

ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

В двух частях

Часть I ОТОПЛЕНИЕ

Издание третье, переработанное и дополненное

*Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования СССР в качестве
учебника для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по специальности
«Теплогазоснабжение и вентиляция»*



МОСКВА
СТРОИИЗДАТ
1975

Рецензент — канд техн. наук И С ШАПОВАЛОВ

Авторы: П. Н. КАМЕНЕВ, А. Н. СКАНАВИ, В. Н. БОГОСЛОВСКИЙ,

А. Г. ЕГИАЗАРОВ, В. П. ЩЕГЛОВ

Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. I. Отопление. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1975. 483 с. Авт.: П. Н. Каменев, А. Н. Сканави, В. Н. Богословский и др.

В книге описаны устройство и принцип действия различных систем отопления зданий; приводятся методы расчета теплового режима зданий, выбора, конструирования, расчета и регулирования центральных и местных систем отопления.

Учебник предназначен для студентов, специализирующихся в области отопления и вентиляции

Табл. 69, рис 235, список лит.: 37 назв.

О $\frac{30210-434}{047(01)-75}$ 285-75

© Стройиздат, 1975

ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ КАМЕНЕВ
АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ СКАНАВИ
ВЯЧЕСЛАВ НИКОЛАЕВИЧ БОГОСЛОВСКИЙ
АЛЕКСАНДР ГРИГОРЬЕВИЧ ЕГИАЗАРОВ
ВЛАДИМИР ПОРФИРЬЕВИЧ ЩЕГЛОВ

Отопление и вентиляция

В двух частях

Часть I. Отопление

Редакция литературы по инженерному оборудованию
Зав редакцией И П. Скорцова

Редакторы Н. А. Хаистова, Р. Л. Черкинская
Мл. редактор А. А. Минаева
Оформление обложки художника Р. И. Силача
Технический редактор В. М. Родионова
Корректор В. И. Галюзова

Сдано в набор 10/VIII-1974 г. Подписано к печати 3/I-1975 г. Т-02802
Формат 70×108/16 л. л. Бумага типографская № 3. 42 усл. печ. л.
(уч.-изд. 39,68 л.) Тираж 60 000 экз. Изд. № 1-3003 Зак. № 247.
Цена для пер. № 7 — 1 р. 71 к., для пер. № 5 — 1 р. 53 к.

Стройиздат

103006, Москва, Каляевская, 23а

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли

Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

В решениях XXIV съезда КПСС предусмотрены «...централизация производства пара и горячей воды для технологических и отопительных нужд». В СССР на базе ТЭЦ развивается централизованное водяное теплоснабжение, что способствует дальнейшему развитию отопительной техники: вытеснению мелких отопительных котельных, замене паровых систем отопления водяными не только в гражданском, но и в промышленном строительстве, преобладанию насосных систем.

В условиях водяного теплоснабжения широко применяются однотрубные системы отопления, что позволяет уменьшить протяженность труб, повысить расчетную температуру теплоносителя, экономить металл, унифицировать отдельные элементы, благодаря чему повышается степень индустриализации монтажных работ и сокращаются сроки строительства.

Эти прогрессивные изменения в технике отопления нашли отражение в программе и изложении учебного курса для студентов специальности 1208 «Теплогасоснабжение и вентиляция». Учебник «Отопление», являющийся первой частью общего курса «Отопление и вентиляция», вышедшей в 1965 г., значительно переработан и дополнен с учетом введения самостоятельной учебной дисциплины «Строительная теплофизика».

Данный учебник составлен коллективом авторов кафедры отопления и вентиляции Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева. В учебнике заново написаны главы: «Общие сведения об отоплении», «Тепловой режим здания», «Элементы систем центрального отопления», «Водяное отопление», «Воздушное отопление». Подверглись значительной переработке и дополнению главы: «Паровое отопление», «Панельно-лучистое отопление», «Отопление сельскохозяйственных сооружений». Дополнены главы: «Гидравлический расчет систем водяного отопления», «Регулирование и надежность систем отопления».

Наличие обстоятельной справочной литературы по отоплению, а также непрерывная модернизация оборудования позволили авторам отказаться от подробного описания оборудования, приложения распространенных справочных данных, расчетных таблиц и графиков, за исключением отдельных конкретных сведений, необходимых для примеров и пояснения конструкций и физических явлений.

В конце учебника приводится список основной литературы, в конце каждой главы дается перечень дополнительной литературы для углубленного изучения отдельных вопросов курса.

В учебнике физические величины выражены в международной системе единиц СИ и в единицах, допускаемых к применению наравне с единицами СИ (температура в градусах Цельсия, время в часах, сутках и т. д., частота вращения в оборотах в минуту, работа в киловатт-часах). В скобках приведены значения в системе единиц МКГСС.

Главы I, III, IV, VII, VIII написаны канд. техн. наук, и. о. проф. А. Н. Сканами, глава II — д-ром техн. наук, проф. В. Н. Богословским, глава VI — канд. техн. наук, доц. В. П. Шегловым, глава XI — канд. техн. наук, доц. А. Г. Егиазаровым. Главы V, IX, X, написанные во втором издании учебника д-ром техн. наук, проф. П. Н. Каменевым, пере-

работаны и дополнены кандидатами техн. наук доц. Н. Н. Разумовым (гл. V) и ст. науч. сотр. В. Е. Константиновой (гл. IX, X).

Ведущая роль в составлении учебника «Отопление» принадлежит А. Н. Сканави, который, помимо разработки структуры и программы, написания основной его части, руководил переработкой и провел общее редактирование всей книги.

Авторы выражают благодарность канд. техн. наук И. С. Шаповалову за ценные советы и замечания, сделанные при рецензировании учебника.

§ 1. ПРЕДМЕТ КУРСА

Отопление поддерживает в помещении на определенном уровне температуру воздуха и внутренних поверхностей ограждающих конструкций. В помещении обеспечивается тепловой комфорт — оптимальная температурная обстановка, благоприятная для жизни и деятельности людей в холодное время года.

Отопление — один из видов инженерного (технологического) оборудования здания и, кроме того, является отраслью строительной техники. Монтаж стационарной установки отопления производится в процессе возведения здания, ее элементы увязываются со строительными конструкциями и сочетаются с интерьером помещений.

Функционирование отопления характеризуется определенной периодичностью в течение года и изменчивостью использования мощности установки, зависящей прежде всего от метеорологических условий в холодное время года. При понижении температуры наружного воздуха и усилении ветра должна увеличиваться, а при повышении температуры наружного воздуха и воздействии солнечной радиации уменьшаться тепловая подача от отопительных установок в помещения. Изменение интенсивности внешнего воздействия на здание может также сочетаться с неравномерным поступлением тепла от внутренних производственных и бытовых источников, что требует дополнительного регулирования действия отопления.

Очевидно, что для создания и поддержания теплового комфорта в помещениях зданий требуются технически совершенные отопительные установки. И чем суровее климат местности и выше требования к обеспечению благоприятных условий в здании, тем более мощным и надежным должно быть отопление.

Состояние воздушной среды в помещениях в холодное время года обуславливается действием не только отопления, но и вентиляции. Отопление и вентиляция совместно обеспечивают в помещениях, помимо температуры, определенные влажность, подвижность, давление, состав и чистоту воздуха. В производственных и сельскохозяйственных сооружениях, во многих гражданских зданиях отопление и вентиляция неотделимы, они взаимно создают требуемые санитарно-гигиенические условия, способствуют снижению числа заболеваний, улучшению самочувствия людей и повышению производительности их труда.

Не только люди, но и животные, птицы и растения, а также сами здания и продукты труда людей требуют для поддержания своего нормального состояния надлежащих температурных условий. Недостаточно отапливаемые здания быстрее разрушаются вследствие нарушения необходимого температурно-влажностного режима их конструкций. Технологический процесс получения и хранения ряда продуктов, изделий и веществ (точных приборов и ламп, пряжи и тканей, киноплёнки и стекла, муки и бумаги и т. д.) требует строгого поддержания заданной температуры помещений.

Итак, отопление вместе с вентиляцией создают в помещении искусственный климат в холодное время года.

Научные основы современной отопительной техники базируются на положениях физики и химии, гидравлики и аэродинамики, теплопередачи, термодинамики и строительной теплофизики. Техника отопления тесно связана также с общестроительной техникой, так как способ отопления в большой мере зависит от конструктивных и архитектурно-планировочных решений зданий.

Курс «Отопление» связан с рядом смежных технических дисциплин и в первую очередь с курсами «Вентиляция и кондиционирование воздуха», «Строительная теплофизика», «Теплоснабжение», «Насосы и вентиляторы», «Котельные установки» и «Газоснабжение». Общие элементы рассматриваются с точки зрения влияния на конструкцию и действие системы отопления.

Таблица I.1

Средняя температура наружного воздуха в крупных городах северного полушария в течение наиболее холодного месяца

Город	Географическая широта	Средняя температура января °С
Москва . . .	55° 50'	—9,4
Нью-Йорк . . .	40° 40'	—0,8
Берлин . . .	52° 30'	—0,3
Париж . . .	48° 50'	+2,3
Лондон . . .	51° 30'	+4

Техника отопления в СССР развивается в единстве с практикой коммунистического строительства, задачи которого определяют развитие всей советской науки и техники. Специалисты по отоплению участвуют в процессе создания материальных ценностей, способствуя повышению эффективности производства и росту производительности общественного труда для интенсивного развития экономики.

Развитие строительной техники, создание и совершенствование конструкций сборных зданий способствуют изменению конструкций отопительных установок, обеспечивая повышение степени механизации заготовительных работ, сборность и снижение трудовых затрат при монтаже.

В связи с ростом культурного уровня советского народа предъявляются новые требования к тепловому режиму помещений, зависящему от действия отопления, выявляющие оптимальные условия деятельности людей в помещениях. Например, для таких зданий массового использования, как учебные заведения, установлена зависимость усвоения слушателями излагаемого материала от температуры воздуха. При отклонении от оптимальной температуры (+22°С) до +15°С усвояемость снижалась на четверть, а до +30°С — наполовину.

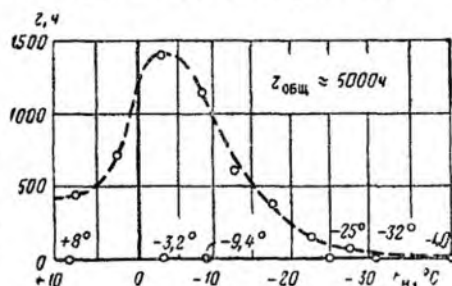
Климат большей части территории нашей страны отличается суровой зимой, схожей лишь с зимой в северо-западных провинциях Канады и на Аляске. Сравним зимние климатические условия в СССР с условиями в других странах (табл. I.1). Средняя температура января в зарубежных столицах характерна лишь для таких городов Советского Союза, как Бухара и Самарканд, Севастополь и Ялта, отличающихся мягкой и короткой зимой.

На рис. I.1 приведен график изменения продолжительности стояния одинаковой среднесуточной температуры в Москве, где отопительный сезон длится около семи месяцев (205 суток). Как видно, наибольшая продолжительность стояния температуры в Москве относится к средней температуре отопительного сезона (—3,2°С), входящей в интервал температуры от 0 до —5°С. Эта закономерность отмечается в большинстве районов страны.

Продолжительность отопительного сезона невелика лишь на крайнем юге (три — четыре месяца), а на большей части СССР она составляет шесть—восемь месяцев, доходя до девяти (в Архангельской, Мурманской и других областях) и даже до 12 месяцев (в Магаданской области и Якутской АССР).

