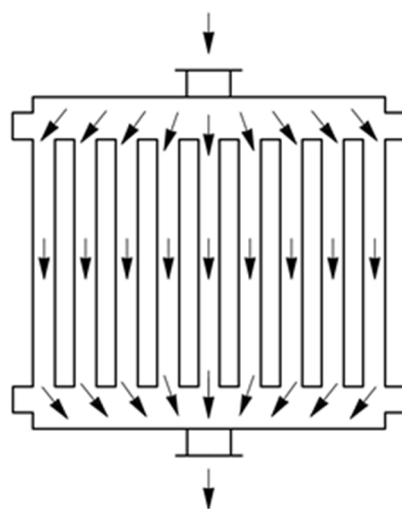


В.П. Болдин, В.Ю. Кузин, В.В. Сухов

КАЛОРИФЕРНЫЕ УСТАНОВКИ

Учебное пособие



Нижний Новгород
2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

В.П. Болдин, В.Ю. Кузин, В.В. Сухов

Калориферные установки

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Нижний Новгород
ННГАСУ
2022

ББК 31.368
Б79
УДК 697.921.452: 697.978

Печатается в авторской редакции

Рецензенты:

Д.Г. Титков – канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Е.Г. Ионычев – канд. техн. наук, директор по строительству ООО «Аспирация»

Болдин В.П. Калориферные установки [Текст]: учеб. пособие / В.П. Болдин, В.Ю. Кузин, В.В. Сухов; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2022. – 45 с. ISBN 978-5-528-00494-5

Изложена классификация калориферов, рассмотрены особенности их конструкции, а также установка по отношению к проходящему через них воздуху и обвязка трубопроводами. Представлены особенности конструирования водяных, паровых и электрических калориферов. Приведён практикум по их тепловому расчёту.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата 08.03.01 Строительство, профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция» и 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, профиль «Промышленная теплоэнергетика», а также магистратуры 08.04.01 Строительство, профили «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности зданий» и 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, профиль «Тепломассообменные процессы и установки».

ББК 31.368

ISBN 978-5-528-00494-5

© В.П. Болдин, В.Ю. Кузин, В.В. Сухов, 2022
© ННГАСУ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Классификация калориферов.....	4
2. Конструктивное исполнение калориферов.....	5
3. Установка калориферов.....	16
4. Применение калориферов.....	18
5. Защита калориферов от замерзания.....	19
6. Тепловой расчет калориферов.....	21
6.1. Расчет водяных и паровых калориферов.....	21
6.2. Расчет электрокалориферов.....	25
7. Практикум.....	28
7.1. Тепловой расчет для подбора водяного калорифера КФБ.....	28
7.2. Тепловой расчет для подбора парового калорифера КВБ.....	30
8. Современные аналоги калориферов типа КСк, КВБ и КВС.....	32
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	35
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Тепломассообменное оборудование применяют на предприятиях в энергетических, коммунально-бытовых и технологических установках. Теплоиспользующие аппараты, относящиеся к тепломассообменному оборудованию, имеют весьма многообразное назначение. Калорифер как теплообменный аппарат является одним из распространенных и важных элементов в системах отопления, установках вентиляции и кондиционирования воздуха и в сушильных установках. Поэтому расчет, проектирование, конструирование и эксплуатация калориферных установок должны производиться с учетом сложности происходящих в них процессов, а также значительного влияния параметров процесса теплообмена на их энергоэффективные показатели. Из трех задач, связанных с расчетом и проектированием калориферных установок, различают:

- выбор нужного калорифера из серии типовых по каталогам;
- конструирование нового калорифера, не связанного с каталогами;
- поверочный расчет калорифера в связи с изменением технологического процесса.

В данном учебном пособии для выполнения курсовых и расчетно-графических работ предлагается рассчитать и принять к установке один из двух типов калориферов.

1. Классификация калориферов

Калориферы – приборы, применяемые для нагревания воздуха в приточных системах вентиляции, системах кондиционирования воздуха, воздушного отопления и в сушильных установках.

По виду теплоносителя калориферы могут быть *огневыми, водяными, паровыми и электрическими*.

Водяные и паровые калориферы подразделяют на *гладкотрубные и ребристые*, последние подразделяют на *пластинчатые и спирально-навивные*.

Различают одноходовые и многоходовые калориферы. В одноходовых теплоноситель движется по трубкам в одном направлении, а в многоходовых

несколько раз меняет направление движения вследствие наличия в коллекторных крышках перегородок (рис. 1.1.).

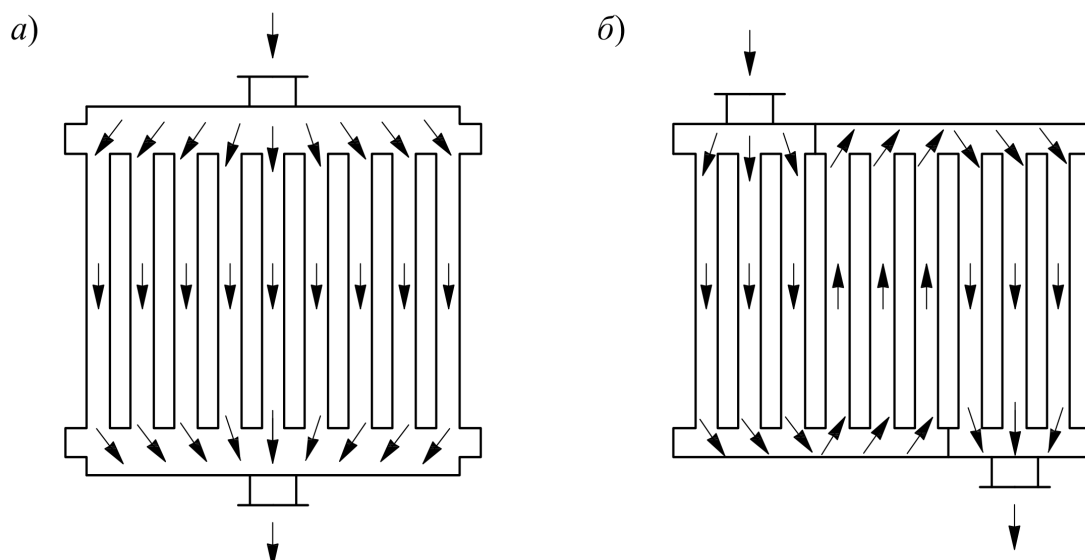


Рис. 1.1. Схема движения теплоносителя в калориферах:
а – одноходовых; б – многоходовых

Калориферы выполняют двух моделей: средней (С) и большой (Б) (рис.1.2.).

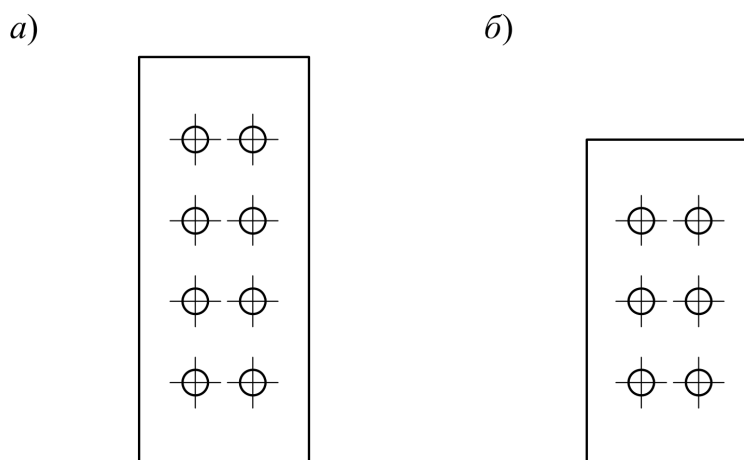


Рис. 1.2. Модели калориферов: а – большая (Б); б – средняя (С)

2. Конструктивное исполнение калориферов

В настоящее время на заводах изготавливают калориферы различных марок, размеров и теплопроизводительности: одноходовые – КФС, КФБ, КЗПП, К4ПП, СТД, многоходовые – КМС, КМБ, КЗВП, К4ВП, КВС

Гладкотрубные калориферы (рис 2.1.) выполнены из стальных трубок диаметром от 20 до 32 мм. Трубки калорифера могут быть расположены в ко-

ридорном или в шахматном порядке. Концы их сварены в трубные доски 2, к которым присоединены распределительная 3 и сборная 4 коробки. Теплоноситель – вода или пар, поступает через штуцер 5 в распределительную коробку, а затем, проходя по трубкам, нагревает их и через штуцер 6 удаляется из сборной коробки 4 в виде охлажденной воды или конденсата.

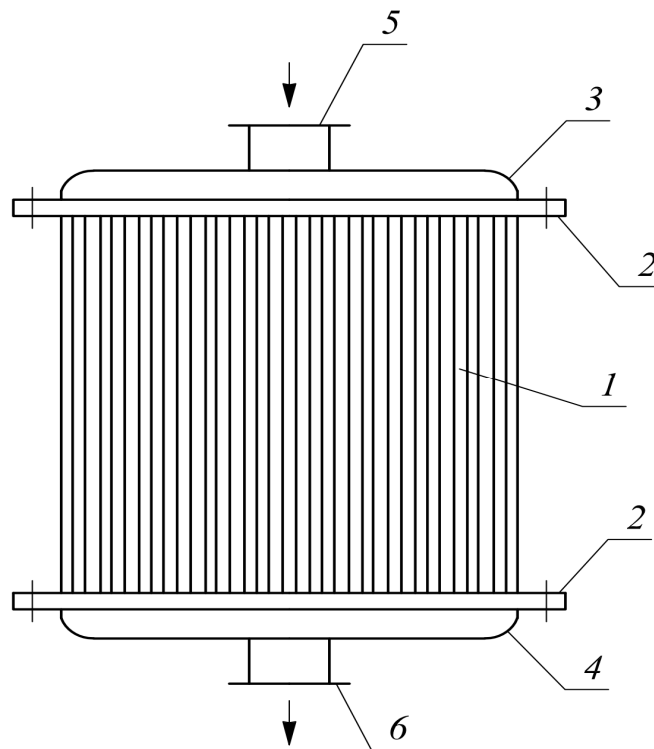


Рис. 2.1. Гладкотрубный калорифер

Холодный воздух подогревается, проходя в просветах между трубками. Ширина просветов составляет около 0,5 мм. Гладкотрубные калориферы применяют при малых количествах подогреваемого воздуха и малой степени его нагрева.

Пластинчатые калориферы (рис. 2.2.) состоят из трубок 1, на которые насажены пластинки 2 прямоугольной или круглой формы. Прямоугольные пластинки насажены на группу трубок. Теплоноситель поступает в калорифер через штуцер 3 в распределительную коробку 4, а затем, отдав теплоту нагреваемому воздуху, который проходит с большой скоростью через узкие каналы, удаляется через штуцер 5 из сборной коробки 6. Для лучшего контакта между пластинками и трубками наружная поверхность нагрева калориферов оцинковывается.

Пластинчатые калориферы имеют в настоящее время наибольшее распространение благодаря компактности, удобству монтажа и обслуживания. Пластинчатые калориферы бывают двух моделей – большой и средней, имеющих по направлению движения воздуха соответственно четыре и три ряда трубок. Применяют калориферы следующих марок: одноходовые – КФС, КФБ, КВБ, КЗПП, К4ПП и СТД3009В, многоходовые – КМС, КМБ, КЗВП, К4ВП, КВС, КВБ и СТД30ЮГ.

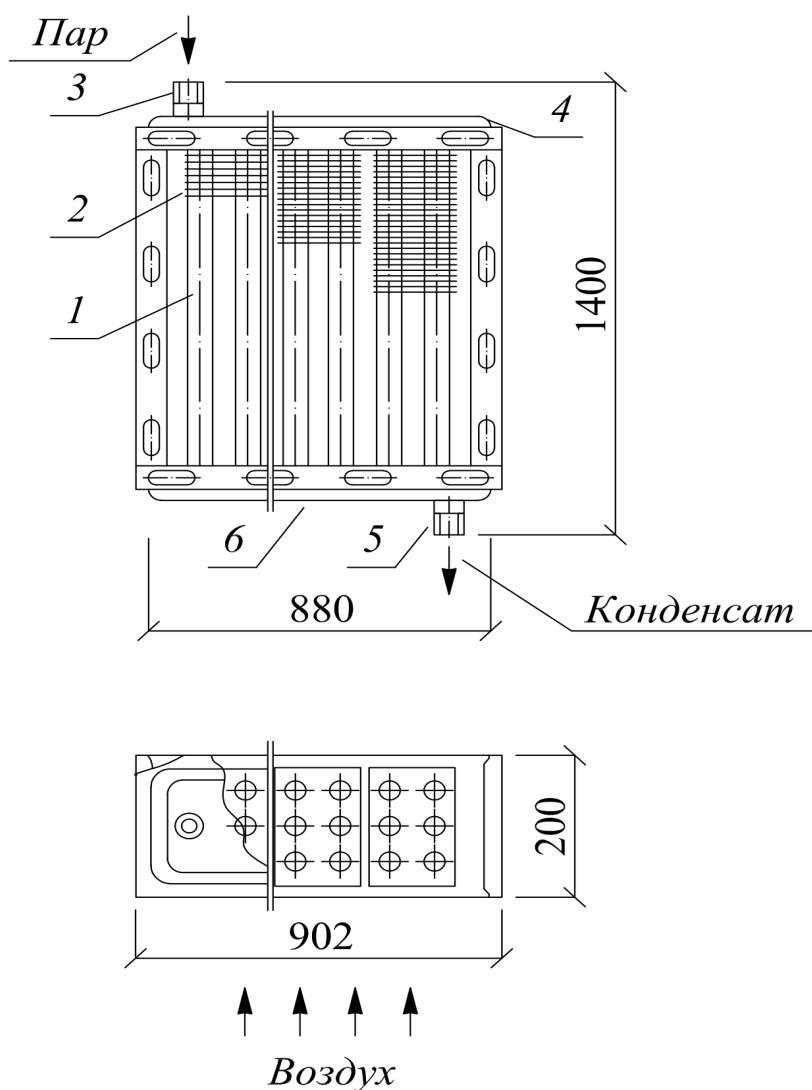


Рис. 2.2. Калорифер стальной пластинчатый

Калориферы КФС и КФБ (КФС – средняя модель, КФБ – большая модель) имеют соответственно три и четыре ряда трубок, расположенных в коридорном порядке. Стальные пластинки толщиной 0,5 мм прямоугольной формы размером 117x136 мм (КФС) и 117x175 мм (КФБ) насажены соответственно на

шесть и восемь трубок по всей их длине. Расстояние между пластинками в свету («живое сечение») 5 мм. Калориферы могут применяться при теплоносителях паре и воде. Штуцер для входа теплоносителя расположен наверху, а штуцер для выхода теплоносителя - внизу (по диагонали). Эти калориферы выпускаются десяти номеров - со второго по одиннадцатый - для работы при давлении теплоносителя до 0,8 МПа (8 кгс/см²).

