая массовая скорость воздуха [кг/(с·м^2)] через калориферы

$$V_{\text{в}} = \frac{G_{\text{в.у}}}{N_{\text{у}}S_{\text{в}\,i}}. \quad (163)$$

16. Фактическая скорость воды (м/с) в трубках калориферов

$$w_0 = \frac{D_{\text{о.р}}}{\rho_0\,(t_{\text{о.н}},\ t_{\text{о.к}})\,S_{0i}L_{\text{к}}L_{\text{я}}}, \qquad (164)$$

где $\rho_0\,(t_{\text{о.н}},\ t_{\text{о.к}})$ — среднеинтегральная плотность воды в калориферах на интервале температур $(t_{\text{о.н}},\ t_{\text{о.к}})$, вычисляемая по формуле (62).

17. Фактический коэффициент теплопередачи [Вт/(м^2·°С)]

$$K_t = 1{,}136A_{1i}V_{\text{в}}^{A2i}w^{A3i}. \qquad (165)$$

18. Фактическая температура воды на выходе из калориферов $t_{\text{о.к.ф}}$ по формулам (114) и (115). При расчете температуры использовать среднюю теплоемкость воды $c_0\,(t_{\text{о.н}},\ t_{\text{о.к}})$ на интервале температур $(t_{\text{о.н}},\ t_{\text{о.к}})$ и среднюю теплоемкость воздуха на интервале $(t_{\text{в.н}},\ t_{\text{в.к}})$.

19. Фактическая температура воздуха на выходе из калориферов $t_{\text{в.к.ф}}$ по формулам (114) и (115).

20. Фактическая температура воздуха в стволе по формуле (139) с использованием итерационной схемы, описанной при вычислении $t_{\text{в.к1}}$ в 5.2.2.

21. Присвоить начальное значение числа резервных блоков $(L_{\text{рез}} = 0)$.

22. Если $t_{\text{о.к.н}} < t_{\text{о.к.ф}} < t_{\text{о.к.в}}$, то выполнить действие 23. Иначе выполнить действие 31. Здесь $t_{\text{о.к.в}} = +70\,°\text{C}$; $t_{\text{о.к.н}} = +65\,°\text{C}$.

23. Если $t_{\text{ст.ф}} < t_{\text{ст.н}}$, то скорректировать минимально допустимое число калориферов в компоновке путем присвоения

$$N_{\text{у min}} = \frac{Q_1}{\Delta t_{\text{ср.лог1}}\psi_{\text{с}}F_{t\,\text{к}}K_t} \qquad (166)$$

и перейти к выполнению действия 32. Иначе — перейти к действию 24.

24. Если $t_{\text{ст.ф}} > t_{\text{ст.в}}$, то скорректировать максимально допустимое число калориферов в компоновке путем присвоения:

$$N_{\text{у max}} = \frac{Q_2}{\Delta t_{\text{ср.лог2}}\psi_{\text{с}}F_{t\,\text{к}}K_t} \qquad (167)$$

и перейти к действию 25. Иначе — перейти к действию 32.

25. Коэффициент готовности $K_{\text{г.к1}}$ i-ой компоновки по формулам (168)—(175).

26. Если $K_{\text{г.н}} < K_{\text{г.к1}} < K_{\text{г.в}}$, то перейти к выполнению действия 29. Иначе — перейти к действию 27. Здесь $K_{\text{г.в}} = 0{,}95$, $K_{\text{г.н}} = 0{,}85$.

27. Ввести резервный блок путем присвоения $(L_{\text{рез}} = L_{\text{рез}} + 1)$ и вычислить коэффициент готовности $K_{\text{г.к2}}$ по формуле (168).

28. Если $K_{\text{г.н}} < K_{\text{г.к2}} < K_{\text{г.в}}$, то перейти к выполнению действия 29. Иначе — перейти к действию 27.

29. Если $N_{\text{у}} > N_{\text{у.н}}$, то перейти к действию 32, иначе — перейти к действию 30.

30. Если $N_{\text{у}} = N_{\text{у.н}}$ и $t_{\text{ст.ф}} \leqslant t_{\text{ст}}$, то перейти к действию 32. Иначе — перейти к действию 31.

31. Считать i-ую компоновку допустимой и зафиксировать все ее компоновочные переменные: $N_{к\,i}$, $M_{к\,i}$, $L_{к\,i}$, $L_{я\,i}$, $L_{рез\,i}$.

32. Увеличить на единицу число колонн в блоке путем присвоения ($M_к = M_к + 1$).

33. Если $M_к \leqslant M_{к\,max}$, то перейти к выполнению действия 13. Иначе — перейти к выполнению действия 34.

34. Уменьшить на единицу число калориферов в колонне путем присвоения ($N_к = N_к - 1$).

35. Если $N_к = 0$, то перейти к выполнению действия 36. Иначе перейти к выполнению действия 12.

36. Увеличить на единицу число блоков в ярусе ($L_к = L_к + 1$).

37. Если $L_к \leqslant L_{к\,max}$, то перейти к выполнению действия 38. Иначе — перейти к выполнению действия 11.

38. Увеличить на единицу число ярусов в компоновке ($L_я = L_я + 1$).

39. Если $L_я > L_{я\,max}$, то закончить процесс поиска допустимой компоновки. Иначе — перейти к выполнению действия 5.

Для снижения трудоемкости расчетов по оптимизации компоновки на основе приведенного здесь алгоритма разработана программа для ЕС ЭВМ (см. приложение 3).

5. 2. 4. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ КОМПОНОВКИ КАЛОРИФЕРОВ

Коэффициент готовности компоновки является количественной мерой ее надежности и определяется в процессе расчета надежности технологических схем калориферных установок [31—35]. Коэффициент готовности компоновки, состоящей из L работающих и $L_{рез}$ резервных блоков, определяется выражением

$$K_{г.к2} = K_{г.к1} + \sum_{j=0}^{L_{рез}-1} \frac{L!}{(L_{рез}-j)!\,(L-(L_{рез}-j))!} K_{г.62}^{(L_{рез}-j)} K_{г.61}, \quad (168)$$

где $K_{г.61}$, $K_{г.62}$, $K_{г.к1}$ — коэффициенты готовности соответственно работающего и резервного блоков калориферов, а также компоновки из L работающих блоков:

$$K_{г.к1} = (K_{61})^L; \quad (169)$$

$$K_{г.61} = K_{г1.1} K_{г2.1} K_{г6.1}; \quad (170)$$

$$K_{г.62} = K_{г1.2} K_{г2.2} K_{г6.2}; \quad (171)$$

$$K_{г6.1} = K_{г6.2} = \left(\frac{l_{вс.к2}}{l_{вс.к2} + l_{от.к2}}\right)^{(N_к M_к)} \left(\frac{l_{вс.в4}}{l_{вс.в4} + l_{от.в4}}\right)^2; \quad (172)$$

$$K_{г2.1} = K_{г2.2} = \left(\frac{l_{вс.к1}}{l_{вс.к1} + l_{от.к1}}\right)^{(N_к M_к)} \left(\frac{l_{вс.в1}}{l_{вс.в1} + l_{от.в1}}\right)^2, \quad (173)$$

$$K_{г1.1} = \left(\frac{l_{вс.к2}}{l_{вс.к2} + l_{от.в2}}\right)^{(N_к M_к)} \left(\frac{l_{вс.в2}}{l_{вс.в2} + l_{от.в2}}\right)^2 \left(\frac{l_{вс.в4}}{l_{вс.в4} + l_{от.в4}}\right)^2; \quad (174)$$

$$K_{г1.2} = \left(\frac{I_{вс.к2}}{I_{вс.к2} + I_{от.к2}}\right)^{(N_к M_к)} \left(\frac{I_{вс.в3}}{I_{вс.в3} + I_{от.в3}}\right)^2 \left(\frac{I_{вс.в4}}{I_{вс.в4} + I_{от.в4}}\right)^2, \quad (175)$$

где $I_{вс.к\,i}$, $I_{вс.в\,i}$, $I_{от.к\,i}$, $I_{от.в\,i}$ — интенсивность потоков восстановлений и отказов калорифера и вентиля i-го типа.

Для калорифера учитываются отказы следующих типов, 1) нарушение герметичности трубок и коллекторов, т. е. $I_{от.к1} = (1{,}157 \div 1{,}736) \cdot 10^{-4}$, 1/ч; $I_{вс.к1} = (8{,}333 \cdot 10^{-2} \div 1{,}428) \cdot 10^{-1}$, 1/ч, 2) резкое уменьшение входного сечения при попадании твердых включений, т. е. $I_{от.к2} = (2{,}131 \div 4{,}281) \cdot 10^{-5}$, 1/ч; $I_{вс.к2} = (8{,}333 \cdot 10^{-2} \div 1{,}428) \cdot 10^{-1}$.

Для вентиля учитываются отказы следующих типов: 1) нарушение герметичности корпуса, т. е. $I_{от.в1} = (1{,}373 \div 4{,}523) \cdot 10^{-6}$, 1/ч; $I_{вс.в1} = (1{,}666 \div 3{,}333) \cdot 10^{-1}$, 1/ч; 2) заклинивание затвора в положении «Открыто», т. е. $I_{от.в2} = (1{,}929 \div 2{,}893) \cdot 10^{-5}$, 1/ч; $I_{вс.в2} = 8{,}333 \cdot 10^{-2} \div 2{,}0 \cdot 10^{-1}$; 3) заклинивание затвора в положении «Закрыто», т. е. $I_{отв.3} = (1{,}929 \div 2{,}893) \cdot 10^{-5}$, 1/ч; $I_{вс.в3} = 8{,}333 \cdot 10^{-2} \div 2{,}0 \cdot 10^{-1}$, 1/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сборник* директивных материалов по эксплуатации энергосистем (теплотехническая часть). М., Энергоиздат, 1981.

2. *Инструкция* по эксплуатации тепловых сетей / М. М. Апарцев, Э. Д. Каминская, Я. И. Каплинский, и др. М. Энергия, 1972.

3. *Громов Н. К.* Абонентские устройства водяных тепловых сетей (проектирование и эксплуатация). М., Энергия, 1979.

4. *Справочник* по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей / В. И. Маслюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др. М., Стройиздат, 1977.

5. *Наладка* и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие / Б. А. Журавлев, Г. Я. Загальский, Р. Н. Гобза и др. М., Стройиздат, 1980.

6. *Руководство* по проектированию вентиляции угольных шахт / А. М. Карпов, М. А. Патрушев, А. А. Мясников и др. М., Недра, 1975.

7. *Карасев Н. И.* Метод генерации вариантов технологических структур систем централизованного теплоснабжения.— В сб.: Механизация и автоматизация производственных процессов угледобывающей промышленности, вып. VII. Караганда, 1978, с. 110—114.

8. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Математическая теория надежности. М., Советское радио, 1969.

9. *Основы* технической диагностики. Кн. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / В. В. Карибский, П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян и др. М., Энергия, 1976.

10. *Абрамов Ф. А., Милетич А. Ф., Стрейманн В. Э.* Инструментальные средства и методы депрессионных съемок шахт.— М., Недра, 1974.

11. *Справочник* по теплоснабжению и вентиляции. Отопление и теплоснабжение / Р. В. Щекин, С. М. Кореневский, Г. Е. Бем и др. Киев, Будівельник, 1968.

12. *Клименко А. П., Каневец Г. Е.* Расчет теплообменных аппаратов на электронных вычислительных машинах. М.— Л., Энергия, 1966.

13. *Соколов Е. Я.* Теплофикация и тепловые сети. М., Энергия, 1975.

14. *Зингер Н. М.* Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М., Энергия, 1976.

15. *Ривкин С. Л., Александров А. А.* Термодинамические свойства воды и водяного пара.— М., Энергия, 1975.

16. *Карасев Н. И., Пасюта И. И., Демченко Г. М.* Моделирование теплофизических параметров энергоносителей в задачах машинного проектирования систем теплоснабжения шахт.— В сб.: Механизация и автоматизация производственных процессов угледобывающей промышленности. Вып. III. Караганда, 1974, с. 252—257.

17. *Черкасский В. М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры. М., Энергия, 1977.

18. *Руководство* по ревизии и наладке главных вентиляторных установок / А. С. Гофман, И. С. Меламед, И. Т. Цуцык и др. М., Недра, 1981.

19. *Монтаж* вентиляционных систем / Б. А. Блюменкранц, А. С. Павлов, О. С. Панкратов и др. М., Стройиздат, 1978.

20. *Бурчаков А. С., Мустель П. И., Ушаков К. З.* Рудничная аэрология. М., Недра, 1971.

21. *Горное дело.* Энциклопедический справочник. Том VI. Рудничная атмосфера и вентиляция. Борьба с пылью, газами и пожарами. Горноспасательное дело / Ф. А. Абрамов, В. Я. Балтайтис, Л. И. Барон и др. М., Углетехиздат, 1959.

22. *Хазанов И. С.* Эксплуатация и ремонт вентиляционных установок машиностроительных заводов. М., Машиностроение, 1968.

23. *Шастин В. Н.* Справочник по ремонту котлов и вспомогательного котельного оборудования. М., Энергоиздат, 1981.

24. *Дуров В. С., Рахмилевич З. З., Черняк Л. С.* Эксплуатация и ремонт компрессоров и насосов. М., Химия, 1980.

25. *Карасев Н. И., Пасюта И. И.* Имитационное моделирование статических стационарных режимов теплоэнергетических объектов систем теплоснабжения шахт. В сб.: Механизация и автоматизация производственных процессов горнодобывающей промышленности, вып. VI. Караганда, 1977, с. 126—129.

26. *Карасев Н. И., Байжанов С. С.* Машинная оптимизация технологической структуры воздухонагревательной установки угольных шахт.— В сб.: Механизация и автоматизация производственных процессов горнодобывающей промышленности, вып. IV. Караганда, 1975, с. 169—173.

27. *Якоб М.* Вопросы теплопередачи. М., Издательство иностранной литературы, 1960.

28. *Михеев М. А., Михеева И. М.* Основы теплопередачи. М., Энергия, 1977.

29. *Карасев Н. И., Пасюта И. И., Демченко Г. М.* Алгоритм идентификации статических характеристик шахтных воздухонагревательных установок.— Изв. вузов. Горный журнал, 1973, № 1, с. 132—137.

30. *Интеративный* алгоритм расчета статических характеристик водоподогревательных установок систем теплоснабжения шахт / Н. И. Карасев, И. А. Пасюта, Г. М. Демченко и др.— Изв. вузов. Горный журнал, 1973, № 4, с. 132—136.

31. *Карасев Н. И., Байжанов С. С., Файнберг А. Д.* Логико-вероятностная модель надежности технологических структур воздухонагревательных установок угольных и горнорудных предприятий.— В сб.: Механизация и автоматизация производственных процессов, вып. VII. Караганда, 1978, с. 105—110.

32. *Фель Ю. И., Фомичев М. М., Шерстобитов И. В.* Расчет надежности тепловых схем ТЭЦ.— Изв. вузов. Энергетика, 1977, № 2 с. 73—78.

33. *Методика* выбора показателей для оценки надежности сложных технических систем. М., Издательство стандартов, 1972.

34. *Дружинин Г. В.* Надежность автоматизированных систем. М., Энергия, 1977.

35. *Сборник* задач по теории надежности / А. М. Половко, И. М. Маликов, А. Н. Жигарев и др. М., Советское радио, 1972.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация 146
1. Введение 147
2. Технологическая схема и проектная характеристика калориферной установки 147
3. Внешний осмотр тепломеханического оборудования калориферной установки 149
4. Результаты технической диагностики воздушного тракта 149
5. Результаты технической диагностики технологической схемы 151
6. Анализ состояния калориферной установки 166

АННОТАЦИЯ

В отчете приведены результаты технической диагностики аэродинамического тракта и технологической схемы калориферной установки центрального клетевого ствола шахты «Сокурская», рассчитаны фактические показатели качества и произведен анализ состояния технологической схемы. Разработаны ремонтно-наладочные мероприятия, направленные на улучшение качества функционирования калориферной установки.

Работа проводилась согласно графику технического обслуживания с периодическим контролем, утвержденному главным механиком п/о Карагандауголь.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Министерство угольной промышленности СССР
производственное объединение по добыче угля
Карагандауголь

УПРАВЛЕНИЕ СПЕЦШАХТОМОНТАЖ

УТВЕРЖДАЮ
Главный механик п/о по добыче угля
Карагандауголь

«_____» _____ 1982 г.

ОТЧЕТ
ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КЛЕТЕВОГО СТВОЛА ШАХТЫ «СОКУРСКАЯ»

Главный инженер наладочного филиала управления Спецшахтомонтаж

Начальник участка наладки шахтных энергетических установок

Руководитель работ

КАРАГАНДА — 1982

1. ВВЕДЕНИЕ

Целью технической диагностики технологической схемы калориферной установки, которая проводилась согласно графику технического обслуживания в период с 8 по 26 февраля 1982 г., было установление технического состояния оборудования воздушного тракта и тепломеханического оборудования гидравлического тракта, определение показателей качества технологической схемы, их соответствия допустимым нормам и принятие на этой основе решений по выполнению ремонтно-наладочных работ, реализация которых позволила поддерживать температуру воздуха в стволе в пределах +2 до+5 °С при любой возможной температуре атмосферного воздуха.

Выполнение технической диагностики технологической схемы КУ необходимо для определения фактических значений показателей качества технологической схемы после монтажа и объема ремонтно-наладочных работ.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ПРОЕКТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Калориферная установка центрального клетевого ствола шахты «Сокурская» спроектирована институтом Карагандагипрошахт Минуглепрома СССР в 1965 г. Строительно-монтажные работы были выполнены ШСУ-1 треста Карагандауглестрой в 1966 г.

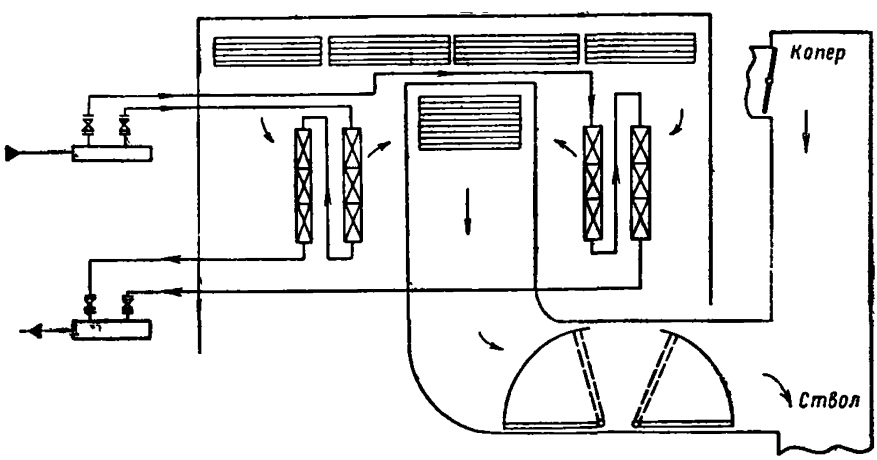

Рис. П1.1 Схема воздушного тракта калориферной установки центрального клетевого ствола шахты «Сокурская»

В связи с переходом с теплоносителя пара на воду наладочный персонал управления Спецшахтомонтаж в 1981 г. произвел расчеты и выдал новое компоновочное решение по калориферной установке. Монтаж калориферной установки по расчетной схеме был выполнен ШСУ-1 в 1981 г.

На рис. П1.1 показана существующая схема воздушного тракта калориферной установки центрального клетевого ствола шахты «Сокурская», а на рис. П1.2 — технологическая схема гидравлического тракта той же калориферной установки. Установлено 24 калорифера КВБ-11П и 18 калориферов КСК4-12,

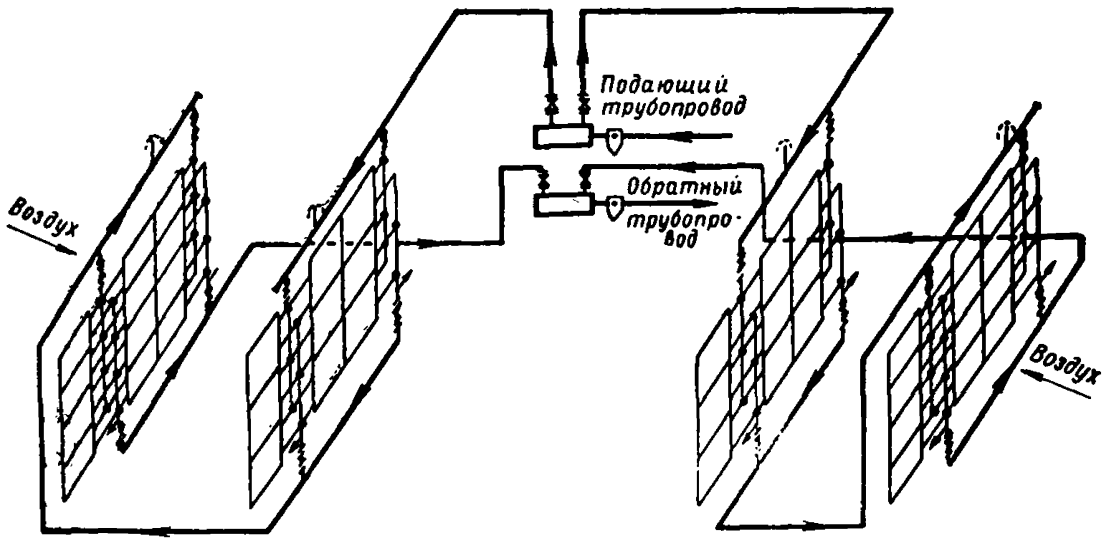

Рис. П1.2. Технологическая схема гидравлического тракта калориферной установки центрального клетевого ствола шахты «Сокурская»

В табл. П1.1 приведена спецификация основного тепломеханического оборудования, а ниже даны технико-экономические показатели работы и конструктивно-компоновочные параметры калориферной установки.