Суровость или мягкость зимы полнее выражается не длительностью отопления зданий, а значением произведения числа суток действия отопления на разность внутренней и наружной температуры, средней в течение этого периода. Если это число градусо-суток для Москвы принять за 100%, то в Абхазии оно составит 30%, а в Якутии — 220%. Указанные данные свидетельствуют о разнообразии местных условий и значении

Рис 11 Продолжительность стояния одинаковой среднесуточной температуры наружного воздуха за отопительный сезон в Москве



отопления для нашей страны, где почти каждое здание возводится с отопительной установкой и на отопление расходуется значительная часть (до $\frac{1}{3}$) добываемого топлива.

Изучение курса «Отопление» предусматривает получение знаний по конструкциям, принципам действия и характерным свойствам различных систем отопления, используемых в современной отечественной отопительной технике, освоение основ проектирования и научных методов расчета и регулирования отопления.

§ 2. ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОТОПЛЕНИЯ

При действии системы отопления тепло передается от теплового источника в помещении, в пространстве, как пространстве с неоднородным полем температуры, возникает теплообмен между отопительными приборами, внутренними и наружными ограждениями и людьми. При этом должна быть создана тепловая обстановка, благоприятная для хорошего самочувствия и продуктивной деятельности людей.

Организм человека непрерывно выделяет некоторое количество тепла, зависящее от интенсивности работы и теплообмена с окружающей средой.

На рис. 1.2 показаны основные теплотери тела человека (конвекцией 1 при нагревании воздуха, излучением 2 и испарением влаги 3 с поверхности кожи) для случая, когда человек не выполняет физическую работу, а также при нормальной влажности и подвижности воздуха в помещении. Как видно, соотношение между величинами, составляющими основные теплотери, изменяется в зависимости от температуры воздуха (при постоянной температуре поверхности ограждений 20°C). При конвективном отоплении и $t_{в}=20^\circ\text{C}$ доля теплообмена конвекцией равняется приблизительно 30%, излучением — 50%, испарением влаги — 20%. В зоне более низкой температуры воздуха это соотно-

шение изменяется незначительно, при более высокой температуре значительно усиливается теплообмен испарением влаги. При лучистом отоплении заметно увеличивается теплообмен конвекцией.

Система терморегуляции человека в состоянии поддерживать равенство между тепловыделением и теплопотерей организма в пределах $t_b = 14-23^\circ\text{C}$ (вертикальные пунктирные линии на рис. 1.2). При более низкой или высокой температуре воздуха в теле человека может наблюдаться недостаток или накопление тепла, вызывающие переохлаждение

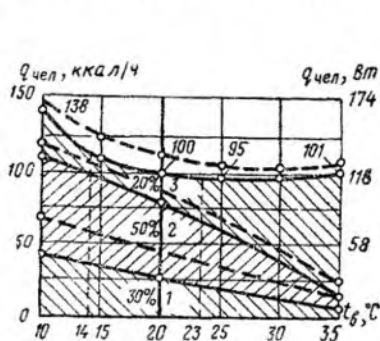


Рис. 1.2 Внешний теплообмен человека в спокойном состоянии при конвективном (сплошные линии) и лучистом (пунктирные линии) отоплении

1 — конвекцией; 2 — излучением;
3 — испарением влаги

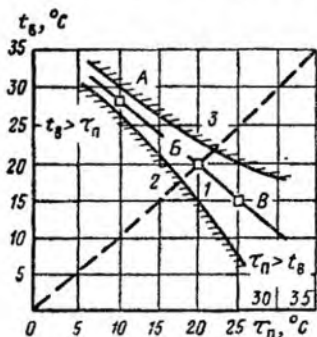


Рис. 1.3. Зоны теплового комфорта 1, переохлаждения 2 и перегревания 3 для человека в спокойном состоянии в отапливаемом помещении

или перегревание организма. Нормальное тепловое состояние человека при этом нарушается, а условия, в которых он находится, называются дискомфортными.

Интенсивность теплоотдачи с поверхности тела человека зависит не только от температуры воздуха t_b , но и от средней температуры τ_n поверхностей ограждений и отопительного прибора, обращенных в помещение, расположение (относительно человека) и размеры которых определяют радиационную температуру помещения t_R . Сочетание этих температур считается комфортным, если большинство людей в помещении положительно оценивает свое физиологическое состояние.

На рис. 1.3 показаны зона теплового комфорта 1, а также зоны переохлаждения 2 и перегревания 3 (кривые линии — границы зон) для человека, находящегося в покое при относительной влажности 55% и умеренной подвижности воздуха. Пунктирная линия отделяет области конвективного (слева сверху) и лучистого (справа внизу) отопления.

Как видно из рис. 1.3, при конвективном отоплении, отличительной характеристикой которого является преобладание температуры воздуха в помещении над средней температурой поверхности ограждений ($t_b > \tau_n$), зона теплового комфорта сужается. При лучистом отоплении, когда средняя температура поверхности ограждений превышает температуру воздуха ($\tau_n > t_b$), эта зона существенно расширяется. При одной и той же температуре воздуха (например, 20°C) ощущения человека в помещении могут характеризоваться оценками «холодно», «нормально» и «жарко» в зависимости от температуры поверхности ограждений.

На рис. 1.3 можно также отметить точки, лежащие на наклонной линии, проведенной в пределах зоны комфорта, определяющие наиболее благоприятные сочетания $t_{в}$ с $\tau_{п}$. К ним относятся, например, точка А ($t_{в}=28^{\circ}\text{C}$ и $\tau_{п}=10^{\circ}\text{C}$) в области конвективного отопления и точка В (15 и 25°C) в области лучистого отопления, в которых значительно отличаются температура воздуха и температура поверхности ограждений. Важно также отметить, что при понижении температуры воздуха при лучистом отоплении (например, до 15°C в точке В) улучшается самочувствие человека. Улучшение самочувствия связано с физиологически благоприятным возрастанием доли конвективного теплообмена при сокращении лучистого.

Для нормального самочувствия человека оказывается также полезным изменение температуры воздуха в течение дня в связи с изменением интенсивности обмена веществ и деятельности. В учреждениях целесообразно поддерживать с утра температуру 19°C , повышая ее до 21°C перед обедом и понижая после обеда до 18°C . В жилых помещениях рекомендуется периодически изменять температуру в течение дня и понижать ее на $2-3^{\circ}$ ночью.

Организм человека не приспособлен к неравномерному охлаждению. При адаптации к тепловой обстановке помещения человек ощущает изменение температуры на $0,5-1^{\circ}$; неравномерное нагревание и охлаждение отдельных участков поверхности тела вызывает простудные заболевания. Эти факторы, связанные с физиологическим воздействием окружающей среды на человека, необходимо учитывать при расположении отопительных приборов в помещении и выборе режима действия отопления.

Следовательно, основная роль отопления заключается в обеспечении благоприятного самочувствия и высокой жизнедеятельности людей путем создания комфортной температурной обстановки в помещении в холодное время года, т. е. поддержанием достаточно равномерной температуры воздуха и определенной температуры внутренней поверхности ограждений и отопительных приборов.

§ 3. РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ОТОПЛЕНИЯ

Состояние отопительной техники, как и любой другой отрасли техники, определяется уровнем развития производительных сил и характером производственных отношений общества.

Процесс перехода от очагов для отопления помещений к жаровням, печам, каминам, конвекторам, излучателям и другим отопительным приборам сопровождался улучшением способа сжигания топлива и совершенствованием их конструкции.

Вместе с тем различные способы отопления помещения трудно отнести к определенным этапам исторического общественного развития.

В одно и то же время встречалось техническое устройство отопления, стоящее и на самом низком и на достаточно высоком уровне. Самый простой и древний способ отопления путем сжигания топлива внутри помещения без специального устройства для удаления продуктов сгорания соседствовал с центральными установками водяного и воздушного отопления. Так, в г. Эфесе, основанном в X в. до н. э. на территории современной Турции, для отопления уже в то время использовалась система трубок, в которые подавалась горячая вода из котлов, находящихся в подвалах домов. В Хакассии и многих других местах еще до

нашей эры применялось центральное напольное отопление с использованием дымовых газов.

Одновременное использование различных по совершенству отопительных установок отражало классовый характер общества. Костры, очаги и примитивные печи применялись в жилищах бедняков, водяное и воздушное отопление — в дворцах и банях знати. Это различие в отопительных установках, имевшееся 2000—3000 лет назад, существовало в средние века, сохранилось и в современных капиталистических странах. Уровень технического совершенства отопительных установок в зданиях массового строительства уступает уровню отопления особняков, в которых создаются особо комфортные условия жизни. Лишь в производственных помещениях владельцы их, стремясь увеличить прибыль, внедряют новые отопительно-вентиляционные системы, способствующие повышению производительности труда и качества продукции.

В Советском Союзе и странах социализма направление и темп развития отопительной техники определяются общими народнохозяйственными задачами. С целью создания наиболее благоприятных условий труда и быта трудящихся разрабатываются и внедряются системы отопления, унифицированные по конструкциям и надежные в действии. Унификация отдельных элементов (узлов и деталей) связывается с экономикой — стремлением сократить затраты труда и материалов, а также механизировать процессы заготовки и сборки систем отопления в условиях гигантского объема промышленного и гражданского строительства. Тепловая надежность систем, влияющая на тепловой комфорт помещений, предопределяется оптимизацией проектных решений и механизацией трудоемких расчетов.

На развитие отопительной техники оказывал влияние вид применяемого топлива. Многие столетия система отопления приспосабливалась к использованию энергии твердого топлива (дров, угля и др.). Твердое топливо сжигалось непосредственно в помещении в костре и жаровне, в очаге и курной печи, в печи с дымовой трубой. Отопительные печи часто применяются и сейчас. Затем твердое топливо стало сжигаться в центральной тепловой станции (котельной) здания и группы зданий, квартала и района города для нагревания промежуточного теплоносителя, переносящего тепло в помещения. С получением новых видов топлива твердое топливо, используемое в центральной тепловой станции, постепенно заменялось жидким и газообразным. Подобное устройство отопительных установок широко распространено в настоящее время.

Одним из источников тепла на Земле является солнечная энергия. Однако малая плотность лучистого потока на поверхности Земли ограничивает мощность отопительных гелиоустановок. В отдельных районах для отопления потребляется геотермическая энергия (глубинное тепло Земли) в виде пара и горячей воды.

Из-за известной ограниченности запасов топлива важным источником тепла становится атомная энергия. Уже сейчас здания и сооружения, расположенные близ атомных электростанций, отапливаются водой, нагреваемой при действии атомных реакторов.

Для отопления помещений используется также электрическая энергия, в частности в районах расположения крупных электрических станций. Можно предположить, что развитие энергетики с использованием атомной энергии и созданием избытка энергии существенно повлияет на дальнейшее развитие отопительной техники, которая, возможно, расши-

рит свое назначение вплоть до изменения местных зимних климатических условий на территории поселений и заводов.

§ 4. ЗАТРАТА ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ

В холодное время года в помещении для поддержания заданной температуры должно существовать равенство между количеством теряемого и поступающего тепла.

Потеря тепла вызвана теплопередачей через наружные ограждения, нагреванием холодного воздуха, проникающего снаружи или подаваемого для вентиляции, нагреванием поступающих холодных транспортных средств, изделий, одежды и материалов, эндотермическими технологическими процессами (например, при испарении влаги).

Тепло в помещение поступает от людей, бытового и технологического оборудования и процессов, источников искусственного освещения, нагретых материалов, изделий и приточного вентиляционного воздуха, солнечной радиации.

Величина каждой из перечисленных статей расхода и прихода тепла изменяется в течение рабочего дня, суток, недели и всего холодного периода года (отопительного сезона), причем потери тепла в общем заведомо возрастают по мере понижения температуры наружного воздуха.

Для каждой местности на основании многолетних наблюдений выбирается, как ее называют, расчетная для отопления температура наружного воздуха. При этой сравнительно низкой температуре потери тепла достигают своей расчетной величины, близкой к максимально возможной (при абсолютно минимальной температуре).