На рис. 2.3. показан одноходовой калорифер КВБ, отличие которого от калорифера КФС состоит в зигзагообразном вместо коридорного расположении трубок.

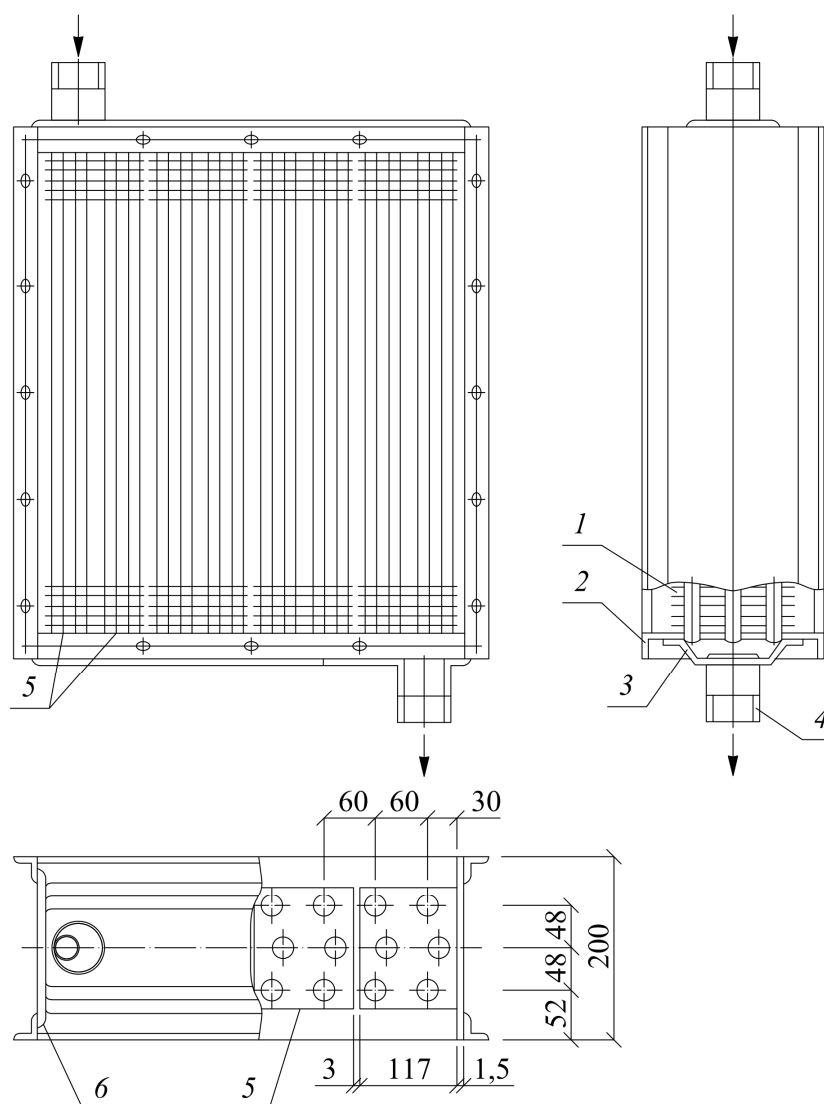


Рис. 2.3. Калорифер КВБ:

1 – трубка для прохода теплоносителя, 2 – трубная решетка, 3 – коллекторная крышка, 4 – присоединительный штуцер, 5 – пластинки оребрения по всей длине трубок, 6 – боковой щиток

Смещение осей трубок в поперечном направлении равно половине их наружного диаметра. Такое расположение трубок способствует турбулизации воздушного потока и увеличению коэффициента теплопередачи калориферов. Увеличение шага трубок в глубину снижает аэродинамическое сопротивление.

Калорифер КВБ по температурному режиму работы соответствует большой модели. При обогреве водой повышению теплоотдачи калориферов КВБ способствует их относительно небольшое живое сечение по теплоносителю.

Калориферы КМС и КМБ (КМС – средняя модель, КМБ, рис. 2.4. – большая модель) отличаются друг от друга габаритными размерами и площадью поверхности нагрева.

Калориферы КЗПП и К4ПП (КЗПП – средняя модель, К4ПП – большая модель) по конструкции аналогичны калориферам КФС и КФБ. Цифра в обозначении марок указывает число рядов трубок по ходу движения воздуха, последняя буква П – что калорифер пластинчатый, буква П в середине – что калорифер в паровом исполнении.

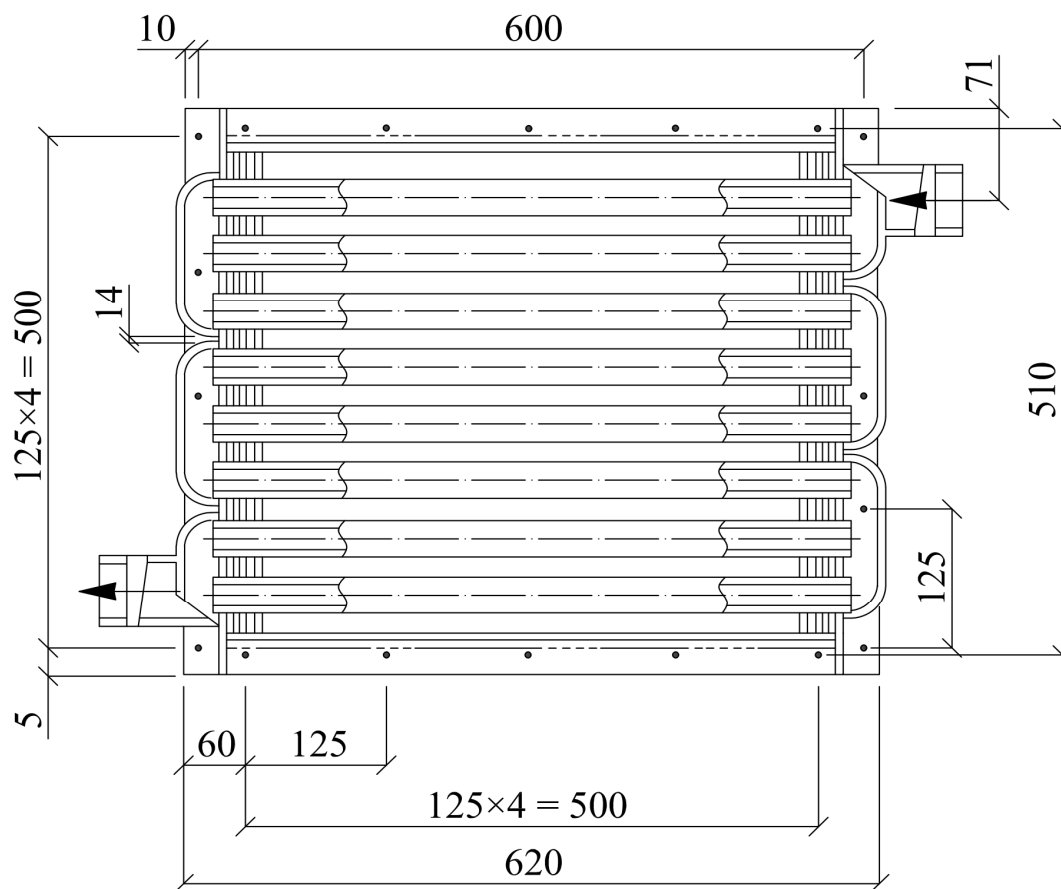


Рис. 2.4. Калорифер КМБ

Пластинки размером 117х136 мм (КМС) и 117х175 мм (КМБ) надеты соответственно на шесть и восемь трубок с шагом 0,5 мм. Толщина пластинок 0,5 мм. В коробках калориферов сделаны поперечные перегородки, с помощью которых создается последовательное движение воды по трубкам, приводящее к увеличению скорости ее движения и повышению теплоотдачи калориферов. Эти калориферы устанавливаются горизонтально; при установке их в вертикальном положении необходимо предусматривать в камерах отверстия для спуска воды и удаления воздуха из отсеков.

На рис. 2.4. показано диагональное расположение штуцеров, как правило, оно должно быть односторонним.

Калориферы КЗВП и К4ВП (КЗВП – средняя модель, К4ВП – большая модель) по конструкции аналогичны калориферам КФС и КФБ, но они многоходовые и выпускаются для теплоносителя воды, на что указывает буква В в середине обозначения марок – водяные.

Калориферы КВС и КВБ многоходовые (КВС – средняя модель, КВБ – большая модель) имеют пластинки, выполненные с диагональными гофрами для турбулизации потока воздуха, что способствует увеличению коэффициента теплопередачи калориферов. Толщина пластинок 0,5 мм, пластинки насажены на трубки с шагом 5,5 мм, внутренний диаметр трубок 12,8 мм, наружный диаметр 16 мм. Трубки расположены со смещением по ходу движения воздуха на половину диаметра, т. е. на 8 мм. Теплоноситель четыре раза меняет направление своего движения. Калориферы имеют съемные боковые щитки, что позволяет образовывать сплошную поверхность нагрева.

Эти калориферы предназначены для теплоносителя воды, их устанавливают с горизонтальным расположением трубок и входных патрубков, обеспечивая возможность удаления из них воздуха и спуска воды.

Калориферы СТД3009В и СТД30ЮГ (рис. 2.5.) имеют плоскоовальные трубки размером 75х10 мм. Глубина пластинок калориферов 90 мм, а шаг 3,7 мм. Калориферы СТД изготавливают пяти номеров (№ 5, 7, 8, 9, 14). Калориферы СТД3009В применяют как паровые и устанавливают с вертикальным располо-

жением трубок, а калориферы СТДЗОЮГ применяют как водяные и устанавливают с горизонтальным расположением трубок.

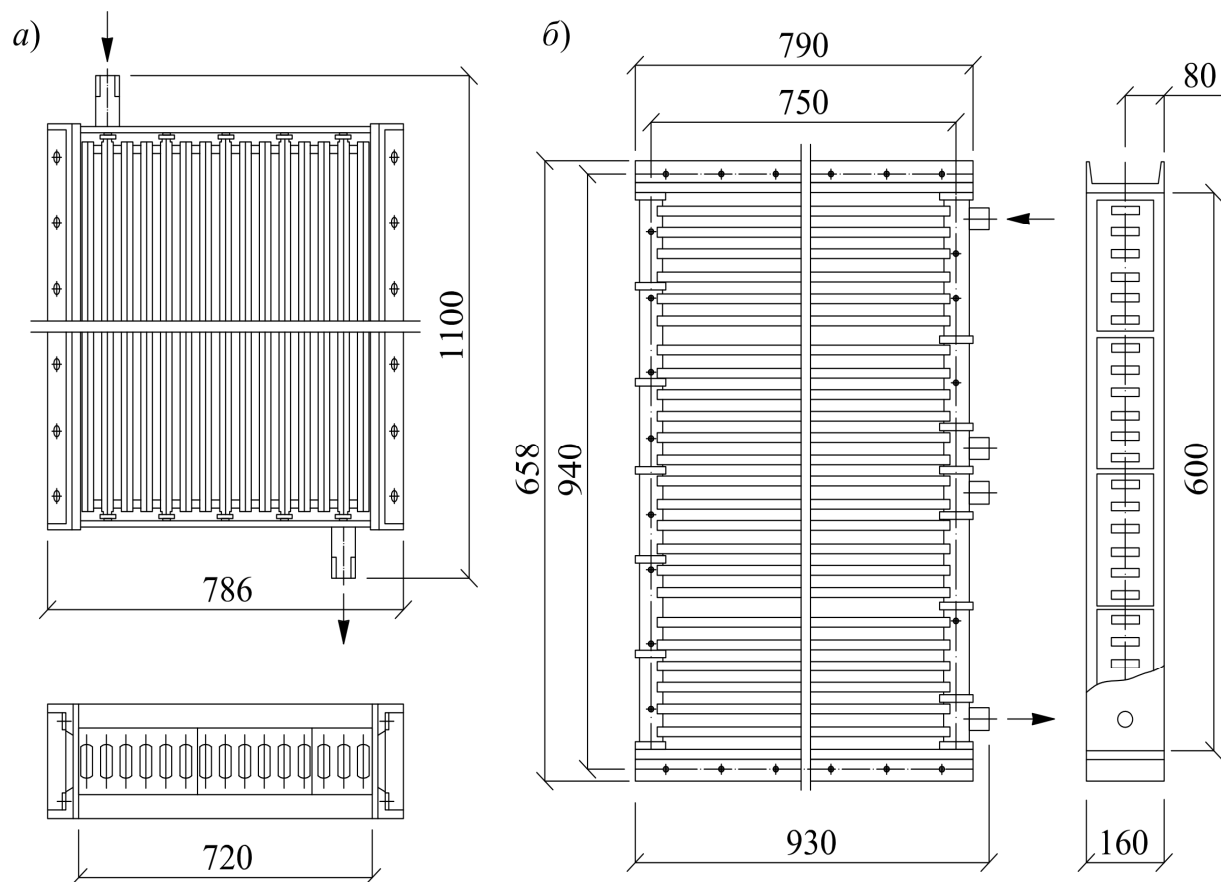


Рис. 2.5. Калорифер СТД:

а – одноходовой СТД3009В № 7, *б* – многоходовой СТД3010 Г № 5

Спирально-навивные калориферы (оребранные) изготавливают двух моделей: средней КФСО и большой КФБО. Поверхность нагрева оребранных калориферов создается навивкой стальной гофрированной ленты толщиной 0,4 мм и шириной 10 мм на трубки, по которым циркулирует теплоноситель; шаг ребер 4 мм (рис. 2.6.). Трубки калориферов расположены в шахматном порядке. Эти калориферы выпускаются одноходовыми и могут применяться при теплоносителях паре и воде при вертикальном расположении трубок.