Расчетные технико-экономические показатели работы установки

Расчетная температура наружного воздуха, °С	—49
Расчетный массовый расход воды, кг/с	44,0
Расчетная температура воды в подающем трубопроводе, °С	+110
То же, в обратном трубопроводе, °С	+70
Скорость воды в трубках калориферов, м/с	0,59/0,47*
Массовый расчетный расход воздуха через ствол, кг/с	141,7
То же, через калориферы, кг/с	113,36
Потеря давления, Па:	
на воздухозаборных решетках	30
на калориферах	20
на регулирующих клапанах смесительной камеры	40
в вентиляционном канале	180
Требуемая теплопроизводительность в расчетном режиме, кВт	7243,9
Установленная тепловая мощность, кВт	9092,0

* В числителе для калориферов КВБ-11П, в знаменателе — для КСК-4-12.

Конструктивно-компоновочные параметры калориферной установки

Общая поверхность нагрева калориферов, м²	4744,48
Число калориферов в колонне	1
То же, колонн в блоке	1
» ярусов в первом ряду	4
» ярусов во втором ряду	3
» рядов	2
» блоков в ярусах первого ряда	6
» блоков в ярусах второго ряда	6
Суммарное живое сечение для прохода воздуха, м²	20,796/18,844*
То же, воды, м²	0,0744/0,09288*
Живое сечение воздухозаборных проемов, м²	20
То же, дроссельных клапанов смесительной камеры в открытом положении по воздуху, м²:	
горячему	26,224
холодному	18,2
Сечение вентиляционного канала, м²	8,5
Конструктивные параметры калориферов:	
поверхность нагрева, м²	95,63/136,02*
живое сечение по воздуху, м²	0,8665/1,0469*
живое сечение по воде, м²	0,0031/0,00516*
число ходов воды	4/4*

* В числителе для калориферов КВБ-11П, в з наменателе — для КСК-4-12.

Таблица П1.1

Спецификация основного тепломеханического оборудования

Наименование оборудования	Тип или марка	Число
Калорифер четырехходовой	КВБ-11П	24
То же	КСК-4-12	18
Задвижка клиновая с выдвижным шпинделем $Д_у = 200$ мм	30ч6бр	2
То же, $Д_у = 150$ мм	30ч6бр	4
» $Д_у = 50$ мм	30ч6бр	16
Вентиль для дренажа воды, $Д_у = 50$ мм	15кч18п	4
Воздухоотводные вентили, $Д_у = 25$ мм	15кч18п	4
Клапан копра размером 1,56×3,8 м	Нестандартный	1
Клапан смесительной камеры размером:		
0,39×4,4 м	Нестандартный	12
0,16×4,4 м		4
Противопожарная ляда размером 3,4×2,5 м	Нестандартная	1
Привод противопожарной ляды	ЛРУ-4	1
Воздухозаборные решетки размером 7,5×1,2 м	Нестандартные	2

3. ВНЕШНИЙ ОСМОТР ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Внешний осмотр производится в целях определения фактического состояния тепломеханического оборудования, выявления недопустимых отклонений от проектных и технических требований, препятствующих проведению технической диагностики, и разработки предложений по устранению недопустимых отклонений.

В табл. П1.2 приведена ведомость технического состояния тепломеханического оборудования.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА

Измерения параметров воздуха на участках калориферной установки и обработка результатов производились в соответствии с методикой, разработанной КарПИ и управлением Спецшахтомонтаж п/о Карагандауголь.

При производстве работ были применены: анемометры АСО-3 № 4617 и № 5177; анемометры МС-13 № 3504 и № 3329; мост автоматической с двенадцатью датчиками типа КВМ1-509 №021915. Результаты первичных измерений и результаты обработки измеренных параметров приведены также в содержательной и табличной (табл. П1.3—П1.11) форме. Обобщение результата диагностики приведены в табл. П1.12.

Результаты обработки измерений параметров воздуха, проходящего через калориферы

Наименование параметра и его обозначение	Числовое значение
Площадь фронтального сечения калориферов, м²	44,92
Средняя скорость воздуха за калориферами, м/с	0,722
Средняя температура воздуха за калориферами, °С	39,18
Массовый расход воздуха через калориферы, кг/с	35,0826
Абсолютное значение погрешности измерения:	
массового расхода, кг/с	7,20203
средней температуры воздуха за калориферами, °С	0,1792
Относительная погрешность измерения, %:	
массового расхода	20,52
средней температуры за калориферами	0,443

Таблица П1.2

Ведомость состояния тепломеханического оборудования калориферной установки центрального клетевого ствола шахты «Сокурская» п/о Карагандауголь

Наименование, типоразмер, основные характеристики тепломеханического оборудования, смонтированного с отклонениями от проекта и технических требований	Характер отклонения	Предложения по устранению недопустимых отклонений от проекта или технических требований	Исполнители
Исполнительный механизм регулирующего клапана смесительной камеры типа МЭО	Исполнительный механизм не смонтирован	Смонтировать исполнительный механизм	ШСУ-1
Исполнительный механизм клапана копра типа МЭО	То же	То же	
Средства герметизации надшахтного здания	Недопустимые подсосы холодного воздуха через копер и проходную галерею к зданию ламповой	Устранить подсосы холодного воздуха через неплотности копра. В галерее ламповой установить шлюзовую перемычку	Шахта «Сокурская»
Уплотнения между рядами калориферов	Верхний проем между рядами калориферов не закрыт	Уплотнить верхний проем между рядами калориферов листовым железом толщиной 1,5 мм	ШСУ-1

Главный механик шахты «Сокурская» *Б. Сахаров*
Начальник участка ШСУ-1 *В. Иванов*
Инженер-наладчик управления Спецшахтомонтаж *К. Савин*

Результаты обработки измерений параметров воздуха, проходящего через вентиляционный канал

Площадь проходного сечения вентиляционного канала, м²	8,5
Средняя скорость воздуха в проходном сечении канала, м³/с	5,5
Средняя температура в вентиляционном канале °С	15,0
Массовый расход воздуха, кг/с	55,1308
Абсолютное значение погрешности измерения:	
массового расхода, кг/с	4,49388
средней температуры, °С	0,07495
Относительная погрешность измерения, %:	
массового расхода	8,1513
средней температуры	0,4996

Результаты обработки измерений параметров воздуха, проходящего через дроссельный клапан смесительной камеры

Площадь проходного сечения клапана по ходу нагретого воздуха, м²	26,224
Средняя скорость воздуха в проходном сечении, м/с	1,182
Средняя температура воздуха, проходящего через клапан, °С	29,84
Массовый расход воздуха, кг/с	34,3471
Абсолютное значение погрешности измерения:	
массового расхода, кг/с	5,13754
средней температуры воздуха, °С	0,5439
Относительная погрешность измерения, %:	
массового расхода	14,96
средней температуры	1,82

Результаты измерений перепадов давления (Па) на участках воздушного тракта

Атмосфера — воздухозаборная решетка	19,6
Атмосфера — выходное сечение калориферов	29,4
Атмосфера — входное сечение дроссельных клапанов смесительной камеры	58,8
Атмосфера — входное сечение вентиляционного канала	88,2
Атмосфера — выходное сечение вентиляционного канала	235,2

Результаты обработки измерений параметров воздуха, проходящего через клапан копра

Площадь проходного сечения клапана копра, м²	5,928
Средняя скорость воздуха в проходном сечении, м/с	3,56
Средняя температура воздуха, проходящего через клапан, °С	26,24
Массовый расход воздуха, кг/с	23,5086
Абсолютное значение погрешности измерения:	
массового расхода, кг/с	22,0319
средней температуры, °С	0,14388
Относительная погрешность измерения, %:	
массового расхода	9,372
средней температуры	0,548

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Измерения параметров теплоносителя на участках технологической схемы калориферной установки и обработка результатов производились в соответствии с методикой, разработанной КарПИ и управлением Спецшахтомонтаж п/о Карагандауголь.

При производстве измерений были применены: манометры образцовые МО-160 (0-1МПа) № 26742 и № 34258; мост автоматический самопишущий двенадцатиточечный типа КСМ № 14287; комплект расходомера со вторичным прибором типа КСД (0—250 м³/ч) № 04452; термометры палочные (от —30 до +70, от 0 до 150 и от 0 до 100 °С).

Результаты первичных измерений и результаты обработки параметров технологической схемы приведены ниже в содержательной форме, а обобщенные результаты технической диагностики технологической схемы — в табл. П.1.13.