Теплопоступления имеют переменный характер даже в течение рабочего дня; возможно кратковременное возрастание их до величины, составляющей значительную часть теплопотерь и даже превышающей последние. В нерабочее время, особенно ночью и в праздничные дни, поступление тепла сокращается, а иногда и совсем отсутствует. Для каждого помещения устанавливается расчетный минимум теплопоступлений, устойчивый в течение определенного промежутка времени.

В помещениях с постоянным рабочим режимом (например, в жилых, некоторых промышленных и сельскохозяйственных зданиях) наибольшая затрата тепла на отопление (обычно в течение 1 ч) определяется как разность между расчетными теплопотерями и минимальными теплопоступлениями.

В помещениях с переменным режимом (например, в общественных, большинстве промышленных зданий) рассматриваются два периода: рабочий, когда теплопотери могут превышать теплопоступления (отопление необходимо) или, наоборот, теплопотери всегда меньше теплопоступлений (отопление не требуется), и нерабочий, когда отопление обычно необходимо. Отопление, действующее в нерабочее время, называется дежурным. При дежурном отоплении температура воздуха в целях экономии тепла может понижаться против рабочей до минимально возможной по условиям эксплуатации помещения (например, в «сухом» промышленном помещении до температуры $+5^{\circ}\text{C}$).

Сопоставление расчетных часовых теплопотерь и теплопоступлений, описанное выше, называется сведением теплового баланса помещения. Во всех случаях, когда в течение расчетного часа получается отрицательный тепловой баланс, возникает потребность в отоплении помещения и определяется расчетный расход тепла на отопление.

Расчетный расход тепла на отопление обуславливает тепловую мощность отопительной установки, причем по мере уменьшения расчетных теплопоступлений при прочих равных условиях эта мощность будет возрастать.

При эксплуатации отопительной установки выбранной тепловой мощности текущие затраты тепла в большинстве случаев меньше расчетного значения. Расчетной величины затраты тепла достигают только при расчетной температуре наружного воздуха, и тогда тепловая мощность отопительной установки используется целиком. Текущие — уменьшенные затраты тепла на отопление имеют место в течение почти всего времени отопительного сезона (см. рис. I.1) в связи с уменьшением теплопотерь, а также при увеличении теплопоступлений против расчетных величин. В это время тепловая мощность отопительной установки должна использоваться частично. На практике тепловой поток от отопительной установки в помещение сокращается путем регулирования температуры и количества теплоносителя, а также уменьшения количества используемого топлива.

§ 5. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОТОПИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

К отопительной установке, как одной из строительно-технологических установок здания, предъявляются разнообразные требования. Все требования, наиболее полно выражающиеся применительно к помещениям постоянного или длительного пребывания людей, можно разделить на пять групп:

1 — **санитарно-гигиенические** — поддержание определенной и равномерной температуры во времени, в плане и по высоте помещения без усиленной подвижности воздуха, а также ограничение температуры поверхности отопительных приборов;

2 — **экономические** — ограничение первоначальной стоимости и стоимости эксплуатации, уменьшение расхода металла;

3 — **строительные** — соблюдение соответствия архитектурно-планировочному решению помещения, размещение отопительных элементов в увязке, а иногда совмещенно со строительными конструкциями, ограничение срока выполнения монтажных работ, осуществление ремонта без повреждения основных конструкций здания;

4 — **монтажные** — изготовление минимального числа унифицированных и обезличенных деталей и узлов в заводских условиях, сокращение затрат ручного труда при сборке в целях повышения производительности труда;

5 — **эксплуатационные** — обеспечение долговечности, простоты и удобства управления и ремонта, бесшумности и безопасности действия, тепловой надежности.

Понятие тепловая надежность выражает требование выполнения отопительной установкой своего назначения в течение всего отопительного сезона. Установка должна обладать способностью передавать в каждое отапливаемое помещение изменяющееся количество тепла в соответствии с теплотребностью.

Деление требований на пять групп является до некоторой степени условным, так как в эти группы входят требования, относящиеся как к периоду строительства, так и эксплуатации зданий.

Каждое требование по-своему важно, и все их необходимо учитывать при сопоставлении и выборе той или иной отопительной установки, но все же основным следует считать требование обеспечения надлежащих санитарно-гигиенических условий при тепловой надежности действия в течение срока эксплуатации здания.

§ 6. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Отопительная установка для осуществления возлагаемых на нее задач выполняется из отдельных технологически связанных частей, составляющих систему отопления. Система отопления — это комплекс конструктивных элементов, предназначенных для получения, переноса и передачи необходимого количества тепла во все обогреваемые помещения.

Основные конструктивные элементы системы отопления (рис. 14): теплообменник 1 — элемент для получения тепла при сжигании топлива или от другого источника 4;

отопительный прибор 2 — элемент для передачи тепла в помещение; теплопровод 3 — элемент для переноса тепла от теплообменника к отопительному прибору.

Перенос тепла может осуществляться при помощи жидкой или газообразной среды. Жидкая (вода) или газообразная (пар, воздух, газ) среда, перемещающаяся в системе отопления, называется *теплоносителем*. В зависимости от вида теплоносителя системы отопления подразделяются на водяные, паровые, воздушные и газовые.

При использовании для отопления электричества тепло может переноситься также через твердую среду.

Системы отопления подразделяются на две группы: местные и центральные. В местных системах для отопления одного помещения все три основных элемента конструктивно объединены в одной установке, непосредственно в которой происходят получение, перенос и передача тепла в помещение. Теплопереносающая среда нагревается горячей водой, паром, электричеством или при сжигании какого-либо топлива. Передача тепла осуществляется излучением и свободной или вынужденной конвекцией.

Характерным примером местной системы отопления является отопительная печь (рис. 15). Тепло, полученное при сжигании топлива (твердого, жидкого или газообразного) в теплообменнике — топливнике 1, переносится теплоносителем — горячими газами по теплопроводам — каналам 3 и передается в помещение через отопительный прибор — стенки 2 печи.

В местной системе отопления с использованием электричества теплоперенос может осуществляться без теплоносителя — непосредственно через твердую среду.

Центральными называются системы, предназначенные для отопления нескольких помещений из единого теплового центра. Теплообменник и приборы таких систем отопления отделены друг от друга: теплоноситель нагревается в теплообменнике, находящемся в тепловом центре, перемещается по теплопроводам в отдельные помещения и, передав тепло через отопительные приборы в них, возвращается в тепловой центр. К центральным относятся системы водяного, парового и воздушного отопления.

Характерным примером центральной системы отопления является система водяного отопления здания с собственной котельной, принци-

альная схема которой не будет отличаться от схемы на рис. 14, если отопительные приборы размещены во всех помещениях здания.

Центральная система отопления может быть районной, когда группа зданий отапливается из центральной тепловой станции. Теплообменник и отопительные приборы системы здесь также разделены: теплоноситель нагревается в теплообменнике, находящемся на тепловой станции, перемещается по наружным и внутренним теплопроводам в отдельные помещения каждого здания и, передав тепло через отопительные приборы в них, возвращается на станцию.

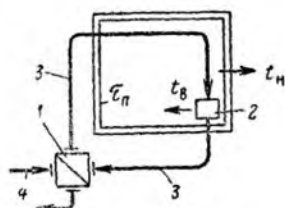


Рис. 14 Принципиальная схема системы отопления

1 — теплообменник, 2 — отопительный прибор, 3 — теплопровод, 4 — подвод топлива (тепла)

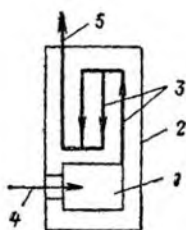


Рис. 15 Схема отопительной печи

1 — топливник, 2 — стенки, 3 — каналы, 4 — подача топлива, 5 — отвод продуктов сгорания топлива

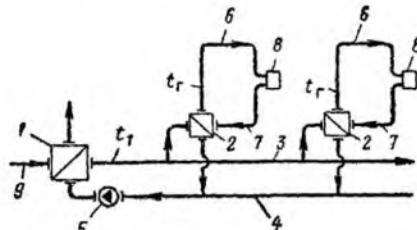


Рис. 16 Принципиальная схема системы теплоснабжения и отопления
1 и 2 — центральный и местный теплообменники, 3 и 4 — подающий и обратный теплопроводы системы теплоснабжения, 5 — циркуляционный насос, 6 и 7 — подающий и обратный теплопроводы системы отопления, 8 — отопительный прибор, 9 — подвод топлива (тепла)

В современных системах теплоснабжения и отопления (рис. 1.6) используются два теплоносителя. Первичный высокотемпературный теплоноситель (температура его t_1), получая тепло в центральном теплообменнике 1 на тепловой станции, движется в наружных теплопроводах 3 и 4. Вторичный низкотемпературный теплоноситель (его температура t_r), получая тепло от первичного в местном теплообменнике 2 каждого здания, переносит его по внутреннему теплопроводу — подающей трубе 6 в отдельные отопительные приборы 8 и возвращается к теплообменнику по обратной трубе 7.

Первичным теплоносителем обычно служит вода или пар. Если, например, первичная высокотемпературная вода нагревает вторичную воду, то такая центральная система отопления называется водо-водяной. Аналогично могут существовать водовоздушная, пароводяная, паровоздушная и другие системы центрального отопления.

Рассмотрим более подробно классификацию каждой из систем центрального отопления¹, наиболее распространенного в настоящее время.

Системы водяного отопления прежде всего разделяются на низкотемпературные с предельной температурой горячей воды $t_r = 105^\circ\text{C}$ и высокотемпературные — $t_r > 105^\circ\text{C}$. Максимальное значение температуры воды ограничено в настоящее время 150°C .

По способу создания циркуляции воды различаются системы водяного отопления с естественной циркуляцией (гравитационные системы) и с механическим побуждением циркуляции воды при помощи насосов (на-

¹ В дальнейшем рассматриваются элементы систем отопления, размещающиеся внутри зданий. Наружные элементы относятся к курсам «Теплоснабжение» и «Котельные установки».

сосные системы). В *гравитационной* (лат. *gravitas* — тяжесть) системе используется различие в плотности воды, нагретой до различной температуры. В системе с неоднородным распределением плотности под действием гравитационного поля Земли возникает естественное движение воды.

В *насосной системе* используется электрический насос для повышения гидравлического давления; в системе создается вынужденное движение воды в дополнение к гравитационному.

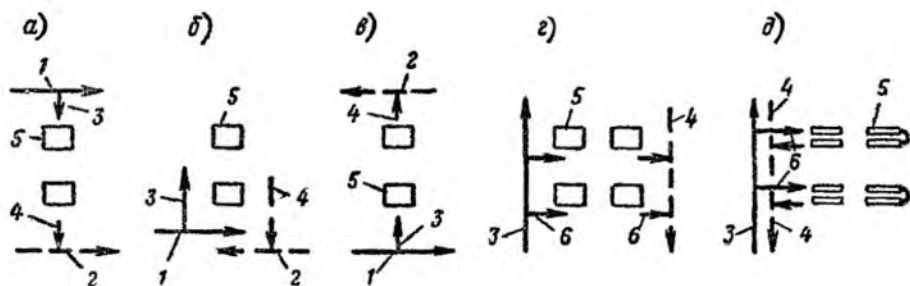


Рис 1.7 Магистралы, стояки и ветви системы водяного отопления

1 и 2 — подающая и обратная магистралы, 3 и 4 — подающий и обратный стояки; 5 — отопительный прибор; 6 — ветвь

Теплопроводы систем водяного отопления (рис. 1.7) подразделяются на магистралы, подающие горячую воду к стоякам (подающие магистралы 1) и отводящие охлажденную воду от стояков к теплообменникам (обратные магистралы 2), и стояки, подающие 3 и обратные 4, которые соединяют магистралы с отопительными приборами 5 или с горизонтальными ветвями 6.