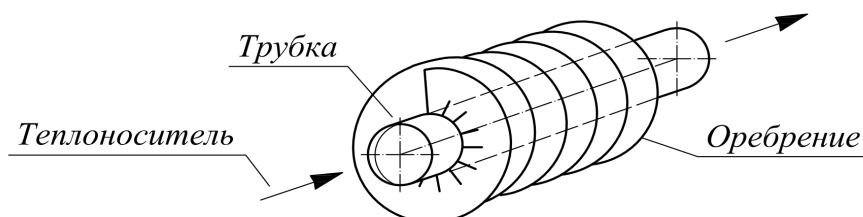


Рис. 2.6. Трубка калорифера со спирально-навивным оребрением

Электрические калориферы. Обогрев электрическим током применяют во многих отраслях промышленности, на коммунальных предприятиях вследствие следующих преимуществ перед нагревательными установками других типов:

- быстроты включения и выхода на номинальную мощность;
- выделения большой тепловой мощности в малом объеме и нагрев до высоких температур;
- возможности герметизации рабочего объема для создания в нем избыточного давления, вакуума или защитной атмосферы;
- простоты регулирования температурного режима при высокой степени равномерности нагрева;
- компактности электрических нагревателей;
- удобства механизации и автоматизации работы;
- улучшения условий труда.

Однако надо иметь в виду, что коэффициент полезного использования органического топлива, из которого получается большая часть электрической энергии, составляет $12,5 \div 17,5 \%$, если принимать к.п.д. тепловой электрической станции $25 \div 33 \%$, а суммарный к.п.д. электронагревательной установки $\approx 50 \%$. Поэтому при преобразовании химической энергии в электрическую, а затем в тепловую более 80% химической энергии топлива тратится впустую, что недопустимо ввиду ограниченности запасов органического топлива. Следовательно электрообогрев имеет большие перспективы в районах, где отсутствует органическое топливо, но имеется достаточное количество дешевой электроэнергии, получаемой на гидро- и атомных электростанциях.

Современная промышленность выпускает водяные и электрические калориферы (рис 2.7.), разработанные для применения в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, в кондиционерах типа Кт-10, Кт-20 и Кт-40 производительностью по воздуху 10, 20 и 40 тыс. м³/ч и тепловой мощностью 10,

50, 150 и 200 кВт, а также в кондиционерах, предлагаемых фирмой «Веза» (табл. 2.1). Электрокалориферы могут переключаться для питания напряжениями 220 и 380 В.

Электрические калориферы (воздухонагреватели) состоят из кожуха и трубчатых нагревательных элементов – ТЭН, подключенных «звездой», треугольником или параллельно и оребренных для увеличения площади поверхности нагрева.

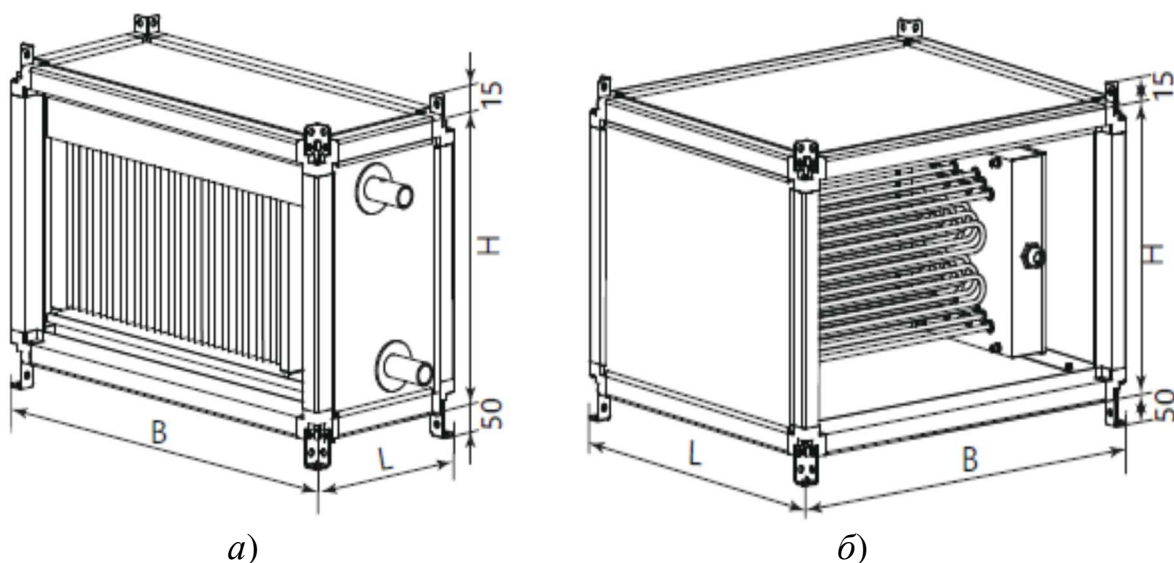


Рис. 2.7. Внешний вид калориферов фирмы КОРФ:
а – водяной, б – электрический

Таблица 2.1.

Таблица мощности электрокалориферов

Типоразмер	Мощность электрокалорифера, кВт/ кол-во ступеней регулирования						Мощность одного ТЭНа, кВт
	6	9	-----	-----	-----	-----	
AIRMATE 800	6	9	-----	-----	-----	-----	-----
AIRMATE 1200	6	8	-----	-----	-----	-----	-----
AIRMATE 2000	4,5/1	9/2	13,5/3	18/4	22,5/4	27/4	1,5
AIRMATE 4000	22,5/3	30/3	37,5/3	45/3	52,5/4	-----	2,5
AIRMATE 6000	33,6/3	58,8/4	75,6/4	-----	-----	-----	2,8

Нагревательные элементы установлены внутри кожуха в несколько рядов и разделены на самостоятельно регулируемые секции, с помощью которых можно регулировать степень нагрева воздуха. Электронагреватели могут вклю-

чаться плавно или ступенчато, обеспечивая плавный набор установленной мощности. Температура на поверхности оребрения ТЭНа обычно не превышает 190 °С. Для защиты от перегрева электронагреватели оснащены температурным реле. Корпус электронагревателя выполнен из оцинкованной стали и имеет клемму для заземления.

Достоинство электрокалориферов – отсутствие промежуточных теплоносителей, таких как пар или вода, из-за чего отпадает необходимость в устройстве громоздкой системы теплоснабжения.

Стоимость производства 1 Вт теплоты в электрокалориферах выше, чем в калориферах, использующих в качестве теплоносителя пар или воду.

Расчет электрокалориферов, в которых использованы трубчатые нагревательные элементы, сводится к определению их числа и установочной мощности для получения требуемой теплоотдачи.

Трубчатые нагревательные элементы. Современные трубчатые электрические нагреватели (ТЭНы) представляют собой металлический патрон – обычно трубу из латуни, меди, углеродистой стали или аустенитной хромоникелевой стали X18Н10Т, внутри которого запрессована в наполнителе спираль из нихромовой проволоки. В качестве наполнителя применяют кварцевый песок, окись алюминия (электрокорунд), плавленную окись магния (периклаз) и другие материалы. Наполнители служат с одной стороны электроизоляцией, а с другой – проводником теплоты.

Трубчатые электронагреватели (ТЭНы) изготавливают одно- и двуспиральными. Спирали выполняют из нихромовой проволоки диаметром 0,2 ÷ 1,6 мм; их располагают в трубе диаметром 7 ÷ 19 мм. Между трубой и спиралью засыпают наполнитель в виде порошка одного из указанных выше материалов. Для уплотнения трубу обсаживают на меньший диаметр (например, с 14 на 11,8 мм). В готовом виде сечение труб может быть круглым, треугольным или ромбическим. Освоено изготовление ТЭН в виде кабелей-нагревателей с монолитной жилой из константы и с магнезитовой изоляцией. Такие кабели закладывают в полы, стены и потолки жилых помещений для обогрева, в покрытия дорог

и мостов, взлетных полос аэродромов для защиты их от обледенения. Срок службы ТЭН превышает $5 \div 8$ лет.

Для удобства обозначений ввели следующую рабочую индексацию ТЭНов: ГЭБ – а,аа-вв-сс-d,d-e,e-Ш, где:

а,аа – обозначает погонную мощность q_L ТЭНа, тыс.ккал/м;

вв – диаметр d_0 трубчатого ТЭНа, мм;

сс – диаметр D оребрения, мм,

d,d – шаг S_p расположения ребер, мм;

e,e – толщина δ_p ребра, мм;

Ш – длина $l_{акт}$ активной части ТЭНа, мм.

Аналогичные по конструкции ТЭНы из нержавеющей стали производят ряд фирм в России и на Украине. Их некоторые технические характеристики приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Геометрические характеристики ТЭНов,
применяемых в электрокалориферах кондиционеров КЦКП

№	Тип ТЭНа	q_L тыс. ккал/м	d мм	D мм	S_p мм	δ_p мм	$l_{акт}$ мм	Фирма изготовитель
1.	2,25-8-21-3,2-0,2	2,25	8	21	3,2	0,2	-	Yankievich
2.	1,30-8-21-3,45-0,2	1,30	8	21	3,45	0,2	-	GEA
3.	2,00-8,5-28-5,0-0,3	2,00	8,5	28	5,0	0,3	-	DEW
4.	1,50-8,5-24-3,4-0,2	1,50	8,5	24	3,4	0,2	-	Агроюгокооперация
5.	1,38-13-32-6,5-0,3	1,38	13	32	6,5	0,3	-	Караджи

По информации, полученной от производителей ТЭНов, они могут быть изготовлены практически с любыми требуемыми удельными мощностными характеристиками.

На базе этих и подобных им ТЭНов могут быть разработаны различные модификации электрических воздухонагревателей центральных кондиционеров. Для проведения этих разработок прежде всего необходимо определить величины допускаемых удельных нагрузок на ТЭНы, при которых они будут надежно работать при минимально допустимых скоростях воздушного потока.

3. Установка калориферов

Установка калориферов по отношению к проходящему через них воздуху может быть параллельной и последовательной (рис. 3.1). В первом случае воздух встречает на своем пути сопротивление только одного калорифера при сравнительно небольшой скорости, а во втором он преодолевает сопротивление нескольких последовательно установленных калориферов при значительно большей скорости, чем в первом случае, в связи с чем сопротивление проходу воздуха при последовательной установке значительно больше, чем при параллельной.

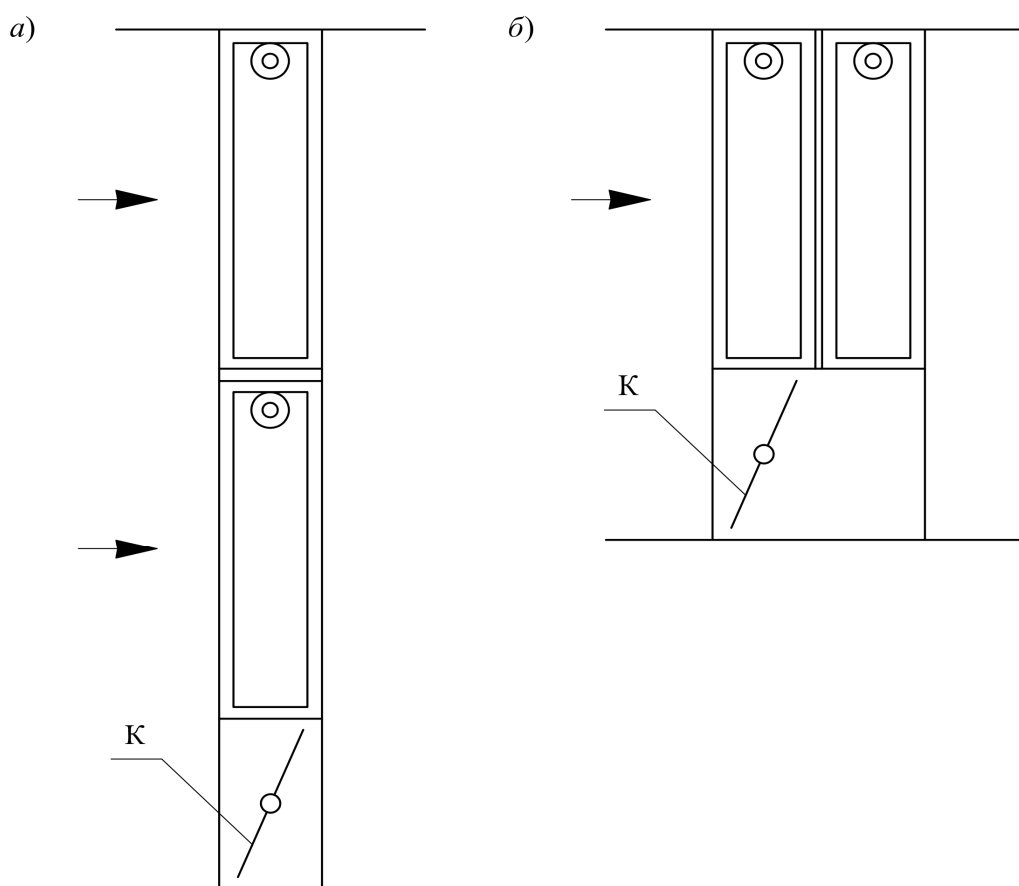


Рис. 3.1. Схемы установки калориферов по воздуху:
а – параллельно, б – последовательно, К – обводной клапан

Параллельная установка калориферов по воздуху применяется тогда, когда требуется нагреть большое количество воздуха на небольшую разность температур, а *последовательная* установка калориферов по воздуху необходима при большой степени нагрева воздуха, т.е. при большой разности конечной и начальной температур t_k и t_n .