Таблица П1.3

Результаты измерения параметров технологической схемы при диагностике воздушного тракта на участке «Калориферы»

№ калорифера	№ измерения	Число делений анемометра N_i	Среднее число делений анемометра $N_{ср}$	Площадь фронтального сечения $S_ф$, м²	Температура воздуха во фронтальном сечении, °С				Температура атмосферного воздуха $t_{вн}$, °С	Показания барометра $P_{бар}$, кПа	Гидравлический тракт				
					t_1	t_2	t_3	t_4			Расход G, кг/с	Температура, °С		Давление, МПа	
												$t_{он}$	$t_{ок}$	P_1	P_2
111	1	1,3			26	24	22	20							
	2	1,23	1,3		23	21	13	17	—14	—	—	68	59	0,51	0,44
	3	1,31			23	21	13	17							
121	1	1,3			24	22	20	18							
	2	1,1	1,16		23	21	20	17	—14			68	59	0,51	0,44
	3	1,1			24	21	20	18							
131	1	0,9			32	30	28	27							
	2	0,9	0,91		32	31	29	27	—14			67	58	0,48	0,41
	3	1,0			31	30	28	26							
112	1	2,1			28	27	25	24							
	2	2,1	2,03		28	27	26	24	—14			67	58	0,55	0,48
	3	1,9			29	28	27	24							
122	1	1,7			34	33	31	29							
	2	1,8	1,7	2,495	34	32	31	29	—13	97,058	44,44	67	58	0,54	0,47
	3	1,8			35	33	31	29							
132	1	1,9			30	29	27	26							
	2	1,8	1,8		31	29	27	26	—13			67	58	0,52	0,45
	3	1,7			31	29	28	27							
113	1	1,1			29	27	26	25							
	2	1,1	1,1		29	28	26	25	—12			67	58	0,50	0,43
	3	1,1			28	27	26	24							
123	1	0,9			30	29	28	26							
	2	1,0	0,96		31	30	28	27	—12			67	58	0,55	0,48
	3	1,0			31	29	27	26							
133	1	1,0			24	22	21	20							
	2	1,0	1,0		24	22	21	20	—11			66	57	0,53	0,46
	3	1,0			25	24	22	21							
211	1	0,8			59	56	54	52							
	2	0,6	0,7		60	57	54	52	—12			68	59	0,49	0,42
	3	0,8			60	57	54	52							
221	1	0,7			60	56	54	51							
	2	0,7	0,7		61	57	54	50	—12			68	59	0,48	0,41
	3	0,7			61	58	53	50							
231	1	1,0			61	58	56	51							
	2	1,1	1,06		62	58	56	52	—12			68	59	0,55	0,48
	3	1,1			62	58	55	51							
212	1	1,4			62	57	54	50							
	2	1,45	1,41		62	58	54	51	—12			66	57	0,53	0,46
	3	1,4			63	58	54	50							
222	1	1,35			60	57	54	50							
	2	1,35	1,33	2,495	59	56	54	52	—11	97,058	44,445	66	57	0,50	0,43
	3	1,3			59	56	53	51							
232	1	1,6			62	58	54	50							
	2	1,65	1,63		63	59	55	52	—10			66	57	0,48	0,41
	3	1,65			63	59	56	52							
213	1	1,8			56	53	50	47							
	2	1,8	1,81		57	54	51	47	—10			67	58	0,54	0,47
	3	1,85			57	54	51	47							
223	1	1,95			58	54	51	49							
	2	1,9	1,91		59	55	52	49	—10			67	58	0,52	0,45
	3	1,9			59	56	52	49							
233	1	1,7			66	60	58	54							
	2	1,75	1,73		64	60	57	54	—10			67	58	0,49	0,42
	3	1,75			64	60	57	54							

Таблица П1.1

Результаты измерения параметров технологической схемы при диагностике воздушного тракта на участке «Воздуховод копра»

№ единичного сечения	№ измерения	Число делений анемометра N_i	Среднее число делений анемометра $N_{ср}$	Средняя скорость $V_{ср}$, м/с	Площадь единичного сечения S, м²	Температура в единичном сечении t_i, °С	Средняя температура в единичном сечении $t_{ср}$, °С	Показания барометра $P_{бар}$, кПа	Гидравлический тракт					Температура атмосферного воздуха $t_{в.н}$, °С
									Расход G, кг/с	Температура, °С		Давление, МПа		
										$t_{о.н}$	$t_{о.к}$	P_1	P_2	
1	1 2 3	7,4 7,6 7,5	7,5	2,9	0,975	24 25 25	24,6			78	65	0,55	0,47	—21
2	1 2 3	6,7 6,7 6,8	6,7	2,6	1,014	28 27 28,5	27,8			78	65	0,51	0,43	—20
3	1 2 3	5,6 5,9 5,7	5,7	2,2	0,975	31 30 29	30,0	96,98	49,8	78	65	0,53	0,45	—20
4	1 2 3	14,0 14,1 14,1	14,1	5,1	0,975	24 24 23	23,6			78	65	0,48	0,40	—20
5	1 2 3	12,1 12,0 12,0	12,0	4,45	1,014	26 26 25	25,6			78	65	0,55	0,47	—20
6	1 2 3	10,1 10,1 10,0	10,1	3,8	0,975	29 29 28	28,6			78	65	0,51	0,43	—20

Таблица П1.5

Результаты измерения параметров технологической схемы при диагностике воздушного тракта на участке «Дроссельный клапан»

№ единичного сечения	№ измерения	Число делений анемометра			Площадь единичного сечения $S_{в_i}$, м²	Температура воздуха в единичном сечении, °С			Температура атмосферного воздуха $t_{в.н}$, °С	Показания барометра $P_{бар}$, кПа	Гидравлический тракт				
		N_1	N_2	$N_{ср}$		t_1	t_2	t_3			Расход G, кг/с	Температура, °С		Давление, МПа	
												$t_{о.н}$	$t_{о.к}$	P_1	P_2
111	1	1,4	1,4	1,4	0,704	50	51	42	—15			69	58	0,49	0,41
	2	1,45	1,4			48	46	40							
	3	1,4	1,35			47	45	41							
112	1	2,8	2,75	2,8	0,704	10	2	—6	—15			69	58	0,49	0,41
	2	2,8	2,85			6	—2	—6							
	3	2,8	2,8			7	0	—4							
121	1	0,8	0,8	0,8	1,716	42	40	38	—15			69	58	0,48	0,40
	2	0,8	0,8			41	40	37							
	3	0,8	0,8			43	41	37							
122	1	5,9	6,0	5,97	1,716	26	29	29	—15			68	57	0,55	0,47
	2	6,0	6,0			26	28	29							
	3	5,9	6,0			27	29	29							
131	1	2,5	2,3	2,4	1,716	29	29	32	—14	96,98	49,8	68	57	0,55	0,47
	2	2,5	2,3			28	29	33							
	3	2,5	2,3			28	29	33							
132	1	5,0	4,7	4,8	1,716	27	28	31	—14			68	57	0,52	0,44
	2	5,0	4,7			27	28	31							
	3	5,0	4,7			28	29	31							
141	1	1,1	0,8	1,1	1,716	25	27	29	—14			67	56	0,51	0,43
	2	1,1	0,9			25	27	29							
	3	1,1	0,9			24	27	29							
142	1	2,9	2,7	2,8	1,716	23	24	27	—14			67	56	0,55	0,47
	2	2,9	2,7			23	25	27							
	3	3,0	2,7			22	24	27							
151	1	3,2	3,0	3,0	0,704	28	29	34	—13			67	56	0,52	0,44
	2	3,0	2,9			27	29	33							
	3	3,1	3,0			27	28	33							

Продолжение табл. П1.5

№ единичного сечения	№ измерения	Число делений анемометра			Площадь единичного сечения S_{Bi}, м²	Температура воздуха в единичном сечении, °С			Температура атмосферного воздуха $t_{в.н}$ °С	Показания барометра $P_{бар}$, Кпа	Гидравлический тракт				
		N_1	N_2	$N_{ср}$							Расход G, кг/с	Температура °С		Давление, МПа	
												$t_{о.н}$	$t_{о.к}$	P_1	P_2
152	1	1,6	1,3	1,4	0,704	28	28	31	—13			67	56	0,50	0,42
	2	1,6	1,3			28	28	31							
	3	1,5	1,3			28	28	31							
211	1	4,1	4,0	4,0	0,704	28	26	27	—13			67	56	0,54	0,46
	2	4,0	4,0			27	29	28							
	3	4,0	3,9			29	30	27							
212	1	6,9	7,0	7,0	0,704	35	36	34	—13			67	56	0,54	0,46
	2	6,9	7,1			33	32	36							
	3	6,9	7,1			34	31	37							
221	1	3,4	3,2	3,3	1,716	33	34	35	—12			67	56	0,53	0,45
	2	3,4	3,3			32	33	32							
	3	3,4	3,2			31	32	31							
222	1	1,7	1,4	1,5	1,716	30	29	34	—12			67	56	0,51	0,43
	2	1,7	1,3			34	28	36							
	3	1,7	1,3			32	27	34							
231	1	2,1	2,0	2,0	1,716	28	27	32	—12			66	55	0,49	0,41
	2	2,0	2,0			30	29	28							
	3	2,0	2,0			32	30	30							
232	1	1,6	1,2	1,4	1,716	27	28	30	—12	96,98	49,8	66	55	0,55	0,47
	2	1,6	1,2			26	27	34							
	3	1,5	1,2			27	29	32							
241	1	1,4	1,2	1,3	1,716	28	29	26							
	2	1,3	1,2			29	28	27	—11			66	54	0,55	0,47
	3	1,2	1,5			28	27	29							
242	1	2,4	2,5			35	34	35							
	2	2,3	2,4	2,4	1,716	34	35	37	—11			65	55	0,53	0,45
	3	2,2	2,6			36	37	39							
251	1	0,8	1,1	1,0	0,704	28	27	26							
	2	1,0	1,1			29	30	30	—11			65	54	0,53	0,45
	3	1,0	1,0			30	32	33							
252	1	1,3	1,1	1,2	0,704	27	26	25							
	2	1,4	1,2			30	28	29	—10			65	54	0,51	0,43
	3	1,2	1,0			31	29	34							

Таблица П1.6

Результаты измерения параметров технологической схемы при диагностике воздушного тракта на участке «Вентиляционный канал»

№ единичного сечения	№ измерения	Число делений счетчика анемометра N_i	Среднее число делений счетчика анемометра $N_{ср}$	Площадь единичного сечения $S_{вi}$, м²	Температура в единичном сечении t_i, °С	Температура атмосферного воздуха $t_{в.н}$, °С	Показания барометра $P_{бар}$, кПа	Гидравлический тракт				
								Расход теплоносителя G, кг/с	Температура, °С		Давление, МПа	
									$t_{о.н}$	$t_{о.к}$	P_1	P_2
1	1	4,8	4,9	1,4125	13	—21			80	67	0,52	0,46
	2	5,0			14							
	3	4,9			13							
2	1	4,9	5,0	1,4125	13	—21			80	67	0,49	0,41
	2	5,1			14							
	3	5,1			13							
3	1	5,6	5,6	1,4125	14	—20	96,823	49,8	78	65	0,48	0,40
	2	5,7			15							
	3	5,5			15							
4	1	5,7	5,7	1,4125	15	—20			78	65	0,54	0,46
	2	5,7			15							
	3	5,7			15							
5	1	4,8	4,8	1,425	16	—19			76	63	0,54	0,46
	2	4,9			17							
	3	4,8			18							
6	1	4,8			18							
	2	4,8	4,8	1,425	17	—19			76	63	0,50	0,42
	3	4,8			18							

Таблица П1.7

Результаты обработки параметров воздуха, проходящего через ствол

№ единичного сечения	Скорость $V_{ср}$, м/с	Температура $t_{ср}$, °С	Сечение S_i, м²	Показания барометра $P_{бар}$, кПа	Объемный расход $D_в$, м³/с	Массовый расход $G_в$, кг/с	Абсолютные значения погрешностей и относительные погрешности измерений и вычислений					
							$\Delta D_в$	$\Delta G_в$	Δt	ε_D, %	ε_G, %	ε_t, %
1	3,5	9,5	14	98,178	49	59,3907	4,515	5,51558	0,0475	9,214	9,2869	0,5
2	1,6	9,0	13,95	98,170	22,32	27,0682	2,8142	3,44280	0,0450	12,608	12,719	0,5
3	3,0	9,5	15,2	98,160	45,6	55,2596	4,406	5,38799	0,0475	9,662	9,7503	0,5

Единичные сечения: 1 и 2 — соответственно порожняковая и грузовая ветви клетевого ствола; 3 — вентиляционный уклон.