Системы водяного отопления в зависимости от схемы соединения труб с отопительными приборами называются *однотрубными* и *двухтрубными*. В каждом стояке или ветви однотрубной системы приборы соединяются одной трубой и вода протекает последовательно через все приборы. В двухтрубной системе каждый прибор отдельно присоединяется к двум трубам — подающей и обратной, и вода протекает через него независимо от других приборов.

По вертикальному или горизонтальному положению труб, соединяющих отопительные приборы, системы делятся на *вертикальные* со стояками (рис. 1.7, а—в) и *горизонтальные* с ветвями 6 (рис. 1.7, г, д).

В зависимости от места прокладки магистралей различаются системы с *верхней разводкой* (рис. 1.7, а), когда подающая магистраль 1 располагается выше отопительных приборов 5; с *нижней разводкой* (рис. 1.7, б), когда подающая 1 и обратная 2 магистралы прокладываются ниже приборов 5; с *«опрокинутой» циркуляцией воды* (рис. 1.7, в), когда подающая магистраль 1 находится ниже, а обратная 2 выше приборов 5.

Движение воды в подающей и обратной магистралях может совпадать по направлению и быть встречным. В зависимости от этого системы именуются системами с *тупиковым* (встречным) и с *попутным движением воды* в магистралях. На рис. 1.7, а стрелками на линиях, изображающих магистралы, показано попутное движение воды: вода в подающей и в обратной магистралях движется в одном и том же направлении; на рис. 1.7, б, в — тупиковое движение воды: вода в подающей

магистрали течет в одном, а в обратной — в противоположном направлении.

При встречном движении воды в последовательно соединенных трубах двух частях каждого отопительного прибора система носит название *бифилярной* (двухпоточной). На рис. 1.7, *д* показаны две ветви *б* горизонтальной бифилярной системы. Бифилярной может быть и вертикальная система с нижней разводкой по рис. 1.7, *б*.

На рис. 1.8 изображены основные приборные узлы трех типов однотрубных стояков *1* вертикальных систем водяного отопления. Все три ти-

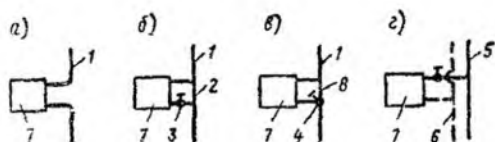


Рис. 1.8. Основные схемы приборных узлов вертикальной системы водяного отопления

а, б, в — однотрубной; *г* — двухтрубной; *1* — однотрубный стояк; *2* — замыкающий участок; *3* — регулирующий кран; *4* — регулирующий трехходовой кран; *5* и *6* — подающая и обратная трубы двухтрубного стояка; *7* — отопительный прибор; *8* — обходной участок

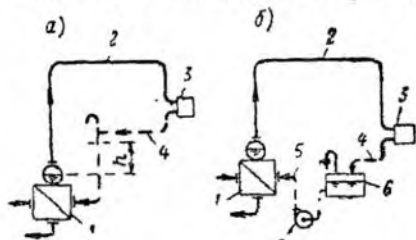


Рис. 1.9. Принципиальные схемы систем парового отопления

а — замкнутой, *б* — разомкнутой, *1* — паровой котел с паросборником; *2* — паропровод; *3* — отопительный прибор; *4* и *5* — самотечный и напорный конденсаторопроводы; *6* — конденсатный бак; *7* — конденсатный насос

па однотрубных стояков используются и в вертикальных, и в горизонтальных системах. В однотрубном *проточном* стояке первого типа (рис. 1.8, *а*) отсутствуют краны для регулирования теплопередачи отопительных приборов *7*. В однотрубном стояке второго типа с постоянно действующими (проточными) *замыкающими участками 2* (рис. 1.8, *б*) устанавливаются регулирующие краны *3* у приборов. В однотрубном *проточно-регулируемом* стояке третьего типа (рис. 1.8, *в*) имеются обходные участки *8* для пропуска воды при регулировании теплопередачи приборов трехходовыми кранами *4*.

В двухтрубном стояке каждый отопительный прибор *7* присоединяют отдельно к подающей трубе *5* и обратной трубе *6* (рис. 1.8, *г*). По подающей трубе подводится горячая вода, по обратной — отводится охлажденная вода от приборов.

Системы парового отопления в зависимости от давления пара разделяются на вакуум-паровые, низкого и высокого давления (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Параметры (округленные) насыщенного пара в системах парового отопления

Система	Абсолютное давление		Температура	Удельное тепло конденсации	
	МПа	кгс/см ²	°С	кДж/кг	ккал/кг
Вакуум-паровая	<0,1	<1	<100	>2260	>540
Низкого давления	0,1—0,17	1—1,7	100—115	2260—2220	540—530
Высокого	0,17—0,47	1,7—4,8	115—150	2220—2120	530—506

Максимальное давление пара ограничено, как и в системах водяного отопления, допустимым пределом температуры поверхности отопитель-

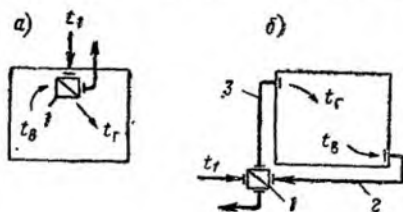
ных приборов (температуре 150°C соответствует избыточное давление пара, равное приблизительно $0,37$ МПа или $3,8$ кгс/см²).

В системах парового отопления насыщенный пар конденсируется на стенках отопительных приборов, тепло фазового превращения через стенки передается в помещения, конденсат удаляется из приборов и возвращается в котлы.

По способу возвращения конденсата в паровые котлы системы парового отопления подразделяются на замкнутые (рис. 1.9, а) с самотечным возвращением и разомкнутые (рис. 1.9, б) с насосным возвращением

Рис. 1.10. Принципиальные схемы систем воздушного отопления

а — местной; б — центральной; 1 — теплообменник — калорифер; 2 и 3 — обратный и подающий воздухопроводы



конденсата. В замкнутой системе конденсат непрерывно поступает в котел 1 под действием разности давления, выраженного на рис. 1.9, а столбом конденсата высотой h , и давления пара в котле. Поэтому отопительные приборы 3 должны находиться достаточно высоко над котлом 1 (в зависимости от давления пара в котле).

В разомкнутой системе парового отопления конденсат непрерывно поступает в конденсатный бак 6 и по мере накопления периодически подается конденсатным насосом 7 в котел 1. В такой системе положение нижнего отопительного прибора обусловлено обеспечением самотечного стекания конденсата только в бак, а давление пара в котле преодолевается давлением насоса.

Теплопроводы систем парового отопления разделяются на паропроводы 2, по которым пар перемещается от теплового центра (котла 1) до отопительных приборов 3, и конденсатопроводы 4 для отвода конденсата. Разводка паропроводов в зависимости от места их прокладки по отношению к отопительным приборам может быть верхней (см. рис. 1.7, а), нижней (см. рис. 1.7, б) и средней, когда паропровод размещается между отопительными приборами на различных этажах здания. Пар в паропроводах движется за счет разности давления пара в тепловом центре и в приборах.

Конденсатопроводы (см. рис. 1.9) могут быть самотечными и напорными: самотечные 4 прокладывают ниже отопительных приборов с уклоном в сторону движения конденсата; в напорных 5 конденсат перемещается под действием давления насоса или остаточного давления пара в приборах.

В зависимости от направления движения теплоносителя в магистралях различаются системы парового отопления, как и водяного, с попутным и тупиковым (встречным) движением пара и конденсата (см. стрелки на линиях, изображающих магистрали на рис. 1.7, а, б).

Из двух уже известных конструкций стояков в системах парового отопления преимущественно используют двухтрубные стояки, изображенные на рис. 1.8, г, но можно применять и однотрубные.

Системы воздушного отопления по способу создания циркуляции теплоносителя — воздуха разделяются на системы с естественной циркуляцией (гравитационные системы) и системы с механи-

ческим побуждением движения воздуха при помощи вентиляторов (вентиляторные системы).

В *гравитационной системе* используется различие в плотности воздуха, нагретого до различной температуры. Как и в водяной гравитационной системе, при неоднородном распределении плотности возникает естественное движение воздуха.

В *вентиляторной системе* используется электровентилятор для повышения давления воздуха и создается вынужденное движение воздуха в дополнение к гравитационному.

Нагревание воздуха, служащего теплоносителем, от температуры помещения до температуры, обычно не превышающей 70°C , происходит в специальных отопительных приборах — калориферах. Калориферы внутри могут обогреваться паром, водой, электричеством или горячими газами; система воздушного отопления соответственно называется водо-воздушной, паровоздушной, электровоздушной, газовоздушной.

По радиусу действия воздушное отопление может относиться к *местным* (рис. 1.10, а) и *центральному* (рис. 1.10, б) системам. В местной системе воздух нагревается в калорифере 1, находящемся в отапливаемом помещении. В центральной системе калорифер 1 размещается в отдельной камере — тепловом центре, воздух с температурой $t_{\text{в}}$ подводится к калориферу по обратным воздуховодам 2, горячий воздух с температурой $t_{\text{г}}$ перемещается в помещения по подающим воздуховодам 3.

§ 7. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ

Теплоносителем для отопления может быть любая жидкая или газообразная среда, обладающая способностью аккумулировать тепло и изменять свои основные теплотехнические показатели, а также достаточно подвижная и дешевая. Вместе с тем теплоноситель должен способствовать выполнению требований, предъявляемых к отопительной установке (см. § 5).

Для отопления зданий и сооружений в настоящее время используют воду, водяной пар, атмосферный воздух, горячие газы. Органические теплоносители, температура кипения которых при атмосферном давлении превышает 250°C (полифенилы и др.), чаще применяются в специальных высокотемпературных установках.

Дадим сравнительную характеристику этим теплоносителям, которая отражает требования, предъявляемые к отопительной установке, а также свойства самих теплоносителей.

Газы, образующиеся при сгорании твердого, жидкого или газообразного топлива, имеют сравнительно высокую температуру и применимы для отопления в тех случаях, когда в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями удается ограничить температуру теплоотдающей поверхности приборов. Из-за высокой температуры продуктов сгорания топлива возрастают бесполезные потери тепла при транспортировании.

Выпуск продуктов сгорания топлива в отапливаемые помещения ухудшает состояние их воздушной среды и в большинстве случаев недопустим, а удаление их наружу по каналам усложняет систему отопления.

Область использования продуктов сгорания как теплоносителя ограничена системами местного отопления с такими отопительными установками, как отопительные печи, газовые калориферы и т. п.

Наибольшее распространение в качестве теплоносителей в системах отопления имеют **вода, пар и воздух.**

Сопоставим эти теплоносители как по физическим свойствам, так и по технико-экономическим, санитарно-гигиеническим и эксплуатационным показателям, важным для выбора системы отопления.

Прежде всего перечислим физические свойства каждого из теплоносителей, отражающиеся на конструкции и действии системы отопления. Свойства воды: большие теплоемкость и плотность, несжимаемость, расширение при нагревании с уменьшением плотности, повышение температуры кипения при увеличении давления, уменьшение абсорбции воздуха при нагревании и снижении давления. Свойства пара: высокая подвижность, малая плотность, повышение температуры и плотности при увеличении давления, большое теплосодержание за счет тепла фазового превращения (см. табл. I.2). Свойства воздуха: малая теплоемкость и плотность, легкая подвижность, уменьшение плотности при нагревании.

Существенным технико-экономическим показателем является масса металла, расходуемого при том или ином теплоносителе на изготовление теплообменника, отопительных приборов и теплопроводов, влияющая на стоимость устройства и эксплуатации системы отопления.

При теплоносителе воздухе площадь нагревательной поверхности calorифера уменьшается по сравнению с площадью отопительных приборов при двух других теплоносителях. При теплоносителе паре площадь (и масса) отопительных приборов меньше, чем при теплоносителе воде, что объясняется более высокой температурой паровых приборов.