При выборе схемы установки калориферов по воздуху следует обращать внимание на то, чтобы массовая скорость при движении воздуха в живом сечении калориферов находилась в пределах $4 \div 12 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Для регулирования теплоотдачи калорифера и изменения степени нагрева воздуха предусматривают установку обводного клапана (рис. 3.2.).

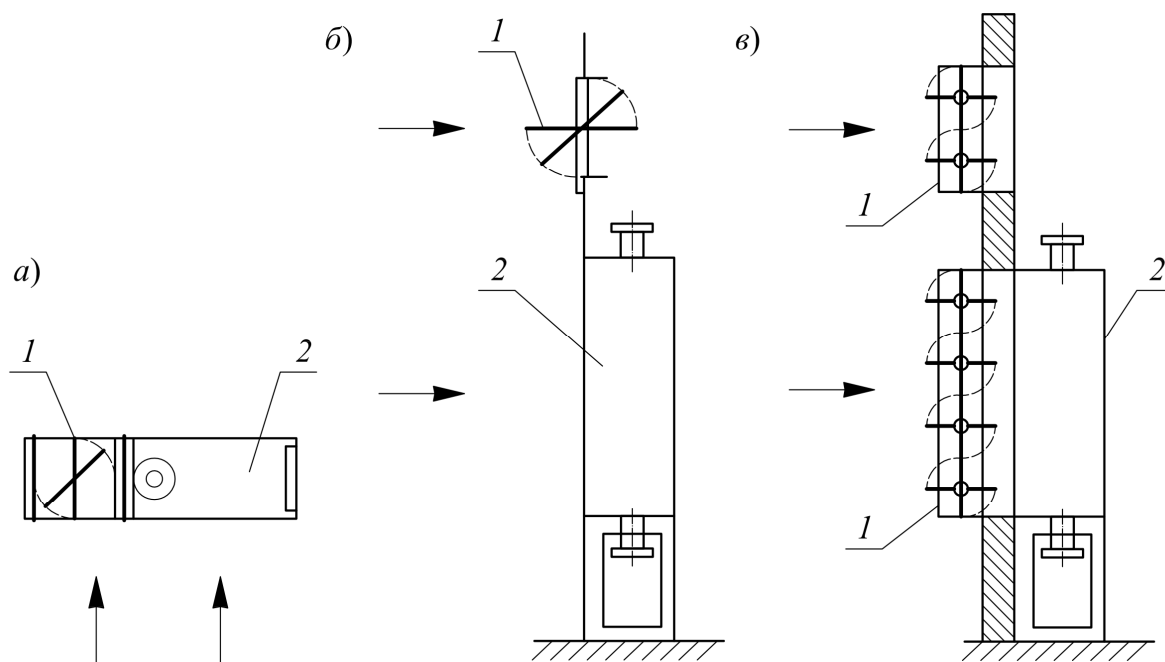


Рис. 3.2. Обводные клапаны 1 калориферы 2

а – вертикальный, *б* – горизонтальный, *в* – двойной многостворчатый

Регулирование температуры приточного воздуха осуществляют путем открытия обводного клапана и пропуска через него некоторого количества холодного воздуха, минуя калориферы. При теплоносителе паре установка обводного клапана обязательна, так как пар не поддается качественному регулированию, а температура его слишком высока ($> 100 \text{ }^\circ\text{C}$).

Количественное регулирование пара не может быть применено, так как в малом количестве он быстро отдает теплоту и калориферы могут замерзнуть. При теплоносителе воде установка обводного клапана возможна, но не обязательна.

В калориферной установке все калориферы должны быть одинаковыми по типу, модели и номеру.

Обвязку калориферов трубопроводами осуществляют по двум схемам - параллельной и последовательной (прил. В).

Если в качестве теплоносителя применяется вода, то обвязка калориферов трубопроводами возможна как по параллельной, так и по последовательной схемам. При теплоносителе - воде для увеличения теплоотдачи калориферов и уменьшения площади поверхности нагрева предпочтение следует отдавать последовательной схеме движения воды по трубкам, при которой скорость движения воды увеличивается до $0,2 \div 0,4$ м/с. Однако не следует стремиться увеличивать скорость воды более $0,5$ м/с, так как в этом случае не наблюдается значительного увеличения теплоотдачи, а гидравлическое сопротивление калориферов возрастает значительно.

4. Применение калориферов

Пластинчатые и спирально-навивные калориферы изготавливают одноходовыми с вертикальным расположением трубок.

Многоходовые пластинчатые калориферы изготавливают с горизонтальным расположением трубок.

При теплоносителе воде следует применять многоходовые калориферы и последовательное соединение как многоходовых, так и одноходовых калориферов. Допускается параллельное соединение рядов калориферов, расположенных последовательно по ходу движения воздуха.

При теплоносителе паре (перегретом или насыщенном) рекомендуется применять одноходовые калориферы, расчет следует производить на разность между температурой насыщенного пара и средней температурой воздуха

Расчет площади поверхности нагрева калориферов систем вентиляции и кондиционирования воздуха, совмещенных с воздушным отоплением и запроектированных для подачи наружного воздуха в количествах, необходимых для вентиляции в течение холодного периода года в пределах, ограниченных расчетными параметрами, рекомендуется производить:

– при теплоносителе паре - по суммарной потребности в теплоте на отопление и вентиляцию (при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года, соответствующей расчетным параметрам Б);

– при теплоносителе воде - с качественным или количественно-качественным регулированием по суммарной потребности в теплоте на отопление и вентиляцию (при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года, соответствующей расчетным параметрам Б).

Действительное количество теплоты, подводимого к калориферу, следует определять по сумме расходов теплоты на отопление и вентиляцию (соответствующих расходу при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года по расчетным параметрам Б). Количество теплоносителя нужно определять с учетом условной потребности, рассчитанной по теплоносителю - воде.

Калориферы первого подогрева систем кондиционирования воздуха и приточных вентиляционных систем с увлажнением приточного воздуха при теплоносителе воде надо проверять на режимы эксплуатации, соответствующие температуре и температурам в точках излома графика температур воды в тепловых сетях. При необходимости следует увеличить площадь поверхности нагрева по сравнению с установленной по основному расчетному режиму.

5. Защита калориферов от замерзания

Причинами замерзания калориферов, работающих на паре, могут быть недостаточная производительность или неправильная установка конденсатоотводчиков, падение давления пара, неисправность запорной арматуры на паропроводах перед калориферами. Все это приводит к скапливанию конденсата в нижней части калориферов и замерзанию их при низких температурах.

При теплоносителе воде калориферы могут замерзать при малых скоростях теплоносителя, особенно при движении воды снизу-вверх, причем наибольшей опасности замерзания подвергаются калориферы с последовательным соединением по теплоносителю. В этом случае необходимо стремиться к

повышению скорости движения воды в трубках калорифера либо применять многоходовые калориферы с горизонтальным расположением трубок. Также снижение запаса площади поверхности нагрева и организация подачи воды сверху вниз уменьшают опасность замерзания калориферов.

Для предотвращения замерзания калориферов, а также для поддержания их нормальной работы необходимо соблюдение установленных параметров теплоносителя и расчетных объемов и температур нагреваемого воздуха, проходящего через калориферы. В местах поступления в приточную вентиляционную камеру наружного воздуха обязательна установка утепленного, легко и плотно закрывающегося клапана. Очистка горячей воды в фильтре-грязевике перед ее поступлением в калориферы способствует нормальной эксплуатации трубок калориферов (предотвращает их засорение) и является существенной мерой против их замерзания. С этой же целью необходимо промывать трубки калориферов 1 раз в 2 ÷ 3 года.

Наряду с этими мерами применяются системы автоматического управления притоком холодного воздуха, использующие термостаты защиты от замерзания водяных теплообменников, например термостат NTF на рис. 5.1..



Рис. 5.1. Термостат защиты от замерзания NTF, фирмы Shuft K.S. (Дания)

Термостаты защиты контролируют температуру воздуха после калорифера и по её величине управляют температурой приточного воздуха.

Измерение температуры термостатом производится при помощи капиллярного датчика, который монтируется за водяным калорифером. Капиллярный

датчик должен быть установлен после водяного калорифера по всему его периметру, приблизительно на расстоянии 5 см от оребрения см. рис. 5.2.

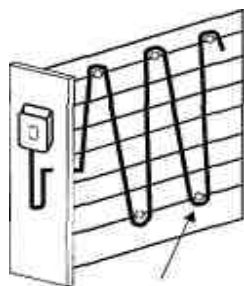


Рис. 5.2. Установка капиллярного датчика на водяной калорифер

Если температура в любом месте капиллярного датчика падает ниже выставленной, то срабатывает переключающее реле (рис. 5.3), которое подает сигнал об угрозе замерзания калорифера. Если температура воздушного потока на датчике за водяным калорифером больше выставленной, контакты 1 и 4 замыкаются и на вентилятор подается питающее напряжение. Если температура воздуха на датчике падает и становится меньше выставленной (угроза замерзания теплоносителя в водяном калорифере), контакты 1 и 2 замыкаются и приточный вентилятор выключается.

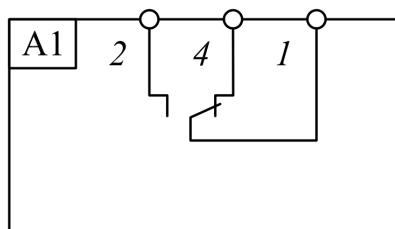


Рис. 5.3. А1 – термостат защиты от замерзания NTF-P

6. Тепловой расчет калориферов

6.1. Расчет водяных и паровых калориферов

Расход теплоты для нагревания воздуха определяют по формуле:

$$Q = Gc(t_k - t_n), \quad (6.1)$$

где Q – расход теплоты для нагревания воздуха, Вт; G – масса нагреваемого в единицу времени воздуха (массовый расход), кг/с, равное $L\rho$ (здесь L – объем нагреваемого в единицу времени воздуха (объемный расход), м³/с; ρ – плотность воздуха (при температуре t_k), кг/м³); c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·К); t_k – температура воздуха после калорифера, °С; t_n – температура воздуха до калорифера, °С.

Для калориферов первой ступени подогрева температура t_n равна температуре наружного воздуха.

Температура наружного воздуха принимается равной расчетной вентиляционной t_n^B (параметры климата категории Б) при проектировании общеобменной вентиляции, предназначенной для борьбы с избытками влаги, тепла и газами, ПДК которых больше 100 мг/м^3 . При проектировании общеобменной вентиляции, предназначенной для борьбы с газами, ПДК которых меньше 100 мг/м^3 , а также при проектировании приточной вентиляции для компенсации воздуха, удаляемого через местные отсосы, технологические вытяжки или системы пневматического транспорта, температура наружного воздуха принимается равной расчетной наружной температуре t_n для проектирования отопления (параметры климата категории Б).

В помещение без теплоизбытков следует подавать приточный воздух с температурой, равной температуре внутреннего воздуха t_v и для данного помещения. При наличии теплоизбытков приточный воздух подают с пониженной температурой (на $5 \div 8 \text{ }^\circ\text{C}$). Приточный воздух с температурой ниже $10 \text{ }^\circ\text{C}$ не рекомендуется подавать в помещение даже при наличии значительных тепловыделений из-за возможности возникновения простудных заболеваний. Исключения составляют случаи применения специальных анемостатов.

Необходимую площадь поверхности нагрева калориферов $A_k, \text{ м}^2$, определяют по формуле

$$A_k = \frac{\eta Q}{K(t_{\text{ср.т}} - t_{\text{ср.в}})}, \quad (6.2)$$

где Q – расход теплоты на нагревание воздуха, Вт; K – коэффициент теплопередачи калорифера, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $t_{\text{ср.т}}$ – средняя температура теплоносителя, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{ср.в}}$ – средняя температура нагреваемого воздуха, проходящего через калорифер, $^\circ\text{C}$, равная $(t_n + t_k)/2$, η – коэффициент запаса, принимаемый равным $1,1 \div 1,2$, учитывает потери теплоты на охлаждение воздуха в воздуховодах.

Если теплоноситель – пар, то средняя температура теплоносителя $t_{\text{ср.т}}$ равна температуре насыщения при соответствующем давлении пара.

Для воды температура $t_{\text{ср.т}}$ определяется как среднее арифметическое температуры горячей и обратной воды $t_{\text{ср.т}} = (t_{\text{г}} + t_{\text{о}})/2$.

Коэффициент теплопередачи калориферов K зависит от вида теплоносителя, массовой скорости движений воздуха v_{ρ} через калорифер, геометрических размеров и конструктивных особенностей калориферов, скорости движения воды по трубкам калорифера.

Под массовой скоростью понимают массу воздуха в кг, проходящего за 1 с через 1 м² живого сечения калорифера. Массовую скорость v_{ρ} , кг/(с·м²), определяют по формуле

$$v_{\rho} = G/a_{\text{ж}}, \quad (6.3)$$

где $a_{\text{ж}}$ – площадь живого сечения калорифера, м².

Введение массовой скорости упрощает расчет, так как в отличие от линейной массовая скорость в процессе нагревания воздуха остается постоянной вследствие неизменности его массы при нагреве.

Требуемую площадь живого сечения калорифера $a_{\text{ж}}$, м², определяют, предварительно задавшись массовой скоростью v_{ρ} :

$$a_{\text{ж}} = G/v_{\rho}. \quad (6.4)$$

По площади живого сечения $a_{\text{ж}}$ и поверхности нагрева $A_{\text{к}}$ подбирают модель, марку и число калориферов. После выбора калориферов уточняют по действительной площади живого сечения калорифера $a_{\text{д}}$ данной модели массовую скорость движения воздуха.

Коэффициент теплопередачи калориферов, определяемый опытным путем, приводится в таблицах или на графиках.