Таблица П1.8

Результаты обработки параметров воздушного тракта на участке «Калориферы»

№ калорифера	Скорость $V_{ср}$, м/с	Температура $t_{ср}$, °С	Фронтальное сечение $S_ф$, м²	Объемный расход $D_в$, м³/с	Массовый расход $G_в$, кг/с	Абсолютные значения погрешностей и относительные погрешности измерений и вычислений					
						$\Delta D_в$	$\Delta G_в$	$\Delta t_в$	ε_D, %	ε_G, %	ε_t, %
111	0,7	21	2,495	1,7465	2,0108	0,35779	0,4135	0,1050	20,44	20,57	0,5
121	0,64	20,7	2,495	1,5968	1,8404	0,34851	0,40306	0,1035	21,83	21,90	0,5
131	0,57	29,2	2,495	1,4222	1,5930	0,33768	0,381262	0,1460	23,74	23,95	0,5
112	0,96	26,4	2,495	2,3952	2,7080	0,39801	0,45170	0,1320	16,62	16,68	0,5
122	0,85	31,7	2,495	2,1207	2,3559	0,38099	0,42932	0,1585	17,96	18,22	0,5
132	0,87	28,3	2,495	2,1706	2,4368	0,38409	0,43584	0,4415	17,96	17,87	0,5
113	0,63	26,7	2,495	1,5718	1,7753	0,34696	0,39465	0,4335	22,07	22,23	0,5
123	0,59	28,5	2,495	1,4720	1,6891	0,34077	0,38557	0,1425	23,15	22,83	0,5
133	0,60	22,0	2,495	1,497	1,7177	0,34232	0,39838	0,1400	22,87	22,96	0,5
211	0,50	55,6	2,495	1,2475	1,2851	0,32685	0,34362	0,2780	26,20	26,74	0,5
221	0,50	55,4	2,495	1,2475	1,2859	0,32685	0,34379	0,2770	26,209	26,73	0,5
231	0,61	56,7	2,495	1,5219	1,5640	0,34387	0,36169	0,2835	22,59	23,12	0,5
212	0,74	56,4	2,495	1,8463	1,9147	0,36398	0,38446	0,2820	19,71	20,08	0,5
222	0,71	55,1	2,495	1,7714	1,8176	0,35934	0,38046	0,2755	20,28	20,93	0,5
232	0,84	56,9	2,495	2,0958	2,1828	0,37945	0,40130	0,2845	18,10	18,38	0,5
231	0,88	52,0	2,495	3,1956	2,2867	0,38564	0,41289	0,2600	17,56	18,06	0,5
232	0,93	53,6	2,495	2,3203	2,4049	0,39337	0,42002	0,2680	16,95	17,46	0,5
233	0,87	59,0	2,495	2,1706	2,2131	0,38409	0,40453	0,2950	17,69	18,28	0,5

Таблица П1.9

Результаты обработки параметров воздушного тракта на участке «Дроссельный клапан»

№ единичного сечения	Скорость $V_{ср}$, м/с	Температура $t_{в.ср}$, °С	Сечение S_i, м²	Объемный расход $D_в$, м³/с	Массовый расход $G_в$, кг/с	Абсолютные значения погрешностей и относительные погрешности измерений и вычислений					
						$\Delta D_в$	$\Delta G_в$	$\Delta t_в$	ε_D, %	ε_G, %	ε_t, %
111	0,75	45,5	0,704	0,528	0,5607	0,10583	0,11245	0,2275	20,04	20,05	0,5
112	1,25	7,0	0,704	0,880	1,0680	0,12945	0,1565	0,0350	14,71	14,72	0,5
121	1,04	39,9	1,716	1,7846	1,9291	0,28387	0,31929	0,1995	15,90	16,55	0,5
122	2,34	28,0	1,716	4,0151	4,5121	0,42423	0,47725	0,1400	10,56	10,57	0,5
131	1,1	30,0	1,716	1,8876	2,1071	0,29036	0,32437	0,1500	15,38	15,39	0,5
132	1,92	28,9	1,716	3,2947	3,6912	0,37888	0,42493	0,1445	11,49	11,51	0,5
141	0,62	26,9	1,716	1,0739	1,1999	0,23853	0,26917	0,1345	22,42	22,43	0,5
142	1,25	24,7	1,716	2,145	2,4370	0,30655	0,34858	0,1235	14,29	14,30	0,5
151	1,3	29,8	0,704	0,9152	1,0223	0,13181	0,14736	0,1490	14,40	14,41	0,5
152	0,75	29,0	0,704	0,528	0,5913	0,10583	0,11860	0,1450	20,04	20,05	0,5
211	1,65	27,9	0,704	1,1616	1,3056	0,14844	0,16691	0,1395	12,77	12,78	0,5
212	2,7	34,2	0,704	1,9008	2,0928	0,19795	0,21819	0,1710	10,41	10,42	0,5
221	1,4	32,6	1,716	2,4024	2,6589	0,32274	0,35732	0,1630	13,43	13,44	0,5
222	0,79	31,6	1,716	1,3556	1,5053	0,25688	0,28543	0,1580	18,94	18,96	0,5
231	0,95	29,6	1,716	1,6302	1,8203	0,27416	0,30666	0,1480	16,81	16,84	0,5
232	0,75	28,9	1,716	1,287	1,4419	0,25257	0,28313	0,1445	19,62	19,63	0,5
241	0,7	27,9	1,716	1,2012	1,3502	0,24717	0,27799	0,1395	20,57	20,58	0,5
242	1,1	35,8	1,716	1,8876	2,0674	0,29036	0,31827	0,1790	15,38	15,39	0,5
251	0,6	29,4	0,704	0,4224	0,4724	0,09874	0,11051	0,1470	23,37	23,39	0,5
252	0,67	28,8	0,704	0,4717	0,5286	0,10205	0,11443	0,1440	21,63	21,64	0,5

Таблица П1.10

Результаты обработки параметров воздушного тракта на участке «Вентиляционный канал»

№ единичного сечения	Скорость $V_{ср}$, м/с	Температура $t_{в.ср}$, °С	Сечение S_i, м²	Объемный расход $D_в$, м³/с	Массовый расход $G_в$, кг/с	Абсолютные значения погрешностей и относительные погрешности измерений и вычислений					
						$\Delta D_в$	$\Delta G_в$	$\Delta t_в$	ε_D, %	ε_G, %	ε_t, %
1	5,3	13,3	1,4125	7,4863	8,8297	0,61670	0,73026	0,0665	8,23	8,27	0,5
2	5,4	13,3	1,4125	7,6275	8,9963	0,62570	0,74089	0,0665	8,20	8,23	0,5
3	5,9	14,7	1,4125	8,3338	9,8293	0,67055	0,79017	0,0735	8,04	8,03	0,5
4	6,0	15,0	1,4125	8,475	9,9959	0,67952	0,79914	0,0750	8,01	7,99	0,5
5	5,2	16,7	1,425	7,41	8,7398	0,6131	0,71745	0,0835	8,27	8,20	0,5
6	5,2	17,3	1,425	7,41	8,7398	0,6131	0,71597	0,0865	8,27	8,19	0,5

Таблица П1.11

Результаты обработки параметров воздушного тракта на участке «Воздуховод копра»

№ единичного сечения	Скорость $V_{ср}$, м/с	Температура $t_{в.ср}$, °С	Сечение S_i, м²	Объемный расход $D_в$, м³/с	Массовый расход $G_в$, кг/с	Абсолютные значения погрешностей и относительные погрешности измерений и вычислений					
						$\Delta D_в$	$\Delta G_в$	$\Delta t_в$	ε_D, %	ε_G, %	ε_t, %
1	2,9	24,6	0,975	2,8275	3,2135	0,28165	0,32075	0,1230	9,96	9,98	0,5
2	2,6	27,8	1,014	2,6364	2,9644	0,2726	0,30711	0,1390	10,33	10,35	0,5
3	2,2	30,0	0,975	2,145	2,3944	0,2372	0,26528	0,1500	11,05	11,07	0,5
4	5,1	23,6	0,975	4,9725	5,6703	0,4214	0,48157	0,1190	8,47	8,49	0,5
5	4,45	25,6	1,014	4,5123	5,1111	0,3944	0,44772	0,1280	8,74	8,75	0,5
6	3,8	28,6	0,975	3,705	4,1549	0,33881	0,38076	0,1430	9,14	9,16	0,5

Таблица П1.12

Результаты технической диагностики воздушного тракта

Наименование показателя	Единицы измерения	Числовое значение	Значение погрешности	
			абсолютное	относительное
Массовый расход воздуха через воздухоподающий ствол	кг/с	141,72	13,21	9,32
Средняя температура воздуха в стволе	°С	+2,5	0,025	
Средняя температура атмосферного воздуха	°С	—20	0,2	1
Массовый расход воздуха через:	кг/с			
калориферы		35,0826	7,692	21,93
дроссельный клапан		34,3471	5,1375	14,96
воздуховод копра		23,5086	2,2032	9,37
вентиляционный канал		55,1308	4,4939	8,1513
Относительные подсосы воздуха через:	%			
неплотности надшахтного здания		16	2,79	17
в вентиляционный канал через неплотности дроссельного клапана		14,6	1,38	9,45
в ствол через неплотности копра и устья ствола		44,5	0,47	1
через все неплотности воздушного тракта		74,5	3,13	4,2
Степень неравномерности нагрузки колонн калориферов воздухом	%	43	—	—
Относительные затраты мощности вентиляторов главного проветривания на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки	%	0,0083	—	—
Потеря давления на воздушном тракте	Па	235,2	—	—

Таблица III.13

Результаты технической диагностики технологической схемы

Наименование показателя	Числовое значение	Значение погрешности	
		абсолютное	относительное
Массовый расход греющего энергоносителя, кг/с:			
фактический	49,8	2	1,1
расчетный	44,0		
Давление воды в гидравлическом тракте, МПа:			
на входе	0,52	0,005	0,5
на выходе	0,44	0,005	0,5
Температура воды (°С) в гидравлическом тракте:			
фактическая:[1]			
на входе	78	0,75	1,1
на выходе	65	0,50	1,0
расчетная:[1]			
на входе	51		
на выходе	33		
Потеря давления на гидравлическом тракте, МПа	0,08	0,004	5
Гидравлическое сопротивление установки, МПа/(м³/с)²	33,5852	1,52	4,55
Фактическая теплопроизводительность в расчетном режиме[2], кВт	9092,168	45,572	0,5
Требуемая теплопроизводительность, кВт	7243,91		
Средняя скорость воды в живом сечении калориферов, м/с:			
фактическая	0,6873	0,0069	1,02
расчетная	0,528	0,0054	1,03
Средний по поверхности коэффициент теплопередачи[1], Вт/(м²·°С):			
фактический	13,22	0,0022	0,016
каталожный	13,96	0,032	0,15
Коэффициент загрязнения поверхности нагрева калориферной установки	0,374	0,00106	0,3
Отклонение температуры воды от температурного графика, %:			
на входе в калориферы	53	1,5	2,8
на выходе из калориферов	90	1,5	1,6
Отклонение массового расхода воды через калориферы от расчетного значения, %	13	4,5	34,6
Отношение фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме	125,5	0,63	0,5

[1] При $t_{в.\,н} = -20$ °С.