Если при паре температура теплоносителя в приборе равна температуре насыщенного пара (например, 150°C), то при воде эта температура может быть равна полусумме температуры воды, входящей и выходящей из прибора [например, $(150+70)0,5 = 110^{\circ}\text{C}$]. В этом примере соотношение площадей нагревательной поверхности паровых и водяных приборов приблизительно равняется $(110 - 20) : (150 - 20) = 9 : 13$ (20°C — температура воздуха в помещении).

Расход металла на теплопроводы возрастает с увеличением площади их поперечного сечения. Определим соотношение площадей поперечного сечения теплопроводов, по которым транспортируются вода, пар и воздух в объемах, необходимых для передачи помещению одинакового количе-

Таблица I.3

Сравнение параметров основных теплоносителей для отопления

Параметры	Теплоноситель		
	вода	пар	воздух
Температура, разность температуры, $^{\circ}\text{C}$	$150 - 70 = 80$	150	$70 - 15 = 55$
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	917	2,5	1,03
Массовая теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ [$\text{ккал}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$]	4,31 (1,03)	2120 (506)*	1 (0,24)
Тепло для отопления в объеме 1 м^3 , $\text{кДж}(\text{ккал})$	316 370 (75 560)	5300 (1265)	56,6 (13,6)
Скорость движения, $\text{м}/\text{с}$	1,5	60	12
Относительная площадь поперечного сечения теплопровода	1	1,5	700

* Удельное тепло конденсации, $\text{кДж}/\text{кг}$ ($\text{ккал}/\text{кг}$).

ства тепла. Примем, что для отопления используется вода, температура которой снижается от 150 до 70 °С, пар, имеющий избыточное давление 0,37 МПа или 3,8 кгс/см² (см. табл. I.2), и воздух, охлаждающийся от предельно допустимой нормами температуры 70 °С до температуры помещения 15 °С. Результаты расчетов сведем в табл. I.3.

Как видно из табл. I.3, площади поперечных сечений водоводов и паропроводов близки; сечение воздухопроводов, пропускающих равное количество тепла, несоизмеримо больше. Поэтому расход металла на воздухопроводы увеличивается в несколько раз (даже если выполнить их из тонколистовой стали).

Аналогичные расчеты при использовании для отопления низкотемпературной воды (95 °С) и пара низкого избыточного давления 0,02 МПа (0,2 кгс/см²) выявляют подобную закономерность — для воздуха необходима площадь поперечного сечения теплопровода приблизительно в 100 раз большая, чем для воды или пара. Это связано со способностью воды аккумулировать значительное количество тепла в единице объема, свойством пара перемещаться с высокой скоростью и малой теплоаккумуляционной способностью воздуха.

Таким образом, по площади поперечного сечения теплопроводов воздух является наименее выгодным теплоносителем. При значительной длине воздухопроводов, когда из-за малой теплоемкости и увеличенной теплоотдающей поверхности воздух заметно охлаждается в пути, применять его в качестве теплоносителя нецелесообразно. Поэтому для теплоснабжения используется не воздух, а вода или пар. Напомним, что в СССР наибольшее распространение получила водяная теплофикация на базе строительства теплоэлектроцентралей (ТЭЦ).

Сравним также теплоносители воду, пар и воздух по *санитарно-гигиеническим* показателям и в первую очередь по температурным условиям, создающимся в помещении при использовании того или иного теплоносителя. Воздух как малотеплоемкий теплоноситель полностью отвечает требованию постоянно поддерживать в помещении определенную температуру независимо от колебания температуры наружного воздуха. Температура воды, как и теплоносителя воздуха, также может изменяться в широких пределах, однако из-за тепловой инерции отопительных приборов с водой возможно некоторое изменение температуры помещения даже при автоматическом регулировании теплопередачи приборов.

Планомерное изменение температуры теплоносителей воздуха и воды в зависимости от температуры наружного воздуха (с которой связаны теплотери помещений), называемое качественным регулированием, практически невозможно при теплоносителе паре. Температура насыщенного пара определяется, как известно, его давлением. При значительном изменении давления пара в системе отопления не происходит заметного изменения его температуры, а следовательно, теплопередачи отопительных приборов. Например, при снижении избыточного давления с 0,05 до 0,005 МПа, т. е. в 10 раз, температура пара понижается с 110,8 до 100,4 °С, т. е. только на 10%. Для уменьшения теплопередачи приборов приходится периодически их выключать, что вызывает колебание температуры помещений, противоречащее гигиеническому требованию.

Другое санитарно-гигиеническое требование ограничивать температуру поверхности отопительных приборов обусловлено явлением разложения и сухой возгонки органической пыли, сопровождающимся выделением вредных веществ, в частности окиси углерода. Разложение пыли

начинается при температуре 65—70° и интенсивно протекает на поверхности, имеющей температуру более 80°С.

При использовании воды температура поверхности отопительных приборов постоянно ниже, чем при применении пара с одинаковой начальной температурой. Это, как уже известно, связано с понижением температуры воды в приборах при теплопередаче, а также в системе в целом — при повышении температуры наружного воздуха. Следовательно, применение воды позволяет поддерживать среднюю температуру поверхности приборов почти весь отопительный сезон (см. рис. 1.1) на уровне не выше 80°С. При теплоносителе паре температура поверхности большинства отопительных приборов превышает гигиенический предел.

В центральных системах воздушного отопления возможна очистка нагретого воздуха от пыли, и такие системы будут гигиеничными. В местных системах разложение пыли на поверхности теплообменника зависит от вида первичного теплоносителя: оно неизбежно при паре и связано с температурой воды.

Эксплуатационные показатели трех сопоставляемых теплоносителей частично уже рассмотрены при их технико-экономической и санитарно-гигиенической оценке. Можно еще отметить различие в их плотности (см. табл. 1.3). Плотность воды существенно отличается от плотности пара (в 400—1500 раз) и воздуха (в 900 раз), что вызывает значительное гидростатическое давление в отопительных приборах систем водяного отопления многоэтажных зданий и ограничивает высоту систем.

Воздух и вода могут перемещаться в теплопроводах бесшумно (до определенной скорости движения). Частичная конденсация пара из-за попутной потери тепла паропроводами (появление, как говорят, попутного конденсата) вызывает шум (пощелкивание, стук и удары) при движении пара.

Подытожим сравнительные достоинства и недостатки теплоносителей — воды, водяного пара и атмосферного воздуха.

При использовании воды, как теплоемкого теплоносителя, изменяющего в широких пределах температуру, сокращается площадь поперечного сечения труб, ограничивается температура поверхности отопительных приборов, обеспечивается равномерность температуры помещений, уменьшаются бесполезные потери тепла, обеспечиваются бесшумность действия и сравнительная долговечность систем отопления. К недостаткам применения воды относятся значительное гидростатическое давление и расход металла в системах; тепловая инерция воды в отопительных приборах, что снижает качество регулирования их теплопередачи.

При использовании пара сокращаются площади поверхности отопительных приборов и поперечного сечения конденсатопроводов. Пар — легкоподвижный теплоноситель, быстро прогревающий помещения, обладающий малой тепловой инерцией и незначительным гидростатическим давлением. Однако пар не способствует требуемому регулированию температуры теплоносителя, повышает температуру поверхности приборов до 100°С и более, вызывает ускоренную коррозию труб. При применении пара увеличиваются эксплуатационные затраты на отопление, создаются затруднения при его использовании, перегреваются помещения, возникает шум при действии, увеличиваются бесполезные потери тепла и расход топлива.

Воздух — малотеплоемкий, легкоподвижный, хорошо регулируемый (по температуре и количеству) теплоноситель, обеспечивающий быстрое изменение или равномерность температуры помещений, безопасный

в пожарном отношении. При использовании воздуха возможно устранение отопительных приборов из помещений и осуществление вентиляции помещений. К недостаткам применения воздуха в качестве теплоносителя относятся существенное увеличение площади поперечного сечения и массы воздухопроводов, возрастание бесполезных потерь тепла, расхода теплоизоляционного материала и топлива, заметное понижение его температуры по длине воздухопроводов.

§ 8. СРАВНЕНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Система отопления выбирается на основании технико-экономического сопоставления различных вариантов, допустимых по санитарно-гигиеническим показателям, с учетом ее эксплуатационных особенностей.

Сравним капитальные вложения в различные системы центрального отопления. В равных расчетных условиях в системе парового отопления, учитывая уменьшение площади поверхности отопительных приборов и площади сечения конденсатопроводов, расходуется меньше металла и первоначальная ее стоимость несколько ниже, чем системы водяного отопления. Стоимость устройства системы воздушного отопления близка к капитальным затратам на создание системы водяного отопления, а расход металла в связи с ограниченными размерами теплообменника и возможностью изготовления воздухопроводов из бетона и подобных материалов часто оказывается даже ниже, чем в системе парового отопления.

По капитальным затратам преимущество имеет местная система воздушного отопления без воздухопроводов или с короткими воздухопроводами (см. рис. I.10) с подачей высокотемпературного первичного теплоносителя (воды или пара) в теплообменник. На второе место можно поставить систему парового отопления и на последнее — системы отопления водяную и центрально-воздушную с протяженными металлическими воздухопроводами.

Однако выбор системы отопления только по наименьшим капитальным затратам недопустим и экономически не может считаться полноценным без учета стоимости ее эксплуатации. Стоимость эксплуатации зависит прежде всего от расхода топлива и долговечности системы отопления.

Расход топлива на отопление при паровых и центрально-воздушных системах превышает расход топлива при водяном отоплении вследствие возрастания бесполезной попутной потери тепла. Срок службы паропроводов (до 10 лет) и особенно конденсатопроводов (около 4 лет) из-за интенсивной внутренней коррозии значительно меньше, чем теплопроводов водяного отопления (25—40 лет). Воздуховоды из тонколистовой стали также недолговечны, а неметаллические воздухопроводы требуют частого ремонта в связи со сравнительно быстрым нарушением их плотности при действии в различных температурных условиях.

Таким образом, для выбора системы по экономическим показателям необходимо определять общие, так называемые приведенные затраты, учитывающие помимо капитальных затрат еще и стоимость эксплуатации системы отопления. В стоимость эксплуатации, кроме стоимости топлива и текущего ремонта и амортизационных расходов, входят также стоимость расходуемой электроэнергии, заработная плата обслуживающего персонала и некоторые другие затраты.

Экономические преимущества эксплуатации системы водяного отоп-

ления сокращают приведенные затраты, которые могут стать меньше приведенных затрат на систему парового отопления.

Технические показатели эксплуатации центральных систем отопления различны. Наибольшей надежностью действия, в том числе тепловой, обладает система водяного отопления, простая и удобная в эксплуатации. Близко к ней подходит система местного воздушного отопления при водяном теплоснабжении, действие которой легко автоматизируется, хотя надежность ее и понижается в зависимости от увеличения числа побудителей циркуляции воздуха — вентиляторов.

Менее надежна система парового отопления как более сложная по конструкции и в обслуживании, имеющая сокращенный срок амортизации. Также понижена надежность системы центрально-воздушного отопления из-за усложнения и возможного нарушения распределения воздуха по помещениям. Все же решающими факторами в последнем случае могут оказаться попутное обеспечение вентиляции и устранение отопительных приборов из помещений.

При системах водяного и центрально-воздушного отопления обеспечиваются высокие гигиенические и акустические показатели, что, однако, связано с ограничением температуры и скорости движения теплоносителя, отражающимся на экономических показателях систем. Применение паровой и местной воздушной (при высокотемпературном первичном теплоносителе) систем сопровождается понижением гигиенических и акустических показателей отопления.

Радиус действия систем различен: при воздушном отоплении он ограничен; при водяном отоплении допустима значительная горизонтальная протяженность, но по вертикали он также ограничен величиной гидростатического давления; при паровом отоплении возможна значительная протяженность не только горизонтальная, но и вертикальная.