При теплоносителе паре коэффициент K выражается формулой

$$K = A(v_{\rho})^n, \quad (6.5)$$

а при теплоносителе воде – формулой

$$K = A_1(v_{\rho})^{n_1}v^m, \quad (6.6)$$

где A , A_1 , n , n_1 , и m – коэффициенты и показатели степеней, зависящие от конструкции калорифера; их числовые значения даны в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

Расчетные формулы для коэффициента теплопередачи K и сопротивления Δp калориферов

Марка калорифера	Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м ² ·К)			Сопротивление одного ряда калориферов прохождению воздуха Δp , Па
	при теплоносителе паре	при теплоносителе воде, движущейся в трубках калорифера со скоростью v , м/с		
		0,02 – 0,25	0,25 – 1	
КФС	$14,07(v_p)^{0,566}$	$15,24(v_p)^{0,331}v^{0,166}$	$12,91(v_p)^{0,393}v^{0,105}$	$1,197(v_p)^{1,76}$
КФБ	$11,63(v_p)^{0,42}$	$15,24(v_p)^{0,331}v^{0,166}$	$11,05(v_p)^{0,446}v^{0,094}$	$1,715(v_p)^{1,72}$
КВБ (одноходовой)	$17,75(v_p)^{0,351}$	$21,22(v_p)^{0,257}v^{0,192}$	$17,75(v_p)^{0,3431}v^{0,149}$	$1,485(v_p)^{1,69}$
КФСО	$18,55(v_p)^{0,44}$	$22,23(v_p)^{0,384}v^{0,201}$	$16,55(v_p)^{0,501}v^{0,122}$	$3,29(v_p)^{2,01}$
КФБО	$16,5(v_p)^{0,456}$	$20,75(v_p)^{0,381}v^{0,178}$	$14,75(v_p)^{0,517}v^{0,133}$	$4,23(v_p)^{1,94}$
СТД3009В, СТД3010Г	$17,18(v_p)^{0,339}$	$18,8(v_p)^{0,302}v^{0,149}$	$15,35(v_p)^{0,371}v^{0,81}$	$1,53(v_p)^{1,73}$
КВС (многоходовой)	—	$19,72(v_p)^{0,32}v^{0,13}$		$2,72(v_p)^{1,65}$
КВБ (многоходовой)	—	$20,81(v_p)^{0,32}v^{0,132}$		$2,16(v_p)^{1,62}$

Скорость движения воды v в трубках калорифера, м/с, определяют по формуле

$$v = Q / \rho_v c_v a_{ж} (t_{г} - t_{о}), \quad (6.7)$$

где Q – расход теплоты для нагревания воздуха, кВт; ρ_v – плотность воды, кг/м³; c_v – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К); $a_{ж}$ – площадь живого сечения для прохода теплоносителя, м²; $t_{г}$ – температура горячей воды в подающей магистрали, °С; $t_{о}$ – температура обратной воды, °С.

На теплоотдачу калориферов влияет схема обвязки их трубопроводами. При параллельной схеме присоединения трубопроводов через отдельный калорифер проходит только часть теплоносителя, а при последовательной схеме через каждый калорифер проходит весь расход теплоносителя.

Сопротивление калориферов прохождению воздуха Δp , Па, выражается формулой:

$$\Delta p = B(v_p)^z, \quad (6.8)$$

где B и z – коэффициент и показатель степени, которые зависят от конструкции калорифера. Формулы для определения сопротивления калориферов при-

введены в табл. 6.1. Сопротивление последовательно расположенных калориферов равно:

$$\Delta p_{\text{общ}} = \Delta p \cdot m, \quad (6.9)$$

где m – число последовательно расположенных калориферов.

Расчет заканчивается проверкой теплопроизводительности (теплоотдачи) калориферов по формуле

$$Q_k = A_k K (t_{\text{ср.т}} - t_{\text{ср.в}}), \quad (6.10)$$

где Q_k – теплоотдача калориферов, Вт; A_k – площадь поверхности нагрева калориферов, м^2 , принятая в результате расчета калориферов данного типа; K – коэффициент теплопередачи калориферов, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $t_{\text{ср.в}}$ – средняя температура нагреваемого воздуха, проходящего через калорифер, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ср.т}}$ – средняя температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$.

При расчете калориферов для нагревания воздуха в приточной системе общеобменной вентиляции, когда температура наружного воздуха зимой принимается по параметрам климата категории В, температура воды в горячей и обратной магистралях берется по графику температуры воды в тепловой сети в зависимости от температуры наружного воздуха.

При подборе калориферов запас на расчетную площадь поверхности нагрева принимают в пределах $10 \div 20 \%$, запас на сопротивление проходу воздуха – 10% и на сопротивление движению воды – 20% .

6.2. Расчет электрокалориферов

Тепловой поток Q , Вт, выделяемый нагревателем, равен мощности проходящего через проводник электрического тока

$$Q = I^2 \cdot R = \alpha A \cdot \Delta T, \quad (6.11)$$

где I – сила тока, А; R – электрическое сопротивление проводника, Ом; α – коэффициент теплоотдачи от проводника к окружающей среде, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; A – площадь поверхности проводника, м^2 ; ΔT – разность температур между проводником и окружающей средой, $^{\circ}\text{C}$.

Расход теплоты при нагреве составляет

$$Q' = Q \cdot \tau, \quad (6.12)$$

где Q' – количество теплоты, Дж; τ – время нагрева, сек.

При заданном расходе теплоты потребляемая мощность P , Вт, электронагревателя с учетом потерь к.п.д. $\eta = 0,95$ равна

$$P = \frac{Q'}{0,95 \times \tau} \quad (6.13)$$

При известной температуре проводника его электрическое сопротивление R_t , Ом, можно найти по формуле

$$R_t = R_0 [1 + \beta (t - t_0)], \quad (6.14)$$

где R_0 – сопротивление проводника, Ом; при нормальной температуре t_0 , °С; β – температурный коэффициент сопротивления, град⁻¹.

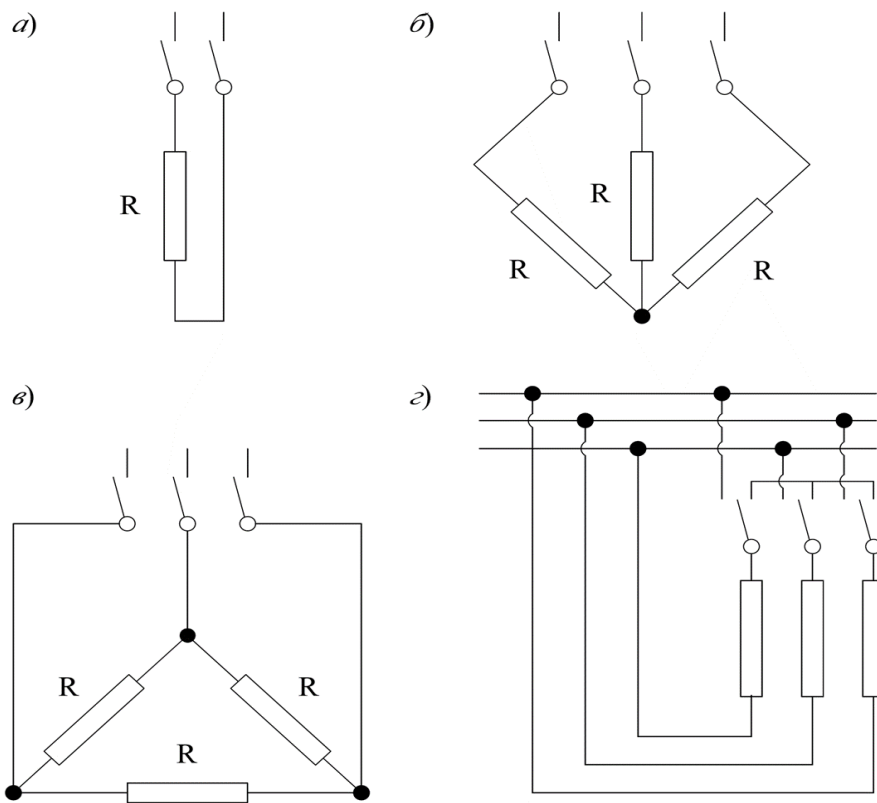


Рис. 6.1. Схемы включения электронагревателей:

а – при постоянном или однофазном переменном токе, при трехфазном переменном токе б – звездой, в – треугольником, г – с переключением со звезды на треугольник

Электронагреватели могут работать на постоянном и на переменном токе (однофазном или трехфазном) при различных напряжениях. Мощность установки можно изменять переключением секций. Различные схемы включения нагревателя показаны на рис. 6.1.

Регулировка температуры и мощности электронагревателей осуществляется регулированием силы электрического тока путем:

- переключения со звезды на треугольник, как показано на рис. 6.1.г;
- включения реостатов;
- установки ступенчатых трансформаторов;
- включения и выключения электротока.

Выбор трубчатых электрических нагревателей. Трубчатые электронагреватели подбирают на основании рекомендуемой предельно допустимой мощности P Вт, отнесенной к единице теплопередающей поверхности нагревателя A_n м²

$$q = P/A_n \text{ Вт/м}^2 \quad (6.15)$$

или к единице длины L м для трубчатых электронагревателей таблица 2.2

$$q_L = P/L \text{ Вт/м.}$$

Для определения предельно допустимых мощностей ТЭН необходимо принимать во внимание факторы: условия работы электронагревателя, допустимые температуры нагрева корпуса электронагревателя, электроизоляционного наполнителя, спирали внутри нагревателя.

В отдельных случаях значения рекомендуемой и предельно допустимой удельной мощности не зависят от материалов трубки и наполнителя, но ограничиваются свойствами нагреваемого вещества, недопустимостью его перегрева у поверхности ТЭН. Предельно допустимые значения удельной мощности могут быть оправданы только для кратковременной работы – в течение нескольких десятков часов. Как правило, следует пользоваться рекомендуемыми значениями удельной мощности нагревателя. При проектировании электронагревательных установок для многолетней работы и установок особой надежности следует уменьшать вдвое рекомендуемые предельно допустимые значения удельной мощности. Подбор ТЭН производят в следующем порядке. По полезной теплоте и тепловым потерям определяют потребляемое количество теплоты $Q_{\text{полн}}$, Вт, от нагревателя по формуле

$$Q_{\text{полн}} = G_M \cdot c_M (t''_m - t'_m) + Q'_5, \quad (6.16)$$

где Q'_5 – потери теплоты в окружающую среду, Вт; G_M – массовый расход нагреваемого теплоносителя, кг/с; $G_M \cdot c_M (t''_m - t'_m)$ – теплота нагрева, в которую могут входить составляющие, учитывающие теплоту плавления, парообразования или теплоту химической реакции.

Выбрав значение удельной мощности, по приложению Е можно определить активную поверхность электронагревателя

$$A_{\text{акт}} = Q_{\text{полн}} / \sigma ,$$

или активную длину трубчатого электронагревателя

$$L_{\text{акт}} = Q_{\text{полн}} / q_L .$$

7. Практикум

7.1. Тепловой расчет для подбора водяного калорифера КФБ

Задание: Подобрать калориферную установку из калориферов КФБ для нагревания 59250 кг/ч воздуха при следующих условиях: расчетная наружная температура для отопления $t_n = -30$ °С (параметры климата категории Б); расчетная наружная температура для проектирования вентиляции $t^* = -23$ °С (параметры климата категории Б); температура нагретого (приточного) воздуха $t_k = 25$ °С; теплоноситель – перегретая вода с $t' = 150$ °С и $t'' = 70$ °С, Прил. А.

Решение:

1. Определяем по формуле (6.1) расход теплоты на подогрев приточного воздуха:

$$Q = Gc(t_k - t_n) = 59250 \cdot 1 [25 - (-23)] / 3600 = 790 \text{ кВт}.$$

2. Задаваясь массовой скоростью, $v_p = 9$ кг/(с·м²), определяем по формуле (6.4) необходимую площадь живого сечения калориферной установки:

$$a_{\text{ж}} = G/v_p = 59250 / (3600 \cdot 9) = 1,815 \text{ м}^2.$$

Калориферов с такой площадью живого сечения по воздуху не имеется см. таблицу П.Г.1 Приложения Г, и приходится ставить параллельно три калорифера марки КФБ-11 сечением по 0,638 м²:

$$a_{\text{ж}} = 3 \cdot 0,638 = 1,914 \text{ м}^2.$$

3. Определяем по формуле (6.5) действительную массовую скорость движения воздуха:

$$v_p = 59250/(3600 \cdot 1,914) = 8,48 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

4. Принимаем последовательную установку калориферов по воде, поэтому вся вода должна пройти через площадь сечения трубок каждого калорифера. Площадь сечения трубок (живого сечения по воде) одного калорифера КФБ-11 составляет $a_{\text{тр}} = 0,0163 \text{ м}^2$ (Прил. Г.3.).

5. Определяем параметры воды при входе в калорифер и при выходе из него t' и t'' по температурному графику (Прил. Б) в зависимости от $t_{\text{н}}$. При $t_{\text{н}} = -30 \text{ }^\circ\text{C}$ температуры $t' = 126 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t'' = 60 \text{ }^\circ\text{C}$.

6. Определяем по формуле (6.8) скорость воды в трубках калорифера:

$$v = 790/(1000 \cdot 4,19 \cdot 0,016(126 - 60)) = 0,179 \text{ м}/\text{с}.$$

7. По таблице П.Г.1. Приложения Г находим при $v = 0,179 \text{ м}/\text{с}$ и $v_p = 8,48 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ коэффициент теплопередачи $K = 23,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

8. Определяем суммарную теплопроизводительность трех калориферов КФБ-11 с площадью поверхности нагрева каждого $A_{\text{к}} = 69,9 \text{ м}^2$. Тогда по формуле (6.2) при $A_{\text{к}} = 69,9 \cdot 3 = 209,7 \text{ м}^2$:

$$Q_{\text{к}} = A_{\text{к}} \cdot K \cdot \Delta t = 209,7 \cdot 23,7 \cdot ((126 + 60)/2 - (-23 + 25)/2) = 457,3 \text{ кВт} < 790 \text{ кВт}.$$

Из расчета видно, что в одном ряду калориферов нагреть воздух до нужной температуры нельзя. Тогда принимаем к установке не три, а шесть таких же калориферов, группируя их в два ряда последовательно, по три в ряду. Подключение калориферов производим так, чтобы вода проходила через все шесть калориферов последовательно. В этом случае скорость воды в трубках калориферов останется прежней и будет равна $0,179 \text{ м}/\text{с}$, а $v_p = 8,48 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, чему соответствует $K = 23,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

9. Теплопроизводительность в этом случае составит:

$$Q_{\text{к}} = 69,6 \cdot 6 \cdot 23,7 \cdot ((126 + 60)/2 - (-23 + 25)/2) = 910500 \text{ Вт}.$$

10. Запас будет равен: $((910500 - 790000)/790000) \cdot 100 = 14,8 \%$.