[2] При $t_{в.\,р} = -49$ °С.

При определении отклонений температуры воды на входе и выходе из калориферов от температурного графика применялся температурный график систем теплоснабжения шахт, принятый в Карагандинском бассейне (табл. II 1.14).

Результаты обработки расходных и температурных параметров греющего энергоносителя

Средние значения:	
массового расхода, кг/с	49,8
давления, Па:	
на входе	0,52
на выходе	0,44
температуры,°С:	
на входе	78
на выходе	65
Абсолютные значения погрешностей измерения массового расхода, кг/с	2
давления, МПа:	
на входе	0,005
на выходе	0,005
температуры, °С:	
на входе	0,75
на выходе	0,5
Относительные погрешности измерения, %	
массового расхода	1,1
давления:	
на входе	0,5
на выходе	0,5
температуры:	
на входе	1,1
на выходе	1,0

Результаты определения сопротивления гидравлического тракта

Среднее значение потери давления на гидравлическом тракте, МПа	0,08
То же, температуры энергоносителя в полости гидравлического тракта, °С	71,5
Плотность, кг/м³	976,32
Объемный расход энергоносителя, м³/с	0,0488
Гидравлическое сопротивление, МПа/(м³/с)²	33,5852
Абсолютные значения погрешностей измерения:	
потери давления, МПа	0,01
температуры, °С	0,625
плотности, кг/м³	0,3896
объемного расхода, м³/с	0,00194
гидравлического сопротивления, МПа/(м³/с)²	1,5290
Относительная погрешность вычисления гидравлического сопротивления, %	4,55

Таблица П1.14

Температурный график шахтной системы теплоснабжения 110—70 °С, ориентированный на тепловую нагрузку калориферных установок воздухоподающих стволов

$t_{в.н}$	$t_{о.н}$	$t_{о.к}$	$t_{в.н}$	$t_{о.н}$	$t_{о.к}$	$t_{в.н}$	$t_{о.н}$	$t_{о.к}$	$t_{в.н}$	$t_{о.н}$	$t_{о.к}$
+2	43,5	33	—11	48,3	33	—24	57,5	36,5	—37	85,0	54,0
+1	44,0	33	—12	48,5	33	—25	59,5	38,0	—38	87,0	55,5
0	44,5	33	—13	48,8	33	—26	61,5	39,5	—39	89,0	56,5
—1	44,7	33	—14	49,0	33	—27	63,5	40,5	—40	91,0	58,0
—2	45,0	33	—15	49,3	33	—28	65,5	42,0	—41	93,0	59,5
—3	45,1	33	—16	49,5	33	—29	67,5	43,5	—42	96,5	61,0
—4	45,2	33	—17	50,0	33	—30	69,5	44,5	—43	97,5	62,5
—5	45,3	33	—18	50,3	33	—31	72,0	46,0	—44	100,0	63,5
—6	46,0	33	—19	50,5	33	—32	74	47,5	—45	102,0	64,5
—7	46,5	33	—20	51,0	33	—33	76,5	48,5	—46	104,0	66,0
—8	47,0	33	—21	51,3	33	—34	78,5	50,0	—47	106,0	67,5
—9	47,5	33	—22	53,0	34	—35	80,5	51,5	—48	108,0	68,5
—10	48,0	33	—23	55,0	35,5	—36	82,5	52,5	—49	110,0	70,0

Соответствие расходных и температурных параметров энергоносителя при $t_{в.н} = -20$ °С

Среднее значение температуры воды:	
на входе, °С	78
на выходе, °С	63
Фактический массовый расход воды, кг/с	49,8
Требуемая температура в стволе, °С	2—5
Средняя температура атмосферного воздуха, °С	—20
Средний массовый расход воздуха по воздухоподающему стволу, кг/с	141,72
Требуемые параметры воды (по температурному графику), °С:	
на входе	51
на выходе	33
Требуемый массовый расход воды, кг/с	44
Отклонение параметров теплоносителя	
температуры, °С:	
на входе	27
на выходе	30
массового расхода, кг/с	5,8
Значения относительных отклонений, %	
температуры:	
на входе	53
на выходе	90
массового расхода	13

Определение скорости энергоносителя в трубках калориферов в КСК-4-12 второго ряда (число ярусов 3, число блоков в ярусе 6).

Средние значения	
температуры, °С:	
на входе	79
на выходе	74
массового расхода, кг/с	49,8
Плотность воды, кг/м³ при температуре:	
$t_{о.н.ср}$	975,07
$t_{о.к.ср}$	975,48
Среднее значение плотности воды, кг/м³	974,27
Фактическое значение скорости воды, м/с	0,5282
Абсолютное значение погрешности измерения скорости воды, м/с	0,0231
Относительная погрешность измерения скорости воды, %	4,4

Средние скорости энергоносителя в трубках калориферов типа КВБ-11П первого ряда (число ярусов 4, число блоков в ярусе 6).

Средние значения	
температуры, °С:	
на входе	74
на выходе	65
массового расхода, кг/с	49,8
Плотность воды, кг/м³ при температуре:	
$t_{о.н.ср}$	975,48
$t_{о.к.ср}$	980,59
Среднее значение плотности воды, кг/м³	978,64
Фактическое значение скорости воды, м/с	0,6873
Абсолютное значение погрешности измерения скорости воды, м/с	0,0259
Относительная погрешность измерения скорости воды, %	3,8

Определение фактической теплопроизводительности калориферной установки

Изобарные теплоемкости теплоносителя, Дж/(кг·°С):	
первого ряда:	
на входе при $t_{о.н1}$	4190
на выходе при $t_{о.к1}$	4182
второго разряда:	
на входе при $t_{о.н2}$	4193
на выходе при $t_{о.к2}$	4190
Температура воздуха, С:	
первого ряда:	
на входе при $t_{в.н1}$	—20
на выходе при $t_{в.к1}$	33
второго ряда:	
на входе при $t_{в.н2}$	33
на выходе при $t_{в.к2}$	57
Фактическая теплопроизводительность, кВт:	
первого ряда	1869,45
второго ряда	846,3
всей установки	2715,75
Абсолютное значение погрешности измерения	
теплоемкости, Дж/(кг·°С)	0,51
теплопроизводительности, кВт	55,64
Относительная погрешность вычислений теплопроизводительности, %	2,049

Таблица П1.15

Анализ состояния технологической схемы калориферной установки

Показатели качества технологической схемы	Значение показателя		Состояние технологической схемы
	фактическое	допустимое	
Отклонение температуры воды от температурного графика на входе в калориферы, %	+53	⩽2 %	Недопустимо
Отклонение массового расхода воды через калориферы от расчетного значения, %	+13	⩽5 %	»
Давление воды на входе в гидравлический тракт, МПа	0,52	⩽1,2 МПа и ⩾0,3 МПа	Допустимо
Отношение расчетной теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме, %	125,5	⩽110 % и ⩾100 %	Недопустимо
Относительная управляемость теплопроизводительностью, %	—	⩾85 %	
Коэффициент загрязнения поверхности нагрева калориферной установки, %	37,40	⩽20 %	»
Средняя скорость воды в живом сечении калориферов, м/с	0,5242 0,6813	⩾0,3 м/с	Допустимо
Отклонение температуры воды на выходе из калориферов от температурного графика, %	—	⩾−10 % и ⩽+5 %	Недопустимо
Степень неравномерности нагрузки колонн калориферов воздухом, %	43	⩽15 %	»
Относительные подсосы холодного воздуха через неплотности копра, устья ствола, элементы воздушного тракта, %	74,5	⩽20 %	
Относительная мощность вентилятора главного проветривания, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки	0,83	⩽10 %	» Допустимо
Оценка состояния калориферной установки в целом			Частично допустимо

Определение коэффициентов теплопередачи

Фактическое значение коэффициента теплопередачи калориферов, Вт/(м² · °С):

первого ряда	14,15
второго ряда	12,02
среднего (по поверхности)	13,02

Фактическое значение средней весовой скорости воздуха в живом сечении калориферов, кг/с:
первого ряда 1,687
второго ряда 1,862
Каталожное значение коэффициента теплопередачи калорифера, Вт/(м² · °С):
первого ряда 22,25
второго ряда 20,07
среднего (по поверхности) 21,12
Коэффициент загрязнения поверхностей теплообмена:
первого ряда 0,364
второго ряда 0,4011
всей установки 0,374
Абсолютное значение погрешности вычисления коэффициента теплопередачи, Вт/(м² · °С) 0,8262
Относительная погрешность вычисления фактического коэффициента теплопередачи, % 6,25

6. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Анализ состояния технологической схемы калориферной установки производится сравнением фактических показателей качества и их допустимых значений.

По результатам анализа (табл. П.15) состояние технологической схемы калориферной установки определено как частично допустимое и поэтому принимается решение о разработке ремонтно-наладочных мероприятий.

Объем ремонтно-наладочных работ установлен с помощью таблицы решений на основе анализа состояния технологической схемы и приведен в табл. П1.16.