Система водяного отопления обладает значительной тепловой инерцией, особенно при массивных (таких, как бетонные панели) и водоемких (радиаторы) отопительных приборах; системы парового и воздушного отопления — малой инерцией. Это их качество может оказаться важным и даже предопределяющим выбор системы.

Показатели и свойства систем отопления, описанные выше, определяют область их применения. Система водяного отопления, надежная и гигиенически приемлемая, получившая широкое распространение в условиях теплофикации, применяется в гражданских и промышленных зданиях.

Санитарно-гигиенические и эксплуатационные недостатки существенно ограничивают область применения парового отопления, которое не допускается в гражданских зданиях, предназначенных для постоянного или длительного пребывания людей. Паровое отопление допускается в промышленных зданиях, а также в общественных при непродолжительном пребывании людей и рекомендуется для периодического или дежурного (в нерабочее время) отопления помещений.

Возможность сочетания отопления и вентиляции способствует распространению воздушного отопления, в первую очередь в промышленных зданиях. Воздушное отопление используется также для периодического или дежурного обогрева помещений общественных и промышленных зданий.

Сказанное относится к холодной климатической зоне, где почти каждое здание нуждается в непрерывно действующей системе отопления. В теплой климатической зоне отопление зданий может быть периоди-

ческим с использованием стационарных центральных и местных систем или даже временных подогревательных установок.

Широко применяются газовые и электрические подогревательные установки. Большие запасы природного газа, значительный рост его добычи, высокая теплотворность и низкая стоимость способствуют развитию отопления газовыми приборами. Например, в США газовые приборы применяют для отопления промышленных зданий.

Использованию электричества для отопления благоприятствует снижение капитальных затрат и сравнительная простота прокладки кабелей, независимость действия одних электроотопительных приборов от других, их незначительная тепловая инерция, широкий диапазон и удобство индивидуального регулирования теплопередачи в помещении.

Повышение уровня выработки электроэнергии, а также разработка новых методов преобразования электроэнергии в тепло с использованием энтальпии наружного воздуха при помощи полупроводниковых элементов (эффект Пельтье) расширяют область ее применения для отопления. Можно отметить распространение электрического отопления гражданских зданий в Норвегии, Швейцарии, Англии, США и в других странах.

Общие рекомендации по выбору системы отопления в зданиях различного назначения даются в общесоюзных строительных нормах и правилах (СНиП).

СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Аистов Н. Н. и др. История строительной техники. М., Госстройиздат, 1962, с. 534—566.

Орлов А. И. Русская отопительно-вентиляционная техника. М., Госстройиздат, 1950.

Копьев С. Ф., Качанов Н. Ф. Основы теплогазоснабжения и вентиляции. М., Стройиздат, 1964.

Богуславский Л. Д. Экономика теплогазоснабжения и вентиляции. М., Стройиздат, 1967.

Помещения в здании изолированы от внешней среды, что позволяет создать в них определенный микроклимат. Наружные ограждения защищают от непосредственных климатических воздействий, специальные системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (собира-тельно их можно называть системами кондиционирования микроклимата¹) поддерживают в помещениях в течение всего года определенные параметры внутренней среды.

Тепловым режимом здания называется совокупность всех факторов и процессов, определяющих тепловую обстановку в его помещениях.

В холодный период года под влиянием низкой температуры и ветра через наружные ограждения происходит потеря тепла, и их внутренние поверхности, обращенные в помещение, оказываются относительно холодными. В то же время через поверхности отопительных устройств в помещение непрерывно подается тепло, вследствие чего они имеют повышенную температуру.

Таким образом, определенное постоянство температурной обстановки в помещении должно быть выдержано при наличии в нем холодных внутренних поверхностей наружных ограждений и нагретых поверхностей приборов системы отопления.

При наличии холодных и нагретых поверхностей в помещении возникают конвективные потоки воздуха, которые тем интенсивнее, чем больше температура поверхностей отличается от температуры внутреннего воздуха. Ниспадающие холодные потоки от наружных ограждений могут заметно переохладить нижнюю зону помещения, а восходящие потоки нагретого у горячих поверхностей воздуха создают тепловую подушку под потолком помещения.

Инфильтрация наружного воздуха через ограждения и действие нагретых или охлажденных струй воздуха, подаваемых в помещение вентиляционными системами, также вызывают определенную подвижность воздуха в помещении. Нагретые и холодные поверхности являются источниками радиационного нагревания и охлаждения в помещении. Остальные поверхности внутренних ограждений, оборудования и мебели, а также основная масса воздуха являются пассивными участниками процессов теплообмена и образования конвективных потоков.

Интенсивные потоки холодного воздуха и потеря тепла излучением, а также чрезмерное количество излучаемого тепла создают у людей, находящихся в помещении, ощущение неприятного переохладения или

¹ Система кондиционирования микроклимата включает в себя комплекс средств по обеспечению заданных метеорологических условий в помещениях, т. е. системы отопления, охлаждения, вентиляции, кондиционирования воздуха, и конструктивно-планировочные мероприятия по защите помещения от внешних климатических воздействий. Этот собирательный термин, в котором в настоящее время имеется большая необходимость, в нашей технической литературе еще не установился. В немецких, английских изданиях используются термины «климатехника», «климатизация» и др.

перегревания. При определенных условиях такая обстановка может привести к простудным и другим заболеваниям.

Температура наружного воздуха непрерывно изменяется, в связи с чем изменяются температура поверхностей ограждений и нагревательных приборов, интенсивность конвективных токов. Наибольшие разности температуры в помещении наблюдаются в суровые периоды зимы. Если защита наружных ограждений и тепловая мощность системы отопления обеспечат удовлетворительные внутренние условия в этот отрезок времени, то они смогут при соответствующем регулировании поддерживать необходимые условия в помещении и в течение всего остального холодного периода года.

Поэтому, решая задачу отопления здания, необходимо рассчитать ограждения и обогревающие устройства так, чтобы они обеспечили требуемые тепловые условия в обслуживаемой зоне помещений, прежде всего в наиболее суровый период зимы, который в связи с этим считается расчетным.

При изложении данного материала имеется в виду, что читатель знаком с основами теплопередачи и строительной теплофизики (в учебном плане специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» предусмотрена именно такая последовательность изучения дисциплин), ему известны частные вопросы теплопередачи через ограждения, теплообмена и комфортности тепловой обстановки в помещении, нестационарной теплопередачи, выбора расчетных условий и т. д. Поэтому в данной главе материал расположен в логической последовательности, отвечающей необходимости лаконичного освещения всей совокупности вопросов теплового режима здания в холодный период года, которая является теплофизической основой техники отопления и которую необходимо знать, приступая к изучению отдельных элементов, выбору схем, методов проектирования и расчета систем отопления.

§ 9. ТЕПЛОВАЯ ОБСТАНОВКА И УСЛОВИЯ КОМФОРТНОСТИ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА В ПОМЕЩЕНИИ

В жилых, общественных и промышленных зданиях требуется поддерживать необходимые для людей и производственных процессов метеорологические условия — определенный микроклимат.

Защита ограждений от наружных климатических воздействий недостаточна для круглогодичного обеспечения необходимых условий в помещении. Эти условия могут быть созданы искусственно, например зимой работой системы отопления.

Основное требование к микроклимату — поддержание условий, благоприятных для находящихся в помещении людей.

В организме человека постоянно вырабатывается тепло, которое должно быть отдано окружающей среде. Поддержание постоянной температуры организма около $36,6^{\circ}\text{C}$ обеспечивает физиологическая система терморегуляции. Напряжение системы терморегуляции сказывается на самочувствии и работоспособности человека.

В зависимости от физиологического и эмоционального состояния человека, его одежды, возраста, степени физической тяжести выполняемой работы и индивидуальных особенностей количество отдаваемого в окружающую среду тепла может быть различным.

В спокойном состоянии организм взрослого человека вырабатывает и отдает окружающей среде около 120 Вт ($\sim 100\text{ ккал/ч}$), при тяжелой

работе — до 470 (~ 400), а при максимальных кратковременных нагрузках — до 1000 Вт (~ 900 ккал/ч).

Степень физической тяжести выполняемой человеком работы условно определяют по интенсивности тепловыделения и считают незначительной работу, при которой тепловыделения составляют до 140 Вт (120 ккал/ч), легкой до 175 (150), средней до 290 (250) и тяжелой свыше 290 Вт (250 ккал/ч).

Если теплопродукция не равна отдаче тепла, то наблюдается накопление или дефицит тепла, приводящие к перегреву или переохлаждению организма. Система терморегуляции позволяет в определенных пределах обеспечивать баланс тепла, но ее возможности довольно ограничены.

Отдача тепла с поверхности тела человека происходит излучением (окружающим поверхностям помещения), конвекцией (воздуху) и в результате затрат тепла на испарение влаги (пота).

При обычных условиях в спокойном состоянии человек приблизительно половину тепла теряет излучением, четверть — конвекцией и четверть — испарением. При тяжелой работе основная доля теряемого тепла приходится на испарение влаги (см. рис. 1.2).

Интенсивность отдачи тепла человеком зависит от тепловой обстановки в помещении, которая характеризуется температурой воздуха t_v , радиационными условиями (радиационной температурой t_R и температурой t_n , размерами и расположением нагретых и охлажденных поверхностей), а также подвижностью v_v и влажностью ϕ_v внутреннего воздуха.

Комфортными (зона комфорта) или **оптимальными** считаются такие сочетания этих показателей микроклимата, при которых сохраняется тепловое равновесие в организме человека и отсутствует напряжение в его системе терморегуляции.

Допустимыми являются такие метеорологические условия, при которых возникает незначительная напряженность системы терморегуляции и отмечается небольшая дискомфортность для человека тепловой обстановки в помещении.

Деятельность человека обычно связана с определенной частью объема помещения. Эту часть называют обслуживаемой или рабочей зоной. Требуемые внутренние условия должны быть обеспечены системой отопления и теплозащитой ограждений именно в этой зоне.

Тепловые условия в помещении зависят в основном от температуры воздуха и температуры поверхностей, т. е. определяются его температурной обстановкой. Основное назначение системы отопления сводится к поддержанию во всех помещениях здания в зимний период года заданных температурных условий.

Ощущение температурного комфорта зависит в определенной мере от температуры воздуха и температуры поверхностей, обращенных в помещении. Когда температуры воздуха t_v и поверхностей t_R равны, в помещении имеется температурный уровень или «температура помещения» t_n , равная этой температуре. В этих условиях $t_n = t_v = t_R$. Опытами установлено, что для приблизительного соблюдения условий температурного комфорта определенному понижению температуры воздуха должно соответствовать приблизительно такое же повышение температуры поверхностей.

Учитывая наличие такой связи, удобно характеризовать условия в помещении «температурой помещения», понимая под ней такую одинаковую температуру воздуха и поверхностей, при которой теплоотдача

человеком будет такая же, как и при заданных неравных температурах воздуха и поверхностей.

Для наиболее распространенных помещений, с небольшой подвижностью внутреннего воздуха, $t_{п}$ принимают приблизительно равной среднеарифметическому значению $t_{в}$ и t_{R} .

Температурную обстановку в помещении можно определить двумя условиями комфортности.

Первое условие комфортности температурной обстановки устанавливает зону сочетаний $t_{в}$ и t_{R} , при которых человек, находясь в середине обслуживаемой зоны, не испытывает чувства перегрева или переохлаждения.

Для холодного периода года первое условие записывают в виде:

$$t_{R} \geq 1.57 t_{п} - 0.57 t_{в} \pm 1.5, \quad (\text{II.1})$$

где $t_{п}$ — соответствует оптимальным условиям при разной интенсивности выполняемой человеком физической работы. При спокойном состоянии человека $t_{п}$ равна $21-23^{\circ}\text{C}$, для помещений, где человек выполняет легкую работу — $19-21$, работу средней тяжести — $16-19$ и тяжелую работу — $14-16^{\circ}\text{C}$.