11. Потери давления по воздуху для двух рядов калориферов по табл. П.Г.2 составят:

$$\Delta p = 282 \cdot 2 = 564 \text{ Па.}$$

12. Для нахождения сопротивления движению воды по таблице Прил.Б. определяют объемный расход воды $G_{\text{воды}}$ в калорифере, м³/ч

$$G_{\text{воды}} = Q \cdot 3600 / [c_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} (t_{\text{п}} - t_{\text{о}})],$$

где Q – расход теплоты на подогрев приточного воздуха, Вт; $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°С) и $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³, взятые при средней температуре воды $t_{\text{ср}} = (t_{\text{п}} + t_{\text{о}})/2 = (126 + 70)/2 = 98 \text{ °С}$; $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{о}}$ – температуры воды в подающем и обратном трубопроводах соответственно, °С.

$$G_{\text{воды}} = 790000 \cdot 3600 / [4190 \cdot 958 (126 - 70)] = 12,7 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Диаметр трубы калорифера определяют через сечение $a_{\text{тр}} = 0,0163 \text{ м}^2$ по формуле

$$d_{\text{тр}} = (4 \cdot a_{\text{тр}} / \pi)^{0,5} = (4 \cdot 0,0163 / \pi)^{0,5} = 0,144 \text{ м} = 144 \text{ мм}$$

По таблице Прил. Б. выбирают диаметр штуцера, возьмем самый большой 80 мм, тогда для объемного расхода $G_{\text{воды}} = 12,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ находим сопротивление движению воды

$$\Delta p = 70 \text{ кг/м}^2 = 70 \cdot 9,81 = 690 \text{ Па.}$$

13. Сопротивление одного калорифера $\Delta p = 690 \text{ Па}$, а всех шести калориферов

$$\Delta p = 690 \cdot 6 = 4140 \text{ Па.}$$

7.2. Тепловой расчет для подбора парового калорифера КВБ

Задание: Подобрать калориферную установку из калориферов КВБ (одноходовых) для нагревания 18000 кг/ч воздуха при следующих условиях: расчетная наружная температура для отопления $t_{\text{н}} = -25 \text{ °С}$; расчетная наружная температура для проектирования вентиляции $t_{\text{н}} = -15 \text{ °С}$; температура нагретого (приточного) воздуха $t_{\text{к}} = 12 \text{ °С}$; теплоноситель пар давлением 0,137 МПа (1,4 кгс/см²).

Решение:

1. Определяем по формуле (1) расход теплоты на нагревание воздуха:

$$Q' = 18000 \cdot 1(12 + 15)/3600 = 135000 \text{ Вт.}$$

2. Задаваясь массовой скоростью $v_p = 8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, определяем по формуле (6.4) необходимую площадь живого сечения калориферной установки:

$$a_{\text{ж}} = G/v_p = 18000/(3600 \cdot 8) = 0,625 \text{ м}^2.$$

3. Подбираем по каталогу больший размер калорифера, исходя из площади живого сечения по воздуху (табл. П.Г.3). Принимаем калорифер КВБ-11, у которого $a_{\text{ж}} = 0,638 \text{ м}^2$.

4. Определяем по формуле (6.5) действительную массовую скорость:

$$v_p = 18000/(3600 \cdot 0,638) = 7,8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

5. Определяем коэффициент теплопередачи K по табл. П.Г.1 при $v_p = 7,8 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ значение $K = 35,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

6. Определяем температуру теплоносителя (пара) при $P = 0,14 \text{ МПа}$:
 $t_{\text{пар}} = 109,3 \text{ }^\circ\text{С}$.

7. Разность температур составит:

$$\Delta t = t_{\text{пар}} - (t_{\text{н}} + t_{\text{к}})/2 = 109,3 - (-15 + 12)/2 = 111,8 \text{ }^\circ\text{С}.$$

8. Определяем по формуле (6.2) необходимую площадь поверхности нагрева калорифера без учета коэффициента запаса:

$$A_{\text{к}} = \frac{Q}{K(t_{\text{ср.т}} - t_{\text{ср.в}})} = 135000/(35,5 \cdot 111,8) = 34,0 \text{ м}^2.$$

Принятый нами калорифер КВБ-11 имеет поверхность нагрева площадью $54,6 \text{ м}^2$ (табл. П.Г.3.).

9. Определяем запас площади поверхности нагрева калорифера:

$$((54,6 - 34,0)/34,0) \cdot 100 = 60,6 \text{ } \%.$$

Запас велик. Обычно для калориферов принимают запас до $20 \text{ } \%$. Принимаем к установке вместо марки КВБ-11 марку КВБ-8.

10. Площадь живого сечения по воздуху калорифера КВБ-8 составляет $0,416 \text{ м}^2$ и площадь поверхности нагрева $35,7 \text{ м}^2$ (табл. П.Г.3.).

11. Определяем по формуле (6.5) массовую скорость в живом сечении калорифера КВБ-8:

$$v_p = 18000 / (3600 \cdot 0,416) = 12 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

12. Определяем по табл. П.Г.1 коэффициент теплопередачи K , соответствующий этой массовой скорости: при $v_p = 12 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ значение K равно 42,7 Вт/(м²·К).

13. Теплопроизводительность калорифера по формуле (6.10) составит:

$$Q_K = A_K \cdot K \cdot \Delta t = 34,0 \cdot 42,7 \cdot 111,8 = 162311 \text{ Вт}.$$

14. Проверяем запас к заданной теплопроизводительности

$$((162311 - 135000) / 135000) \cdot 100 = 20,2 \text{ \%}.$$

15. Определяем сопротивление калорифера прохождению воздуха по табл. 6.1, значение $P = 99,9 \text{ Па}$, затем проверяем его значение по формуле 6.8

$$P = 1,485 \cdot 12^{1,69} = 100 \text{ Па}.$$

8. Современные аналоги калориферов типа КСк, КВБ и КВС

Теплообменники типа ВНВ.243 производства компании «ВЕЗА» предназначены для замены устаревших теплообменников КСк, КВБ и КВС при реконструкции и ремонте существующих систем. Подгруппы ВНВ.243:

- однорядные с шагом ламелей 1,8 мм используются в качестве доводчиков в системах вентиляции или в качестве нагревателей воздуха не ниже -10°С.
- двухрядные с шагом ламелей 1,8 мм или 2,2 мм используются в качестве нагревателей воздуха в системах вентиляции.
- трехрядные с шагом ламелей 1,8 мм используются в качестве нагревателей воздуха при использовании обратной воды (режим воды 60/40 °С) или в качестве воздухонагревателей в технологических процессах (например, в камере для сушки дерева).
- четырехрядные с шагом ламелей 2,5 мм используются в качестве воздухоохлаждателей в системах вентиляции.

Теплообменники типа ВНВ.243 имеют близкие или идентичные габаритные размеры и теплотехнические характеристики. Таблица соответствия теплообменников ВНВ.243 калориферам типа КСк, КВБ и КВС приведена на рис. 8.1.

Теплообменник XXX 243 y-aaa-bbb-c- d,d-ff- e

XXX	– обозначение типа теплообменника
ВНВ	– воздухонагреватель водяной
ВОВ	– воздухоохладитель водяной
243	– обозначение конструктивного исполнения поверхности теплообменника и материалов
y	– исполнение по способу монтажа в воздуховоде 1 – встраиваемые, 2 – с фланцевым соединением
aaa	– размер в сантиметрах стороны рабочей плоскости теплообменника параллельной трубкам
bbb	– размер в сантиметрах стороны рабочей плоскости теплообменника перпендикулярной трубкам
c	– число рядов медных трубок по ходу движения воздуха
d,d	– шаг расположения пластин в мм
ff	– число ходов по теплоносителю
e	– исполнение по вводу и выводу воды

Рис. 8.1.

Габаритные, присоединительные размеры и теплофизические характеристики этих теплообменников приведены на рис. 8.2.

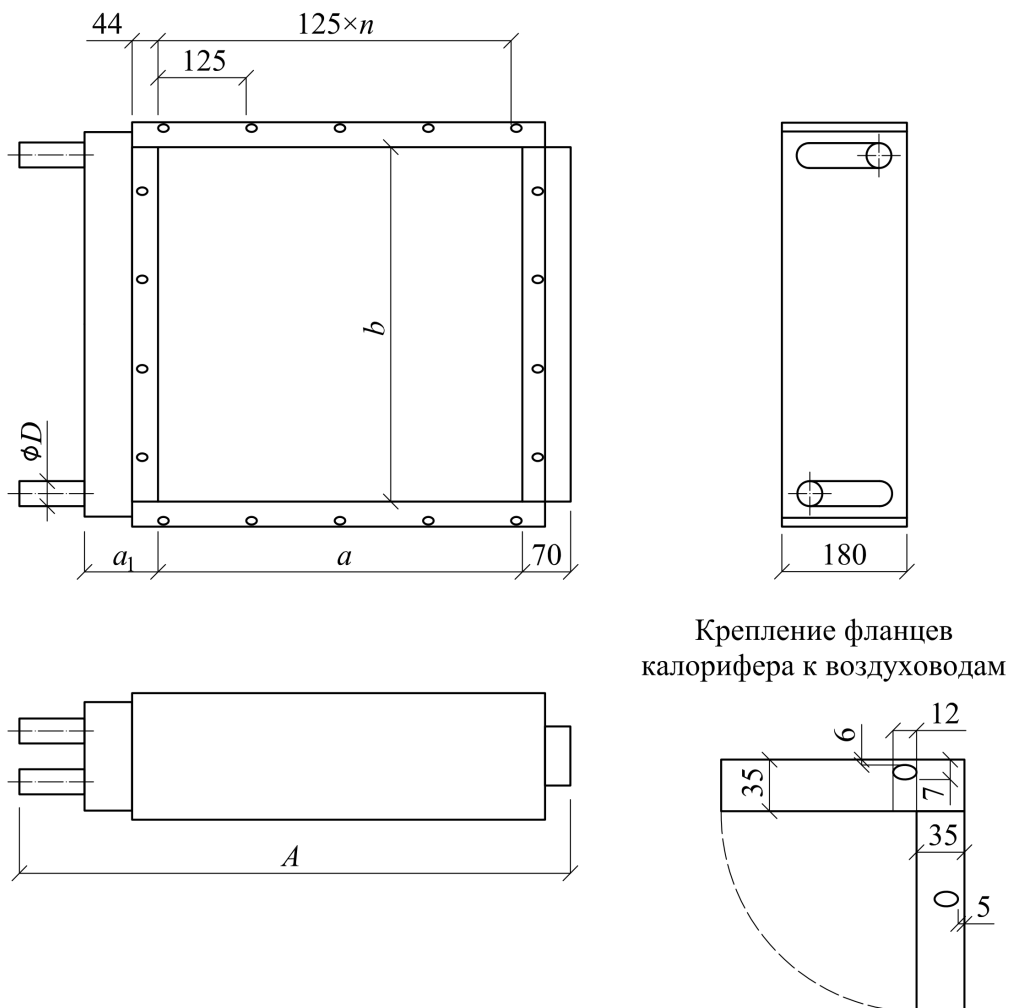


Рис. 8.2. Габаритные и присоединительные размеры теплообменников типа ВНВ.243

В соответствии с выполненными расчетами можно произвести замену устаревших теплообменников КСк, КВБ и КВС на современный теплообменник типа ВНВ.243 и указать габаритные и присоединительные размеры.

Таблица 8.1.

Таблица соответствия теплообменников типа ВНВ.243 аналогам

Обозначение	Аналог
Воздухонагреватель водяной ВНВ,243	
ВНВ 243-053-050-02-1.8-04-2	КСК 3-6, КВБ-6
ВНВ 243-053-050-02-2.2-04-2	КВС 6
ВНВ 243-053-050-03-1.8-06-2	КСК 4-6
ВНВ 243-065 050-02-1.8-04-2	КСК 3-7, КВБ-7
ВНВ 243-065 050-02-2.2-04-2	КВС-7
ВНВ 243-065-050-03-1.8-06-2	КСК 4-7
ВНВ 243-078-050-02-1.8-04-2	КСК 3-8, КВБ-8
ВНВ 243-078-050-02-2.2-04-2	КВС-8
ВНВ 243-078-050-03-1.8-06-2	КСК 4-8
ВНВ 243-090-050-02-1.8-04-2	КСК 3-9, КВБ-9
ВНВ 243-090-050-02-2.2-04-2	КВС-9
ВНВ 243-090-050-03-1.8-06-2	КСК 4-9
ВНВ 243-116-050-02-1.8-04-2	КСК 3-10, КВБ-10
ВНВ 243-116-050-02-2.2-04-2	КВС-10
ВНВ 243-116-050-03-1.8-06-2	КСК 4-10
ВНВ 243 166-100-02-1.8-02-2	КСК 3-11, КВБ-11
ВНВ 243 166-100-02-2.2-02-2	КВС-11
ВНВ 243 166-100-03-1.8-04-2	КСК 4-11
ВНВ 243 166-150-02-1.8-02-2	КСК 3-12, КВБ-12
ВНВ 243 166-150-02-2.2-02-2	КВС-12
ВНВ 243 166-150-03-1.8-04-2	КСК 4-12