Таблица П1.16

Объем монтажно-наладочных работ по калориферной установке центрального клетевого ствола шахты «Сокурская»

Ремонтно-наладочные работы	Исполнитель	Срок исполнения
1. Расчет дроссельных органов для установки на гидравлическом тракте		
2. Установка новых дроссельных органов на подающем или обратном трубопроводе гидравлического тракта		
3. Разработка задания на наладку сетевой водонагревательной установки (ВНУ)		
4. Наладка технологического оборудования и аппаратуры автоматики сетевой ВНУ		
5. Расчет сечения и установка направляющих заслонок для выравнивания нагрузки калориферов воздухом		
6. Определение углов наклона направляющих заслонок		
7. Очистка наружных поверхностей калориферов сжатым воздухом		
8. Промывка трубок калориферов гидравлическим способом		
9. Вскрытие и очистка грязевиков		
10. Опрессовка гидравлического тракта		
11. Проверка работоспособности и ремонт средств герметизации устья ствола, надшахтного здания и элементов воздушного тракта		
12. Проверка работоспособности и ремонт дроссельных клапанов смесительной камеры		

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

калориферной установки ствола_____

шахты_____

1. Рабочий проект калориферной установки выполнен _____
(наименование проектной организации) в 19__г.

2. Строительно-монтажные работы выполнены _____
(наименование строительно-монтажной организации) в 19 __ г.

3. Техническая диагностика и наладка выполнены _____
(наименование наладочной организации) в 19__ г.

4. Максимальный массовый расход воздуха через калориферную установку, кг/с_____

5. Расчетный расход воды, кг/с_____

6. Установленная тепловая мощность, кВт_____

К техническому паспорту калориферной установки прилагаются технологические схемы гидравлического и воздушного трактов.

Таблица П2.1

Тепломеханическое оборудование воздушного и гидравлического трактов установки

Тепломеханическое оборудование		
наименование и основные характеристики	по проекту	установленное
Калориферы		
Тип и модель		
Число калориферов в колонне		
То же, колонн в блоке		
» блоков в ряду		
» ярусов в ряду		
» рядов		
Общее число калориферов		
Установленная поверхность нагрева, м^2		
Живое сечение, м^2:		
по воде		
по воздуху		

Продолжение табл. П2.1

Тепломеханическое оборудование		
наименование и основные характеристики	по проекту	установленное
Запорная, регулирующая и предохранительная арматура		
Запорные вентили:		
число		
тип		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
Задвижки:		
число		
тип		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
Регулирующие клапаны:		
число		
тип		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
Пропускная способность, т/ч		
Предохранительные клапаны:		
число		
тип		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
Обратные клапаны:		
число		
тип		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
Воздухоотводчики:		
число		
тип		
$P_у$, МПа		
Грязевики:		
число		
тип		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
Смесительные насосы		
Число работающих насосов		
Число резервных насосов		
Тип		
Подача, $м^3/с$		
Полный напор, МПа		
Электродвигатель насоса:		
тип		
мощность, кВт		
частота вращения, 1/мин		

Продолжение табл. П2.1

Тепломеханическое оборудование		
наименование и основные характеристики	по проекту	установленное
Исполнительный механизм клапанов подачи сетевой и подмешиваемой воды		
Тип		
Время одного оборота, с		
Момент на выходном валу, Н·м		
Мощность электродвигателя, кВт		
Трубопроводная сеть гидравлического тракта		
Входная магистраль:		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
длина, м		
Отводящая магистраль:		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
длина, м		
Отводы на калориферы и их обвязка:		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
длина, м		
Импульсные линии к датчикам давления и перепада давления:		
$Д_у$, мм		
$P_у$, МПа		
длина, м		
Оборудование воздушного тракта		
Воздуховод в копер:		
живое сечение, м^2		
длина, м		
Дроссельный клапан смесительной камеры:		
живое сечение для нагретого воздуха в открытом положении, м^2		
то же, для холодного, м^2		
необходимый момент для перемещения затвора, Н · м		

Продолжение табл. П2.1

Тепломеханическое оборудование		
наименование и основные характеристики	по проекту	установленное
Дроссельный клапан воздуховода копра:		
живое сечение в открытом положении, м²		
необходимый момент для перемещения затвора, Н · м		
Противопожарные ляды:		
место установки		
площадь, м²		
Исполнительный механизм дроссельного клапана смесительной камеры:		
тип		
время одного оборота, с		
момент на выходном валу, Н·м		
мощность электродвигателя, кВт		
Исполнительный механизм дроссельного клапана воздуховода копра:		
тип		
время одного оборота, с		
момент на выходном валу, Н·м		
мощность электродвигателя, кВт		
Привод противопожарных ляд:		
тип		
мощность электродвигателя, кВт		
Входные проемы и вентиляционная решетка:		
живое сечение, м²		
угол установки ребер, градусов		
Смесительная камера		
объем, м³		
длина канала, м		
сечение канала, м²		
Направляющие заслонки:		
число		
сечение, м²		
угол наклона, градусов		

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ КАЛОРИФЕРОВ НА МОДЕЛЯХ ЕС ЭВМ*

1. Общие сведения

Программа с символическим именем *KLRFR* предназначена для решения задачи оптимизации компоновки калориферов по критерию минимума приведенных затрат в калориферных установках воздухоподающих стволов угольных, горнорудных и горнохимических предприятий. Она может функционировать как автономно, так и в пакете прикладных программ для машинного проектирования безвентиляторных калориферных установок. В последнем случае программа может использоваться как один из модулей при соответствующей разработке информационного обеспечения. Программа написана на языке ПЛ/1, выполняется на любой из моделей ЕС ЭВМ под управлением дисковой операционной системы ДОС ЕС 2.2 и требует для выполнения 10 Кбайт основной памяти. Функционирование программы *KLRFR* обеспечивается в вычислительной системе на базе моделей ЕС ЭВМ со следующими минимальными ресурсами.

1. Процессор любой из действующих моделей ЕС ЭВМ.
2. Оперативная память емкостью не менее 128 К.

* Программа отлаживалась инженером О. П. Корфом.

3. Накопитель на магнитных дисках типа ЕС-5052 (1 шт).
4. Устройство ввода с перфокарт типа ЕС-6012 (1 шт).
5. Алфавитно-цифровое печатающее устройство типа ЕС-7032 (1 шт).

Для программы разработан комплект эксплуатационных документов, отвечающий требованиям ГОСТов Единой Системы Программной Документации (ЕСПД). Программа и ее эксплуатационные документы рассылаются Карагандинским политехническим институтом всем заинтересованным организациям: отраслевым и республиканским фондам алгоритмов и программ, ИВЦ производственных объединений в угольных бассейнах, отдельным наладочным управлениям.

2. Организация исходных данных

Исходные данные для решения задачи оптимизации компоновки калориферов организованы в виде последовательного потока данных, который вводится из системного входного файла на логическом устройстве *SYSIPT* и может размещаться на любом из носителей данных, принятых в ЕС ЭВМ (перфокарты, магнитные ленты, диски), так как данные системного входного файла логически представляются в образах перфокарт независимо от фактического физического носителя данных. Каждый элемент данных в потоке отделяется от другого одним или несколькими пробелами или запятой, слева и справа от которой может быть любое число пробелов. При такой организации входного набора данных, например на перфокартах, начало новой карты следует непосредственно за концом предыдущей, а поэтому безразлично, сколько элементов данных расположено на одной карте, так как прочитанная карта анализируется до конца, и если очередной элемент данных не найден, то поиск переносится на следующую карту. Исходные данные должны размещаться во входном потоке в следующем порядке.

1. Объемный расход воздуха через клетевой ствол, м³/с.
2. Относительный расход воздуха через неплотности воздушного тракта, %.
3. Минимально допустимая температура воздуха в стволе, °С.
4. Максимально допустимая температура воздуха в стволе, °С.
5. Максимально допустимая температура воды на выходе из калориферной установки в расчетном режиме, °С.
6. Минимально допустимая температура воды на выходе из калориферной установки в расчетном режиме, °С.
7. Расчетная температура атмосферного воздуха, °С.
8. Температура воды на входе в калориферную установку в расчетном режиме, °С.
9. Допустимая высота помещения калориферной установки, м.
10. Допустимый периметр помещения калориферной установки вокруг смесительной камеры, м.
11. Минимально допустимая скорость воды в трубках калориферов, м/с.
12. Максимально допустимая скорость воды в трубках калориферов, м/с.
13. к. п. д. вентилятора главного проветривания.
14. к. п. д. смесительного насоса.
15. Стоимость электроэнергии по одноставочному тарифу, руб.
16. Длительность отопительного периода, сутки.
17. Наименование типоразмера калорифера.
18. Живое сечение калорифера по тракту движения воды, м².
19. Живое сечение калорифера по тракту движения воздуха, м².
20. Теплоотдающая поверхность калорифера, м².
21. Ширина калорифера, м.
22. Высота калорифера, м.
23. Эмпирическая константа β_1 в формуле вычисления потери давления на воздушном тракте калорифера i-го типоразмера.
24. Эмпирическая константа A_i в формуле вычисления потери давления на воздушном тракте калорифера i-го типоразмера.
25. Эмпирическая константа A_1 в формуле теплопередачи калорифера $K_i = A_{1i}(D_{\text{ву}}\rho_{\text{в}}/M_{\text{к}}N_{\text{к}}L_{\text{к}}L_{\text{я}}S_{\text{в}i}) \cdot (D_{\text{ор}}/L_{\text{к}}L_{\text{я}}S_{oi})^{A3i}$.
26. Эмпирическая константа A_2 в формуле вычисления коэффициента теплопередачи калорифера.

Таблица П2.2

Показатели качества технологической схемы

Наименование показателя	Значение показателя	
	фактическое	допустимое
Отклонение температуры воды на входе в калориферы от температурного графика		$\leqslant 2$ %
Отклонение массового расхода воды через калориферы от расчетного значения		$\leqslant 5$ %
Давление воды на входе в гидравлический тракт		$\leqslant 1{,}2$ МПа и $\geqslant 0{,}5$ МПа или 0,3 МПа
Давление воды на выходе из гидравлического тракта		$\geqslant 0{,}1$ МПа
Отклонение фактической теплопроизводительности от требуемой в расчетном режиме		$\leqslant 110$ % $\geqslant 100$ %
Относительная управляемость теплопроизводительностью		$\geqslant 85$ % при управлении расходом воздуха, $\geqslant 60$ % при управлении расходом сетевой воды: $\geqslant 30$ % при управлении расходом подмешиваемой воды
Коэффициент загрязнения поверхности нагрева калориферной установки		$\leqslant 20$ %
Средняя скорость воды в живом сечении калориферов		$\leqslant 0{,}8$ м/с и $\geqslant 0{,}3$ м/с
Отклонение температуры воды на выходе из калориферов от температурного графика		$\leqslant +5$ % и $\geqslant -10$ %
Степень неравномерности нагрузки колонн калориферов воздухом		$\leqslant 15$%
Относительные подсосы холодного воздуха через все неплотности воздушного тракта		$\leqslant 20$%
Относительные затраты мощности вентилятора главного проветривания на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки		$\leqslant 10$%

27. Эмпирическая константа A_3 в формуле вычисления коэффициента теплопередачи калорифера.
28. Число ходов калорифера.
29. Диаметр входного патрубка калорифера, м.
30. Стоимость калорифера, руб.
31. Стоимость монтажа калорифера, руб.