Уравнение (II.1) определяет осредненную температурную обстановку в помещении. С помощью этого уравнения можно, например, определить, какая должна быть температура воздуха, если известны радиационная температура и назначение помещения. Заметная разница между $t_{в}$ и t_{R} возникает при панельном (лучистом) или воздушном (конвективном) отоплении, а также при сильно развитых холодных поверхностях наружных ограждений в помещении.

В других случаях температуры $t_{п}$, $t_{в}$ и t_{R} практически равны. В СНиП в связи с этим регламентируется только одна внутренняя температура — температура воздуха в помещении $t_{в}$. Для указанных выше помещений, в которых нужно учитывать разность между $t_{в}$ и t_{R} , нормируемую внутреннюю температуру следует принимать в качестве температуры помещения.

Кроме общего теплового баланса, на тепловое самочувствие человека влияют условия, в которых находятся отдельные части тела. Особенно существенно сказываются на ощущениях комфортности обстановки тепловые условия, в которых находятся голова и ноги человека. Голова человека чувствительнее к радиационному перегреву и переохлаждению, а для ног важны температура поверхности пола, с которой они непосредственно соприкасаются, и наличие холодных потоков воздуха вдоль пола.

Второе условие комфортности температурной обстановки определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека на границах обслуживаемой зоны помещения, т. е. в непосредственной близости от этих поверхностей.

Для предупреждения радиационного перегрева или переохлаждения головы человека поверхности потолка и стен могут быть нагреты до допустимой температуры

$$t_{\text{наг}}^{\text{доп}} \leq 19.2 + \frac{8.7}{\phi} \quad (\text{II.2})$$

или охлаждены до температуры

$$t_{\text{охл}}^{\text{доп}} \geq 23 - \frac{5}{\phi}, \quad (\text{II.3})$$

где φ — коэффициент облученности от поверхности элементарной площадки на голове человека в сторону соответственно нагретой или охлажденной поверхности.

Допустимая температура нагретого пола принимается равной 22—34° С в зависимости от назначения и особенностей режима работы помещения. Температура холодного пола зимой может быть ниже температуры воздуха максимально на 2—2,5° С. Следует иметь в виду, что тепловое ощущение человека и потери тепла ногами зависят не только от температуры, но и от свойства теплоусвоения покрытия пола, о котором будет сказано ниже.

§ 10. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСЧЕТНЫХ УСЛОВИЙ

Расчетные тепловые условия в помещении принимают в зависимости от функционального назначения и санитарно-гигиенических требований. Для большинства жилых и общественных зданий эти условия выбираются приблизительно на одном уровне. В промышленных производствах можно выделить несколько групп помещений, условия в которых назначаются приблизительно одинаковыми.

Однако, кроме санитарно-гигиенических и технологических требований, определяющих диапазон внутренних условий, который обычно должен быть выдержан в течение отопительного сезона, во всех случаях важной является степень обеспеченности поддержания заданных внутренних условий. Обеспеченность определяет, как часто или насколько продолжительными могут быть отклонения внутренних условий от заданных расчетных.

Такие здания, как больницы, родильные дома, детские ясли, а также некоторые цехи с строгими технологическими режимами требуют высокой степени обеспеченности расчетных условий. Заданные параметры в них должны выдерживаться при любых погодных условиях, какие только могут быть в районе строительства. В зданиях общего назначения (жилые дома, общежития, залы музеев, книгохранилища и т. д.) возможны разовые кратковременные отклонения от расчетных условий. В зданиях, периодически функционирующих, с кратковременным пребыванием людей (торговые и выставочные залы, залы ожидания для пассажиров и др.) степень обеспеченности расчетных внутренних условий может быть еще более низкой.

Таким образом, для помещений различного назначения должны быть заданы не только расчетные внутренние условия, но и показатели степени их обеспеченности.

Для того чтобы выполнить определенные требования обеспеченности заданных внутренних условий, необходимо правильно выбрать теплозащитные свойства ограждений, тепловую мощность системы отопления и др. Такой выбор должен быть основан на расчете, в котором определяющими результат являются расчетные наружные условия. Таким образом, требование обеспеченности заданных внутренних условий нужно учитывать при выборе параметров наружного климата.

Наиболее холодные периоды каждой зимы принимают за «случай» при выборе расчетных зимних наружных параметров, отвечающих определенной степени обеспеченности их появления. В качестве показателя обеспеченности заданных внутренних условий принимают показатель обеспеченности расчетных параметров наружного климата. Обеспечен-

ность условий характеризуется коэффициентом обеспеченности $K_{об}$. Величина коэффициента обеспеченности по числу n случаев $K_{об n}$ показывает в долях единицы или процентах число случаев, когда недопустимо отклонение от расчетных условий. Например, если $K_{об n} = 0,7$, это означает, что только в течение трех зим из десяти (или 15 зим из 50) в периоды наибольших зимних похолоданий могут быть отклонения условий в помещении от расчетных.

Принятые к рассмотрению случаи связаны с определенной продолжительностью во времени, так как они характеризуются параметрами срочных наблюдений, осредненными за сутки или за период другой продолжительности. Поэтому коэффициент обеспеченности характеризует и продолжительность возможных отклонений. Сопоставление наружных расчетных условий, определенных при некотором значении $K_{об}$, с параметрами климата наиболее сурового периода позволяет установить величину и продолжительность наибольшего разового отклонения условий от расчетных.

Обработав результаты метеорологических наблюдений с учетом заданного коэффициента обеспеченности, можно получить все данные о возможных, вызываемых внешними воздействиями отклонениях условий в помещении от расчетных (число отклонений, их общую продолжительность, продолжительность и величину наиболее невыгодного разового отклонения).

В табл. II.1 даются рекомендуемые значения коэффициента обеспеченности $K_{об n}$ для зданий и помещений с различными эксплуатационными режимами.

Таблица II.1

Коэффициент обеспеченности расчетных условий для холодного периода года

Характеристика основных помещений (уровень требований)	Коэффициент обеспеченности $K_{об n}$
Повышенные санитарно-гигиенические или технологические требования (повышенные П)	~1
Круглосуточное пребывание людей или постоянный технологический режим (высокие В)	0,9
Ограниченное во времени пребывание людей (средние С)	0,7
Кратковременное пребывание людей (низкие Н)	0,5

Влияние наружного климата на тепловой режим ограждений и помещений является комплексным. Оно определяется совместным действием нескольких метеорологических параметров, которые раздельно наблюдаются метеорологами. При расчете передачи тепла через ограждения их действие необходимо учитывать совместно. Для зимы определяющими параметрами климата являются температура наружного воздуха t_n и скорость ветра v_n . В некоторых расчетах дополнительно должны учитываться относительная влажность φ_n и энтальпия I_n наружного воздуха, а также солнечная радиация, направление ветра, осадки и пр.

Некоторые из этих параметров связаны между собой, и изменение одного из них сопровождается определенным изменением другого. Например, похолодание для большинства континентальных районов связано обычно с понижением скорости ветра.

Для зимнего периода задача определения расчетных наружных условий в основном сводится к установлению расчетного сочетания зависимых событий t_n и v_n с учетом заданного коэффициента обеспеченности.

§ 11. ХАРАКТЕРИСТИКИ НАРУЖНОГО КЛИМАТА ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА ГОДА

При выборе расчетных наружных характеристик для холодного периода года необходимо исходить из следующих предпосылок.

Расчетные параметры климата должны быть общими для расчета всех составляющих теплового режима (теплозащиты ограждений, потеря тепла и пр.), так как они отражают единый процесс обмена тепла в помещении. Они должны определяться с учетом коэффициента обеспеченности и быть достаточными для расчета нестационарной теплопередачи через ограждения, характерной для расчетных условий.

Таблица II.2

Характеристики климата холодного периода года для Москвы при разных коэффициентах обеспеченности

Коэффициент обеспеченности $K_{обл}$	Расчетные характеристики климата			
	$t_{н.о.}, ^\circ\text{C}$	$A_{t_n}, ^\circ\text{C}$	$\Delta z_{р.п}, \text{суток}$	$v_n, \text{м/с}$
0,98	-26,4	15,8	3	2,6
0,9	-21,5	14,9	3	3
0,7	-17,2	14,6	3	3,4
0,5	-13,9	15,8	3	3,8

Основным показателем холодного периода года является изменение t_n . Как известно, зимы заметно отличаются в разных районах и в отдельные годы. Но в видимой хаотичности есть довольно устойчивая закономерность в постоянном понижении температуры по мере приближения к наиболее холодному периоду. В это время четко обозначается (на фоне устойчивых зимних температур) период резкого похолодания. Для ряда климатических пунктов с учетом различных коэффициентов обеспеченности построены расчетные кривые изменения температуры наружного воздуха в период резкого похолодания. Эти кривые для разных районов имеют характерную и близкую по очертанию форму (рис. II.1): сравнительно медленное равномерное понижение температуры до начала периода резкого похолодания, затем резкое понижение температуры с последующим повышением. При медленном понижении температуры, как это наблюдается на начальном участке кривой, распределение температуры в сечении ограждения в каждый момент времени практически соответствует стационарному. При быстром похолодании процесс теплопередачи через ограждение становится нестационарным и для его расчета нужно иметь полную характеристику изменения температуры. В период резкого похолодания расчетные кривые для разных географических пунктов и при разных коэффициентах обеспеченности могут быть определены тремя параметрами: температурой начала периода резкого похолодания $t_{н.о.}$, амплитудой A_{t_n} изменения температуры в этот период от $t_{н.о.}$ до минимальной температуры $t_{н.мин.}$: $A_{t_n} = t_{н.о.} - t_{н.мин.}$ и продолжительностью периода резкого похолодания $\Delta z_{р.п}$ (время понижения температуры от $t_{н.о.}$ до $t_{н.мин.}$). Эти показатели, как пример для Москвы, при разных $K_{обл}$ приведены в табл. II.2.

Данные для Москвы характерны тем, что $\Delta z_{р.п}$ и A_{t_n} практически не зависят от коэффициента обеспеченности и могут быть приняты постоянными $\Delta z_{р.п} = 3$ суток, $A_{t_n} = 15^\circ\text{C}$.

Для получения расчетных скоростей ветра необходимо иметь наиболее невыгодные сочетания t_n и v_n , так как эта зависимость определяет

наибольшие скорости, которые наблюдались при различных температурах. Зависимость $v_n = f(t_n)$ для Москвы на высоте h от поверхности земли имеет вид:

$$v_n = 8 + 0,143 t_n + 0,03 (h - 2). \quad (II.4)$$

В пределах города, как показывают измерения, скорость ветра, начиная с 2 м от поверхности земли, возрастает с высотой практически по линейному закону. В частности, для Москвы на каждый метр высоты скорость увеличивается в среднем на 0,03 м/с. Значения v_n для Москвы

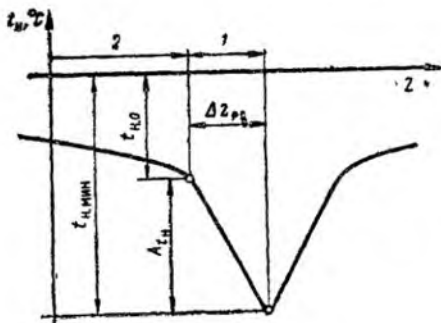


Рис II.1. Расчетная кривая изменения температуры наружного воздуха в период резкого похолодания

1 — период резкого похолодания, 2 — период устойчивых зимних температур

на высоте 2 м от поверхности земли, определенные для средней температуры периода резкого похолодания и разных коэффициентов обеспеченности, приведены в табл. II.2. Эти значения скоростей являются расчетными.