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция: учеб. для вузов. В 2-х ч., Ч. 2 Вентиляция / В.Н. Богословский, В. И. Новожилов, Б.Д. Симаков, В.П. Титов; Под ред. В.Н. Богословского. – Москва: Стройиздат, 1976. – 439 с.
2. Богословский, В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха: справочник проектировщика / В.Н. Богословский, И.А. Шепелев, В.М. Эльтерман и др.; Под ред. И.Г. Старовойтова. – Москва: Стройиздат, 1977. – 502 с.
3. Голубков, Б.Н. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий / Б.Н. Голубков, О.Л. Данилов, Л.В. Зосимовский и др. – Москва: Энергия, 1979. – 544 с.
4. Каталог оборудования для вентиляции и кондиционирования. – Москва: ООО «КОРФ». – 248 с.
5. Манюк, В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / В.И. Манюк, Я.И. Каклинский, Э.Б. Хиж и др. – Москва: Стройиздат, 1988. – 432 с.
6. Свенчанский, А.Д. Низкотемпературные нагревательные элементы: учебное пособие / А.Д. Свенчанский, С.А. Малышев. – Москва: МЭИ, 1964. – 24 с.
7. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. – Москва: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
8. Теплообменники: каталог. – Москва: ООО «ВЕЗА». – 99 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Температурный график качественного регулирования отопительной нагрузки

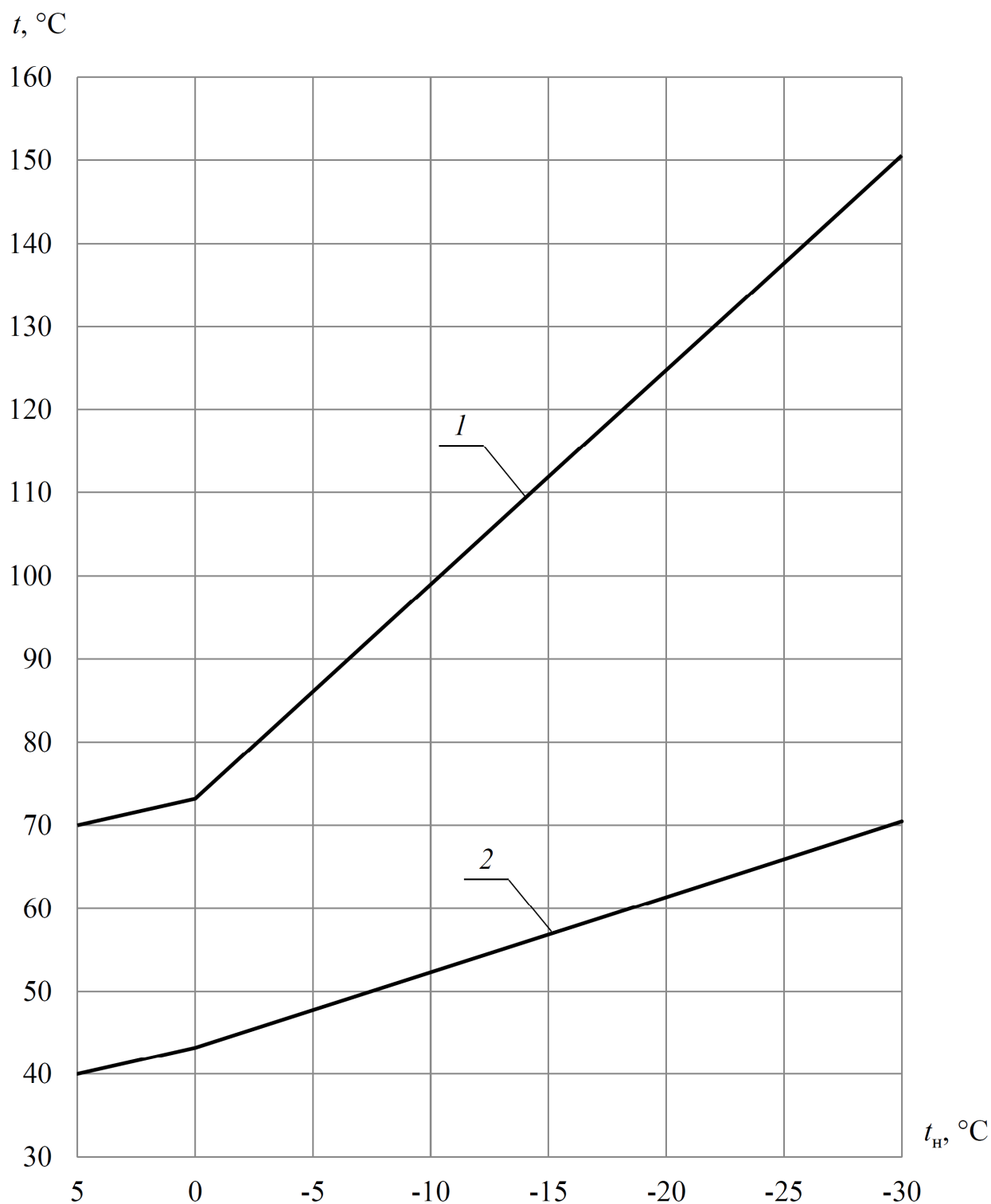
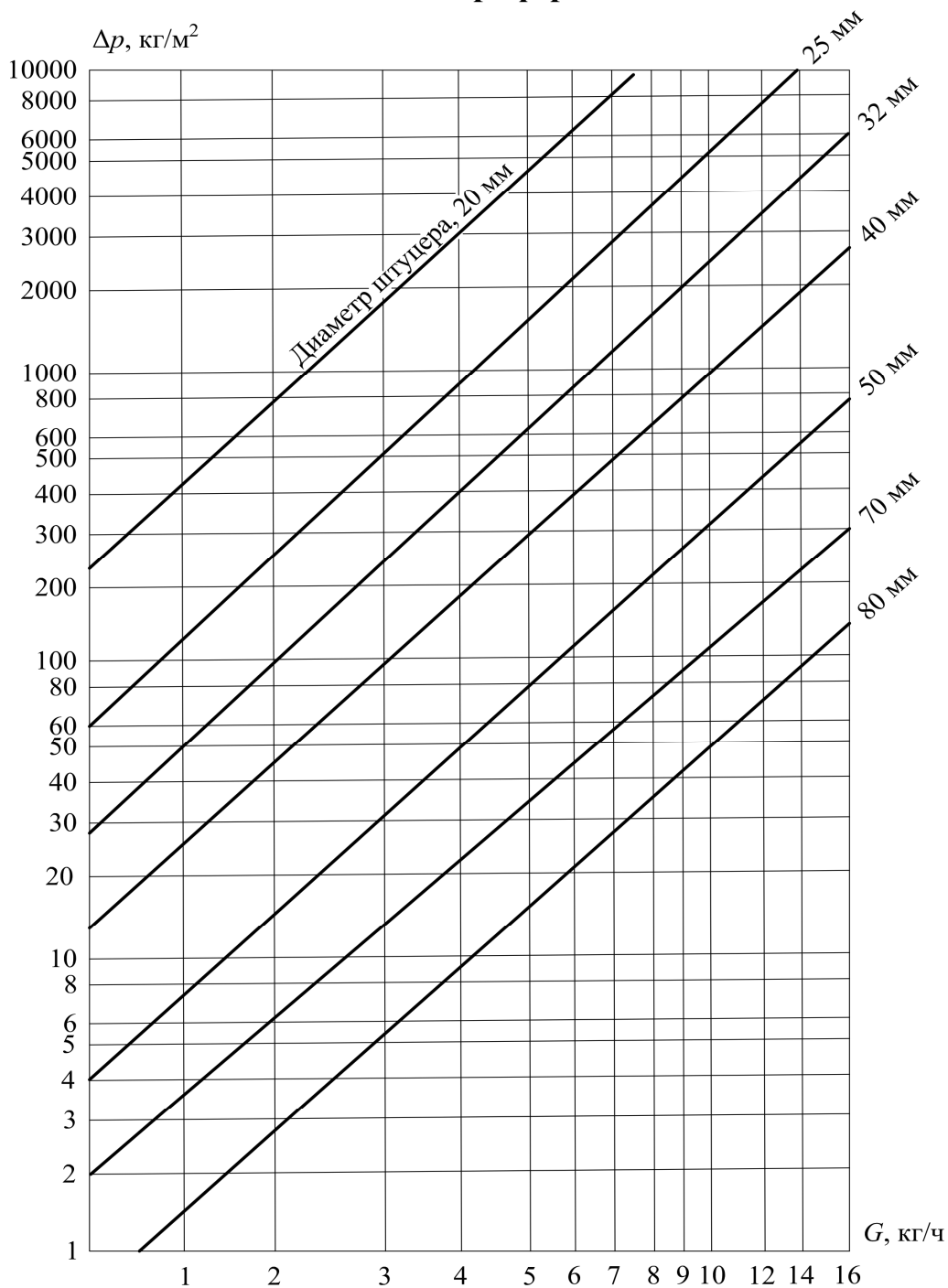


Рис. А.1 – Температурный график качественного регулирования отопительной нагрузки:
 t_n – температура наружного воздуха, °C; 1 – температура теплоносителя t , °C, в подающем
трубопроводе; 2 – то же, в обратном трубопроводе

График для определения гидравлических потерь в одноходовых водяных калориферах



Примечание: Если диаметр подводящей трубы больше диаметра штуцера калорифера, то при расчете принимать диаметр штуцера калорифера.

Поправочные коэффициенты для учета влияния количества ходов на гидравлическое сопротивление многоходовых калориферов

Кол-во ходов в калорифере	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поправочный коэффициент	1	1,5	2	2,7	3,4	4,1	4,7	5,4	6,1	6,8	7,5

Схемы присоединения калориферов к трубопроводам

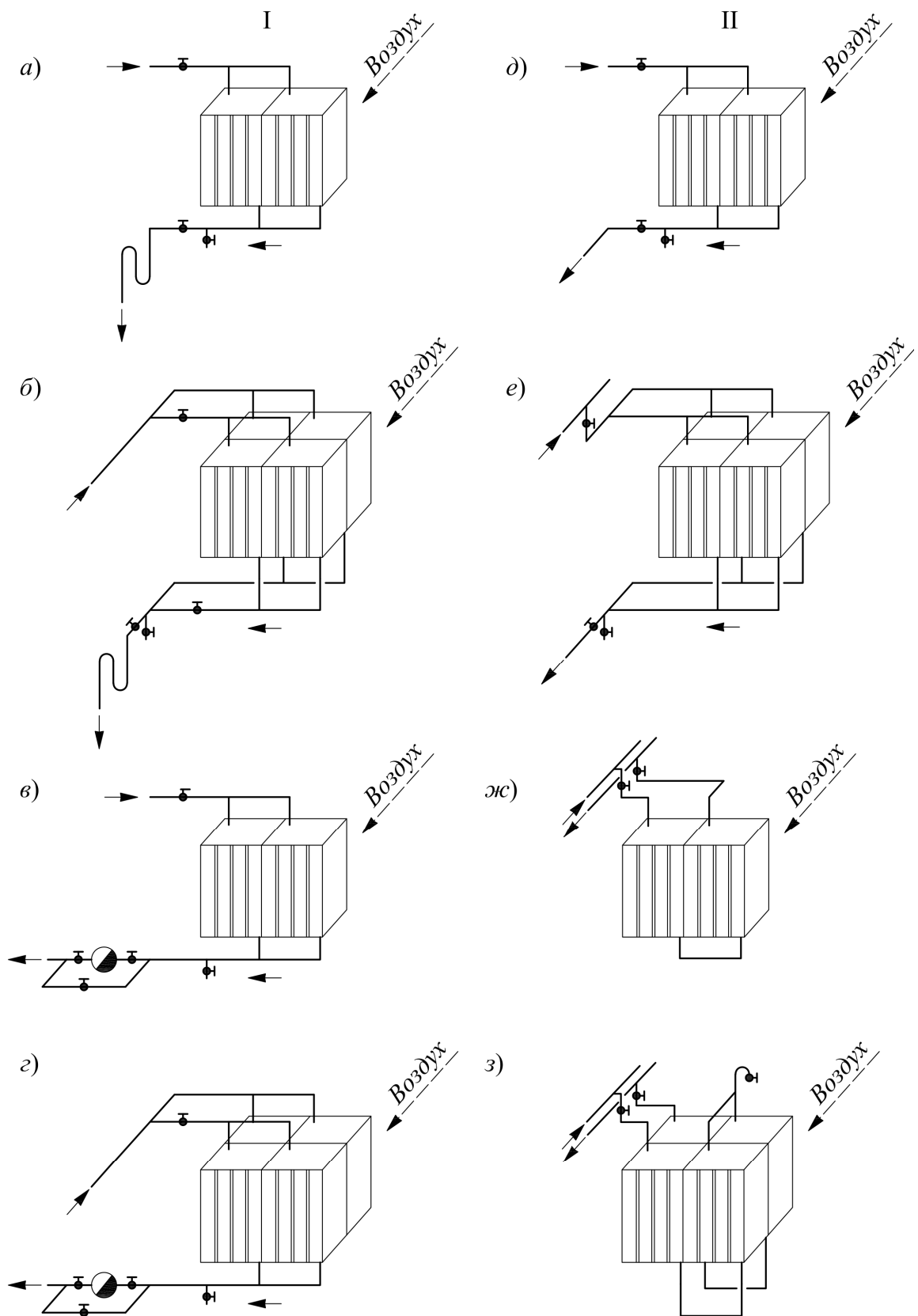


Рис. В.1. Схемы присоединения калориферов к трубопроводам (начало): I – паровых; II – водяных одноходовых; а и б – при $p < 0,3 \text{ МПа}$ (ат); в и г – при $p > 0,3 \text{ МПа}$ (ат); д, е – параллельное присоединение к трубопроводам; ж, з – то же, последовательное