Если исходное множество типоразмеров калориферов более одного, то данные последующих типоразмеров размещаются во входном потоке после 31-го элемента в таком же порядке, как и для первого типоразмера. Данные последующих типоразмеров калориферов целесообразно размещать по возрастанию или убыванию калориферов.

Значение 17-го элемента данных в перечисленном наборе должно быть текстовой константой, т. е шифр калорифера должен обязательно заключаться в одиночные апострофы. Значение 30-го элемента данных должно быть целочисленной константой. Значения всех остальных данных входного потока должны быть вещественными константами в форме с фиксированной или плавающей точкой.

3. Выходные сообщения программы

Если введенные исходные данные обеспечивают решение задачи оптимальной компоновки, то программа выдает результат решения в виде строчного выходного документа 11-го формата, в котором отображаются основные исходные данные и результаты оптимизации. Если указанные габариты помещения недостаточны для размещения оптимальной компоновки, то выдается сообщение с указанием требуемых размеров помещения, а также значения компоновочных и стоимостных параметров.

Если в ограничениях по температурам воды и воздуха и скорости воды заданы небольшие интервалы допустимых значений, то из-за дискретности компоновочных параметров не всегда возможно определить оптимальную компоновку, а поэтому в таких ситуациях программа заканчивает работу, выдавая сообщение «Ошибка в данных, описывающих условия эксплуатации». При получении такого сообщения пользователь обязан пересмотреть значения введенных исходных данных с ограничениями по температурам воды и воздуха и скорости воды, а также подготовить новые исходные данные для решаемой им задачи.

4. Пример оптимизации компоновки с помощью программы *KLRFR*

В процессе реконструкции калориферной установки возникла необходимость оптимизировать компоновку калориферов на множестве водяных пластинчатых калориферов средней модели: КВС-9П, КВС-10П, КВС-11П, КВС-12П и большой модели: КВБ-7П, КВБ-8П, КВБ-9П, КВБ-10П, КВБ-11П, КВБ-12П.

Входной поток исходных данных соответствует требуемой структуре и имеет следующие значения данных:

1) объемный расход воздуха через клетевой ствол 154, 833 м³/с;
2) относительный расход воздуха через неплотности воздушного тракта 30 %;
3) минимально допустимая температура воздуха в стволе +2 °С;
4) максимально допустимая температура воздуха в стволе +5 °С;
5) максимально допустимая температура воды на выходе из калориферной установки в расчетном режиме +70 °С;
6) минимально допустимая температура воды на выходе из калориферной установки в расчетном режиме +65 °С;
7) расчетная температура атмосферного воздуха —48 °С;
8) температура воды на входе в калориферную установку в расчетном режиме +150 °С;
9) допустимая высота помещения калориферной установки 10 м;
10) допустимый периметр помещения калориферной установки вокруг смесительной камеры 28 м;
11) минимально допустимая скорость воды в трубках калориферов 0,4 м/с;

12) максимально допустимая скорость воды в трубках калориферов 0,8 м/с;
13) к. п. д. вентилятора главного проветривания 0,8;
14) к. п. д. смесительного насоса 0,8;
15) стоимость электроэнергии по одноставочному тарифу 0,024 руб/кВт·ч
16) длительность отопительного периода 210 суток;
17) тип калорифера КВС-9П;
18) живое сечение калорифера по тракту движения воды $1{,}159 \cdot 10^{-3}$ м^2;
19) живое сечение калорифера по тракту движения воздуха 0,238 м^2;
20) теплоотдающая поверхность калорифера 19,58 м^2;
21) ширина калорифера 0,953 м;
22) высота калорифера 0,575 м;
23) эмпирическая константа A_0 в формуле вычисления потери давления на воздушном тракте калорифера i-го типоразмера 1,62;
24) эмпирическая константа B в формуле вычисления потери давления на воздушном тракте калорифера i-го типоразмера;
25) эмпирическая константа A_1 в формуле вычисления коэффициента теплопередачи калорифера 29, 88;
26) эмпирическая константа A_2 в формуле вычисления коэффициента теплопередачи калорифера 0,32;
27) эмпирическая константа A_3 в формуле вычисления коэффициента теплопередачи калорифера 0,132;
28) число ходов калорифера 6;
29) диаметр входного патрубка калорифера 0,032 м;
30) стоимость калорифера 50 руб.
31) стоимость монтажа калорифера 6,16 руб.

В элементах потока данных с 17-го по 31-й приведены значения характеристик калорифера КВС-9П. Для остальных типоразмеров данные готовятся аналогично. Для размещения всех данных используются 12 перфокарт. Ниже приведен выходной документ программы с результатами оптимизации компоновки. Для получения этого результата вручную потребовалось бы не менее 10 дней напряженного труда опытного наладчика, владеющего методами тепловых и гидравлических расчетов тепловых схем калориферных установок.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Основные исходные данные

1. Расход атмосферного воздуха, м^3/с	154,08
2. Подсосы через надшахтное здание, %	30,00
3. Температура наружного воздуха, °С	—48,00
4. Начальная температура воды, °С	150,00

Результаты расчета

1. Типоразмер калорифера	КВС12-П
2. Общее количество калориферов	34
а) количество калориферов в колонне	2
б) количество колонн в блоке	1
в) количество блоков в ярусе	8
г) количество ярусов	2
д) ненагруженный резерв (в блоках)	1
3. Расчетные строительные размеры	
а) высота компоновки, м	8,17
б) периметр компоновки, м	22,99
4. Температура воздуха в стволе в расчетном режиме, °С	3,73
5. Температура воды на выходе из калориферной установки в расчетном режиме, °С	67,25
6. Установленная тепловая мощность, кВт	12 564,55
7. Расчетный расход воды, м^3/с	0,037911
8. Приведенные затраты на компоновку, руб	2461,47
9. Коэффициент готовности компоновки, не менее	0,988 849

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Q — тепловая нагрузка, теплопроизводительность, тепловая мощность, тепловой поток, Вт;

D — объемный расход энергоносителя, м³/с;

G — массовый расход энергоносителя, кг/с;

t — температура энергоносителя, °С;

c — изобарная теплоемкость энергоносителя, Дж/(кг·°С);

ρ — плотность энергоносителя, кг/м³;

F_t — поверхность теплообмена, м²;

S — сечение тракта для перемещения энергоносителя, м²;

V — скорость воздуха, м/с;

$\Delta t_{\text{ср. лог}}$ — среднелогарифмический температурный напор между потоками энергоносителей, °С;

i — энтальпия энергоносителя, Дж/кг;

P — давление энергоносителя, МПа, Н/м²;

ΔP — перепад давления, МПа, Н/м²;

ψ_c — коэффициент совершенства схемы взаимного движения энергоносителей;

α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С);

K_t — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С);

$K_г$ — коэффициент готовности;

N — мощность электродвигателя технологического аппарата, кВт;

$N_к$ — число калориферов в колонне;

$M_к$ — число колонн в блоке;

$L_к$ — число блоков в ярусе;

$L_я$ — число ярусов в ряду;

$L_р$ — число рядов;

$\psi_н$ — степень неравномерности нагрузки колонн калориферов воздухом, %;

W — скорость воды, м/с;

ξ — коэффициент сопротивления трения;

ζ — коэффициент местного сопротивления;

τ — время, с;

$S_г$ — гидравлическое сопротивление участка тракта, МПа/(м³/с)², Па/(см³/с)²;

κ_v — пропускная способность дроссельного клапана, м³/ч;

$\psi_{t.\ вх}$ — отклонение температуры воды на входе в калориферы от температурного графика, %;

ψ_G — отклонение массового расхода воды через калориферы от расчетного значения, %;

$\psi_{t.\ вых}$ — отклонение температуры воды на выходе из калориферов от температурного графика, %;

ψ_Q — отношение фактической теплопроизводительности к требуемой в расчетном режиме, %;

$\psi_у$ — относительная управляемость теплопроизводительностью, %;

$\psi_з$ — коэффициент загрязнения поверхности нагрева калориферной установки, %;

$\psi_{под.}$ — относительные подсосы холодного воздуха через все неплотности воздушного тракта, %;

ψ_N — относительные затраты мощности вентилятора главного проветривания на преодоление аэродинамического сопротивления калориферной установки, %.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

1. Технологическая характеристика калориферных установок воздухоподающих стволов 5

1.1. Технологическая структура систем теплоснабжения угольных шахт 5
1.2. Технологические требования к калориферным установкам воздухоподающих стволов 8
1.3. Технологические схемы калориферных установок 11
1.4. Теплообменные аппараты 17
1.5. Вспомогательное тепломеханическое оборудование 19
1.6. Герметизация устья ствола и надшахтного здания 29

2. Система технического обслуживания и ремонта калориферных установок 29

2.1. Система технического обслуживания 31
2.2. Система ремонта 36
2.3. Технология технического обслуживания калориферных установок с периодическим контролем 38
2.4. Показатели качества технологической схемы калориферной установки 40
2.5. Условия допустимого состояния технологической схемы . . . 43
2.6. Анализ состояния технологической схемы 47
2.7. Определение объема ремонтно-наладочных работ 47

3. Организация и проведение работ технического обслуживания с периодическим контролем 55

3.1. Подготовительные работы 55
3.2. Техническая диагностика воздушного тракта 57
3.3. Техническая диагностика технологической схемы 73
3.4. Ремонтно-наладочные работы на технологическом оборудовании калориферной установки 94
3.5. Работы по реконструкции и заключительные работы 116

4. Техника безопасности при производстве работ по техническому обслуживанию калориферных установок 117

4.1 Общие положения 117
4.2. Обучение персонала 118
4.3. Организация безопасного выполнения работ 120
4.4. Правила техники безопасности при выполнении работ по технической диагностике 121
4.5. Правила техники безопасности при выполнении ремонтных и ремонтно-наладочных работ 123
4.6. Ответственность за нарушение ТБ при производстве работ . . . 125

5. Расчет компоновок и формирование вариантов технологических схем при наладке и реконструкции калориферных установок 125

5.1. Формирование вариантов технологических схем калориферных установок 126
5.2. Оптимизация компоновки калориферов 131
Список литературы 144

Приложение 1 146
Приложение 2 167
ние 3 170

gost.e-ecolog.ru