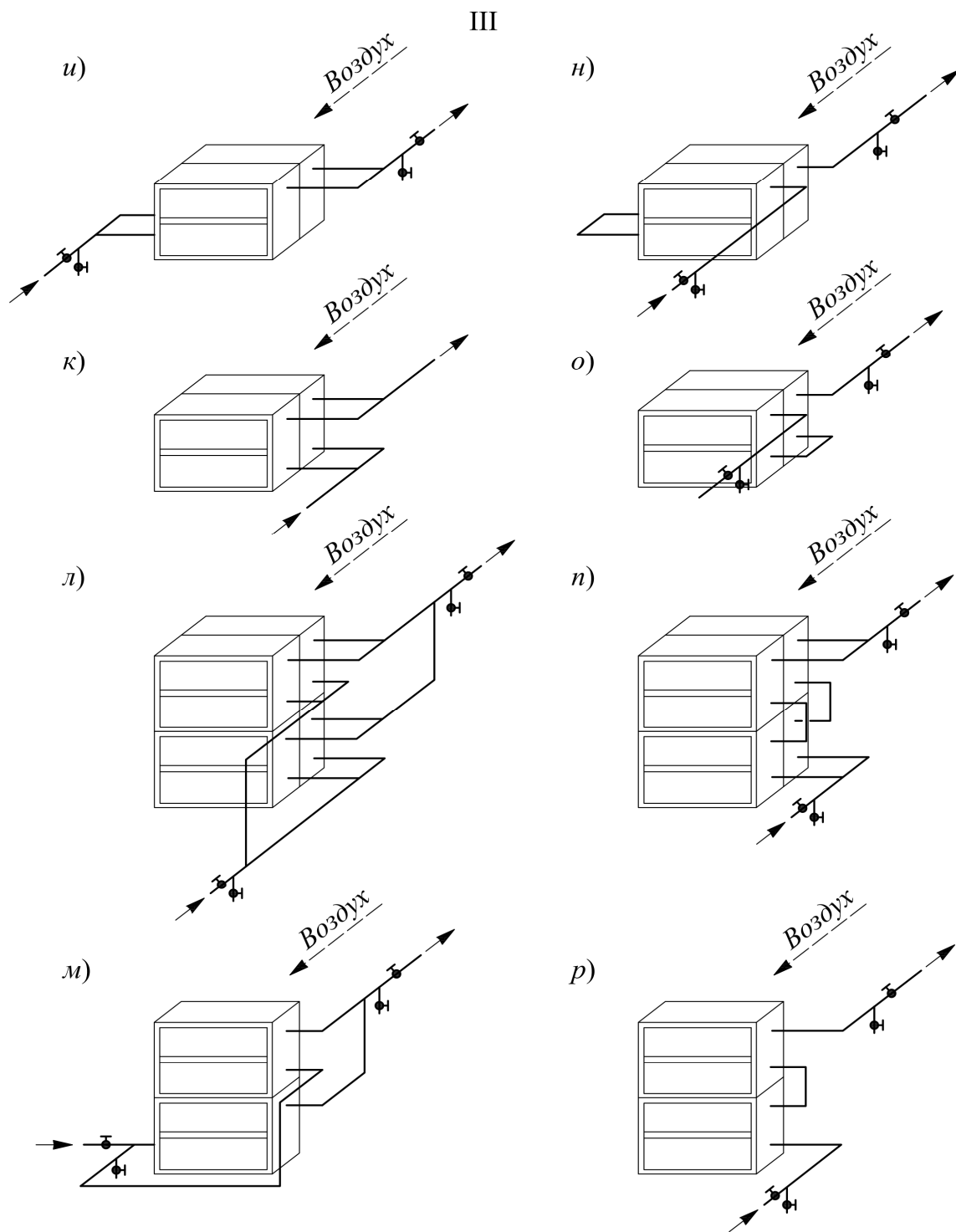


Рис. В.2. Схемы присоединения калориферов к трубопроводам (окончание): III – водяных многоходовых; *u*, *к*, *л*, *м* – параллельное присоединение к трубопроводам; *н*, *о*, *п*, *р* – последовательное присоединение к трубопроводам

При теплоносителе паре применяется только параллельная схема обвязки калориферов трубопроводами.

Приведенные на рис. П.В. схемы III обвязки многоходовых калориферов применяют только при теплоносителе воде и горизонтальном расположении трубок.

Теплотехнические характеристики калориферов

Марка калорифера	Теплоноситель	Скорость теплоносителя м/с	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² К), при массовой скорости движения воздуха v_p , кг/(с·м ²)								
			4	5	6	7	8	9	10	11	12
КФС	Пар	–	23,8	25,4	27,1	28,8	30	31,9	32,7	34,2	34,9
	Вода	0,06	15,1	16,2	16,9	17,7	18,5	19	19,6	20,3	20,8
		0,03	15,3	16,9	17,8	18,7	19,5	20,5	21	21,6	22,2
		0,1	16,6	17,8	18,7	19,8	20,7	21,6	22,2	22,9	23,5
		0,2	19,1	20,5	21,7	23,1	24,3	25,2	26,2	27,1	27,9
		0,3	20,1	21,7	23	24,6	25,8	27	27,9	28,9	29,9
		0,5	21,1	23	24,4	26	27,5	29	30,2	31,4	32,6
0,8	21,9	24	25,7	27,3	29	30,3	31,9	32,8	34,5		
КФБ	Пар	–	20,8	22,7	24,6	26,2	27,9	29,3	30,6	31,5	33
	Вода	0,06	14,5	15,6	16,5	17,3	18	18,7	19,4	20	20,7
		0,08	15,1	16,4	17,3	18,2	19,2	19,8	20,6	21,3	22,1
		0,1	15,8	17,1	18,1	19,2	20,1	20,9	21,9	22,6	23,5
		0,2	17,7	19,5	20,9	22,2	23,6	24,5	25,7	26,7	27,9
		0,3	18,8	20,6	22,2	23,6	25	26,2	27,4	28,5	29,9
		0,5	19,8	21,9	23,4	25,2	26,6	27,1	29,5	30,8	32,1
0,8	20,2	22,4	24,2	25,8	27,7	29,2	30,7	31,9	33,5		
КФБО	Пар	–	31	34,4	37,3	40	42,7	44,9	47,2	49,3	52,3
	Вода	0,06	20,5	22,3	23,7	25	26,3	27,4	28,6	29,6	30,7
		0,08	21,6	23,5	25,1	26,6	28,1	29,5	30,7	31,6	33,1
		0,1	22,7	24,6	26,5	28,3	29,9	31,4	32,8	33,9	35,2
		0,2	25,6	28,4	30,7	32,9	34,9	36,7	38,7	40,5	42
		0,3	27,1	30,1	32,0	35,5	37,9	40,3	42,4	44,3	46,3
		0,5	28,6	32,1	35,3	38,4	41	43,7	46,2	48,6	50,8
0,8	29,5	33,3	36,9	40,1	43,3	46	48,8	51,3	54,2		
СТД	Пар	–	27,3	29,3	31	32,8	34,3	35,6	36,9	37,8	38,8
	Вода	0,06	18,1	19,3	20,3	21,3	22,1	22,9	23,5	24,2	24,9
		0,08	19,1	20,5	21,5	22,5	23,5	24,3	25,1	25,7	26,4
		0,1	19,8	21,1	22,4	23,6	24,4	25,5	26,3	27	27,9
		0,2	22,3	24,1	25,6	27,1	28,4	29,5	30,6	31,6	32,7
		0,3	23,5	25,3	27,1	28,6	30	31,3	32,6	33,6	34,5
		0,5	24,4	26,5	28,4	30,1	31,5	32,9	34,2	35,3	36,6
0,8	25,1	27,2	29,2	31,2	32,7	34,2	35,7	36,9	38		
КВБ (одноходовой)	Пар	–	28,9	31,4	33,3	34	35,6	38,4	39,8	41	42,7
	Вода	0,06	18,5	19,6	20,5	21,4	22,1	23	23,4	24,1	24,4
		0,08	19,6	20,9	22	22,9	23,5	24,3	25	25,6	26,2
		0,1	30,7	22	23,1	23,9	24,6	25,6	26,4	27,2	27,9
		0,2	23,4	24,8	26,3	27,7	28,8	29,9	30,9	31,7	32,6
		0,3	24,8	26,6	28,4	29,3	31	31,7	33,5	34,5	35,3
		0,5	26,5	28,6	31,2	32,1	33,9	35	36,7	38	39,3
0,8	27,8	30	32,2	33, Г,	35,8	37,1	38,9	39,8	41,6		
КВС (многоходовой)	Вода	0,2	25,6	27,5	29,1	30,6	31,8	33,2	34,2	35,4	36,4
		0,3	26,3	28,2	29,9	31,4	32,8	34	35,2	36,3	37,4
		0,5	28,2	30,3	31,9	31,5	35	36,4	37,6	38,в	40
		0,8	29,8	32,2	33,9	35,7	37,2	38,6	40	41,2	42,5
КВБ (многоходовой)	Вода	0,2	26,2	23 I	29,8	31,3	32,7	33,8	36,1	36,2	37,2
		0,3	27,7	29,6	31,4	33 3-	34,5	35,8	37	38,2	39,3
		0,5	29,6	31,8	33,6	5,4	36,9	38,3	39,7	40,8	42,1
		0,8	31,5	33,8	35,8	37,6	39,3	40,3	42,4	43,5	44,8

Аэродинамические характеристики калориферов

Марка калорифера	Сопротивление одного ряда калориферов проходу воздуха p , Па,								
	при массовой скорости U_p , кг/(с·м ²)								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
КФС и КМС	13,7	20,6	28,4	37,2	47	56,8	68,6	81,3	95,1
КВБ и КМБ	18,6	27,4	37,2	49	60,8	75,5	90,2	105,8	124,5
КФСО	52,9	83,3	113,7	164,6	214,6	269,5	335,2	403,8	485,1
КФБО	64,7	98,9	140,1	190,1	244	307,7	380,2	451,8	540,9
СТД	16,7	24,5	34,3	44,1	55,9	68,6	82,3	97	114,7
КВБ (одно-ходовой)	15,7	22,5	31,6	40,2	50	61,7	73,5	86,2	99,9
КВС (многоходовой)	27,	39,8	53,8	69,5	86,5	106,1	125,1	146,4	169
КВБ (многоходовой)	20,3	29,8	40,1	51,5	63,9	77,3	91,7	107	120

Таблица П.Г.3

Характеристики калориферов КФБ, КФС и КВБ

Модель калорифера	Размеры, м	Поверхность нагрева, м ²	Живое сечение, м ²		Модель калорифера	Поверхность	Живое сечение, м ²		Резьба штуцера, дюйм	
	$h \times a \times b$		По воздуху	По теплоносителю			По воздуху	По теплоносителю	КФБ	КВБ, КФС
КФБ-2	0,6×0,4×0,25	12,7	0,115	0,0061	КФС-2, КВБ-2	5,9	0,115	0,0046	1 ¹ / ₂	1 ¹ / ₄
КФБ-3	0,6×0,5×0,25	16,9	0,154	0,0082	КФС-3, КВБ-3	13,2	0,154	0,0061	2	1 ¹ / ₂
КФБ-4	0,75×0,65×0,25	21,4	0,195	0,0082	КФС-4, КВБ-4	16,2	0,195	0,0061	2	1 ¹ / ₂
КФБ-5	0,75×0,65×0,25	25,8	0,244	0,0102	КФС-5, КВБ-5	20,9	0,244	0,0076	2	2
КФБ-6	0,9×0,05×0,25	29,4	0,205	0,0102	КФС-6, КВБ-6	26,3	0,295	0,0076	2	2
КФБ-7	0,9×0,75×0,25	38,9	0,354	0,0122	КФС-7, КВБ-7	30,4	0,354	0,0092	2 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂
КФБ-8	1,1×0,75×0,25	45,7	0,416	0,0122	КФС-8, КВБ-8	35,7	0,416	0,0092	2 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂
КФБ-9	1,1×0,9×0,25	53,3	0,416	0,0143	КФС-9, КВБ-9	41,6	0,486	0,0107	3	2 ¹ / ₂
КФБ-10	1,2×0,9×0,25	61,2	0,588	0,0143	КФС-10, КВБ-10	47,8	0,588	0,0107	3	2 ¹ / ₂
КФБ-11	1,2×0,5×0,25	69,9	0,638	0,0163	КФС-11, КВБ-11	54,6	0,638	0,0122	3	3

Варианты заданий для водяных и паровых калориферов

№ п/п	Количество нагреваемого воздуха, G , кг/ч	Теплоноситель, °С	Расчетная наружная температура для отопления, t_n , °С	Расчетная наружная температура для вентиляции, t_n , °С	Температура нагретого приточного воздуха, $t_{пр}$, °С	Давление пара, P , МПа	Температура насыщенного пара, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
0	15000	Пар	-25	-14	18	0,137	108,7
1	20000	150-70	-30	-18	22	-	-
2	25000	Пар	-28	-17	20	0,147	111,0
3	23000	150-70	-26	-16	18	-	-
4	18000	Пар	-30	-21	23	0,157	112,7
5	15000	150-70	-30	-22	24	-	-
6	20000	Пар	-30	-23	25	0,176	116,3
7	22000	150-70	-30	-19	21	-	-
8	17000	Пар	-29	-16	20	0.124	206,6
9	30000	150-70	-27	-15	18	-	-

Примечание. Величины G , t_n , t_v принять по последней цифре номера зачетной книжки. Тип теплоносителя и величины $t_{пр}$, P принять по предпоследней цифре номера зачетной книжки.

Пример. Номер зачетной книжки – 150700. По предпоследней цифре 0 выбираем тип теплоносителя – пар, $t_{пр} = 18$ °С, $P = 0,137$ МПа, по последней цифре 0 выбираем $G = 15000$ кг/ч, $t_n = -25$ °С.

Трубчатые электрические нагреватели

Тип ТЭН	Длина, мм		Номинальная предельная мощность для среды, Вт				
	Полная	Активная	Неподвижный воздух	Подвижный воздух	Масло	Металл	Вода
ЭТ -20	200	150	90	250	125	180	550
ЭТ-25	250	200	110	300	150	225	700
ЭТ-32	320	260	150	400	200	300	900
ЭТ-44	440	380	210	575	300	430	1300
ЭТ-60	600	540	300	800	400	600	1850
ЭТ-80	800	740	420	1100	550	850	2500
ЭТ-100	1000	940	530	1400	700	1050	3100
ЭТ-120	1200	1140	650	1700	850	1300	3850
ЭТ-160	1600	1540	820	2200	1100	1650	5000
Удельная мощность нагревателей, Вт/см ²			1,5	4	2	3	9

Болдин Владимир Петрович
Кузин Виктор Юрьевич
Сухов Вячеслав Васильевич

Калориферные установки

Учебное пособие

Подписано в печать Формат 60×90 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.
Уч. изд. л. 1,8. Усл. печ. л. 2,5. Тираж 300 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65
<http://www.nngasu.ru>, src@nngasu.ru