В СНиП приняты два значения расчетной наружной температуры для каждого географического пункта: средняя температура наиболее холодных суток $t_{н1}$ и средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_{н5}$. Эти температуры определены по восьми суровым зимам за последние пятьдесят лет, т. е. в нормативной методике с учетом принятого ряда метеорологических данных заложен коэффициент обеспеченности 0,92. Выбор расчетной температуры для теплотехнического расчета ограждений по нормам зависит от степени тепловой массивности ограждения. В качестве показателя тепловой массивности ограждения принята величина D , рассчитанная для колебаний с периодом $T = 24$ ч (см. § 14). Расчетная наружная температура принимается в зависимости от D :

D	< 4	4—7	> 7
t_n	$t_{н1}$	$\frac{t_{н1} + t_{н5}}{2}$	$t_{н5}$

Теплопотери помещений для определения тепловой мощности системы отопления рассчитывают независимо от массивности ограждений при $t_{н5}$.

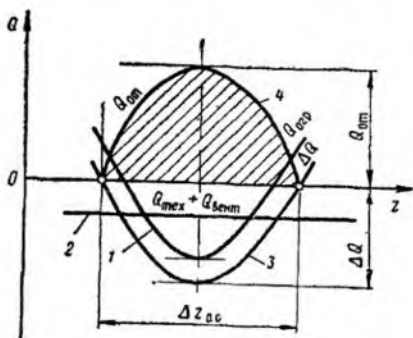
Расчетная скорость ветра по СНиП принимается равной максимальной скорости из средних скоростей ветра по румбам (по разным направлениям) за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, с корректировкой на высоту здания.

Отопление в течение всего холодного периода года должно обеспечивать расчетные внутренние условия. Продолжительность отопительного сезона зависит от географического месторасположения и от соотношения

составляющих теплового баланса здания. Начало и конец работы системы отопления связаны с дефицитом (недостатком) тепла в тепловом балансе помещений. Годовые затраты тепла на отопление зависят от продолжительности $\Delta z_{o.c.}$ и средней температуры $t_{o.c.}$ отопительного сезона, т. е. определяются градусо-днями периода, когда наружная температура устойчиво становится ниже температуры начала и конца отопительного сезона. На рис. II.2 приведена схема определения параметров отопительного сезона.

Рис. II.2. Схема определения параметров отопительного сезона

1 — теплопотери через ограждения. 2 — технологические и вентиляционные тепlopоступления; 3 — дефицит тепла; 4 — затраты тепла на отопление



Продолжительность стояния дней с определенной температурой неодинакова (см. рис. I.1). Особенно устойчивыми оказываются погодные условия, когда наружная температура поднимается к нулю. Дней с низкой температурой, близкой к расчетной, сравнительно мало.

На тепловой баланс помещений, а следовательно на режим работы системы отопления, существенное влияние оказывает солнечная радиация, что необходимо учитывать при выборе схем и режима регулирования отопления. Особенно важно учитывать влияние солнечной радиации в весенний период в средних и южных районах страны, а также при режиме пофасадного регулирования систем.

Наружный воздух в результате инфильтрации через проемы и неплотности ограждений попадает в здание, поэтому изменение его энтальпии и влажности следует принимать во внимание при проектировании систем обеспечения заданного теплового режима здания.

В то же время для многих зданий, особенно жилых и общественных, составляющие теплового баланса оказываются близкими, поэтому в нормах начало отопительного сезона для всех зданий принято одинаковым, соответствующим $+8^{\circ}\text{C}$. Значения $t_{o.c.}$ и $\Delta z_{o.c.}$ для разных географических пунктов приведены в таблицах расчетных характеристик наружного климата СНиП.

§ 12. ТЕПЛООБМЕН НА НАГРЕТОЙ И ОХЛАЖДЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЯХ В ПОМЕЩЕНИИ И НА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЯ

1. ТЕПЛООБМЕН НА ПОВЕРХНОСТЯХ В ПОМЕЩЕНИИ

Отопительные устройства обычно имеют нагретую поверхность, от которой тепло передается помещению (исключение составляют воздушные системы отопления, в которых тепло подается в помещение с нагретой

тым воздухом). Поверхность наружных ограждений охлаждена, и через нее помещение теряет тепло. Поэтому важной составляющей, формирующей тепловой режим помещения, является теплообмен на нагретой и охлажденной поверхностях.

Количество тепла, которое воспринимает или отдает поверхность в результате сложного лучисто-конвективного теплообмена в помещении, равно количеству тепла, которое передается к поверхности или отводится от нее теплопроводностью через толщу материала конструкции. Баланс тепла на поверхности соблюдается в стационарных и в нестационарных условиях

Уравнение теплового баланса, например, поверхности 1, обращенной в помещение и имеющей температуру τ_1 , записывают в виде:

$$\alpha_{л1}(\tau_1 - t_R) + \alpha_{к1}(\tau_1 - t_B) + k'_1(\tau_1 - t_{ср1}) = 0, \quad (II.5)$$

где $\alpha_{л1}$ — коэффициент лучистого теплообмена, равный:

$$\alpha_{л1} = C_0 \varepsilon_{пр,1-R} \varphi_{1-R} b_{1-R}; \quad (II.6)$$

C_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела;

$\varepsilon_{пр,1-R}$ — приведенный для теплообменивающих поверхностей коэффициент относительного излучения;

φ_{1-R} — коэффициент облученности со стороны поверхности 1 в сторону остальных поверхностей, имеющих температуру t_R ;

b_{1-R} — температурный коэффициент;

t_R — радиационная температура помещения, определенная относительно поверхности 1;

$$t_R = \Sigma \varphi_{1-i} \tau_i; \quad (II.7)$$

φ_{1-i} — коэффициент облученности с поверхности 1 на поверхность i , имеющую температуру τ_i ;

$\alpha_{к1}$ — коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м²·К)·[ккал/(ч·м²·°С)], равный:

$$\alpha_{к1} = \beta_k \sqrt[3]{(\tau_1 - t_B) + 60 \frac{v_B^2}{l}} \pm \frac{1}{2} jc; \quad (II.8)$$

β_k — численный коэффициент, равный в условиях помещения для вертикальных поверхностей 1,66 (1,43); для горизонтальных поверхностей: при потоке тепла сверху вниз — 1,16 (1,0), при потоке тепла снизу вверх — 2,16 (1,86);

v_B — общая подвижность воздуха в помещении;

l — характерный размер поверхности;

jc — теплоемкость потока воздуха, фильтрующегося через поверхность с интенсивностью j ;

c — массовая теплоемкость воздуха;

k'_1 — коэффициент теплопередачи от поверхности 1 до внешней среды с температурой $t_{ср1}$, от которой или к которой идет поток тепла через поверхность.

Для определения плотности потока тепла на поверхности $q_{л+к}$ обычно используют общий коэффициент теплообмена $\alpha_{в1}$ без разделения на лучистую и конвективную составляющие:

$$q_{л+к} = \alpha_{в1}(\tau_1 - t_n). \quad (II.9)$$

Приравняв первых два слагаемых уравнения (II.5) к правой части уравнения (II.9), получим значение $\alpha_{в1}$ в виде:

$$\alpha_{в1} = \alpha_{л1} \frac{\tau_1 - t_R}{\tau_1 - t_{п}} + \alpha_{к1} \frac{\tau_1 - t_{в}}{\tau_1 - t_{п}} \quad (II.10)$$

Если в помещении $t_{п} = t_{в} = t_R$, то

$$\alpha_{в1} = \alpha_{л1} + \alpha_{к1} \quad (II.11)$$

Зависимость $\alpha_{в}$ по (II.11) от разности температур $\Delta t = \tau_1 - t_{п}$ для плоских поверхностей, различно расположенных в помещении, приведена на рис. II.3.

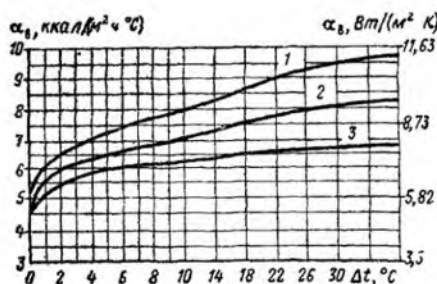


Рис. II.3. Зависимость коэффициента теплообмена $\alpha_{в}$ для плоской нагретой поверхности, различно расположенной в помещении, от разности температур

1 — в плоскости пола; 2 — стен; 3 — потолка

Температура воздуха часто заметно изменяется по высоте помещения. Вдоль пола может стелиться холодный воздух, а под потолком образовываться «тепловая подушка». Интенсивность конвективного теплообмена на поверхностях по высоте помещения будет различной. Лучистый обмен теплом также зависит от расположения рассматриваемой поверхности относительно остальных нагретых и охлажденных поверхностей. Эти особенности следует иметь в виду и для правильного расчета сложного теплообмена использовать полную систему уравнений теплообмена в помещении, подробно рассмотренную в курсе «Строительная теплофизика».

При проектировании отопления помещения прежде всего выбирают обогревающее устройство, которое по характеру передачи тепла помещению может быть:

лучистым — со слабо нагретой сильно развитой плоской поверхностью в виде панели, расположенной в плоскости одного из ограждений;

конвективным — с подачей в помещение подогретого воздуха или подогревом внутреннего воздуха сильно ребренными поверхностями отопительного устройства, расположенного в помещении;

лучисто-конвективным — с отопительными приборами, которые приблизительно в одинаковой мере передают тепло поверхностям в помещении — излучением и внутреннему воздуху — конвекцией.

Наиболее общим является решение отопления помещения с использованием обогревающей поверхности. Недостаток тепла в помещении в этом случае компенсируется теплоотдачей нагретой поверхности отопительного прибора $Q_{п}$. Температурная обстановка в помещении при этом должна удовлетворять двум условиям комфортности. В результате расчета поверхности обогрева помещения состоит в решении системы (II.12), в которую наряду с уравнениями теплового баланса помещения

(II.12 а) и теплообмена на нагретой поверхности (II.12 б) входят неравенства (II.12 в, г), определяющие требования двух условий комфортности:

$$\Sigma Q_i + Q_n = 0; \quad (II.12a)$$

$$Q_n = [\alpha_{л.п} (\tau_n - \tau_{н.о}) + \alpha_{к.п} (\tau_n - \tau_{в})] F_n; \quad (II.12б)$$

$$t_R \cong 1,57 t_n - 0,57 t_v \pm 1,5; \quad (II.12в)$$

$$\tau_n \leq \tau_{наг}^{доп}, \quad \tau_{н.о} \geq \tau_{охл}^{доп}. \quad (II.12г)$$

Искомыми при решении системы являются или площадь нагревательной поверхности F_n при заданной температуре поверхности τ_n и других условиях, или температура поверхности τ_n при заданной площади F_n , или варьируемые положение, форма, радиационные свойства нагревательной поверхности в помещении.

В уравнении теплообмена (II.12 б) составляющая лучистого теплообмена (первое слагаемое) записана относительно разности температуры нагревательной поверхности и осредненной температуры внутренней поверхности теплоотражающих наружных ограждений ($\tau_n - \tau_{н.о}$), поэтому

$$\alpha_{л.п} = C_0 \epsilon_{пр.п-н.о} \Phi_{п-н.о} b_{п-н.о}, \quad (II.13)$$

где индексы «п.—н.о» относятся ко всем величинам, характеризующим условия теплообмена между панелью «п» и наружным ограждением «н.о», а $\Phi_{п-н.о}$ является коэффициентом полной облученности с нагретой поверхности на поверхность наружных ограждений.

При конвективном отоплении недостаток тепла ΣQ_i компенсируется подачей в помещение тепла Q_v с перегретым (относительно t_v) воздухом:

$$Q_v = Lc_p (t_{пр} - t_v). \quad (II.14)$$

В (II.14) неизвестными могут быть температура приточного воздуха $t_{пр}$ или количество воздуха L . В конечном итоге должна быть определена площадь нагревательной поверхности обогревающего устройства в помещении или калориферной установки системы воздушного отопления.

2. ТЕПЛОБМЕН НА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЯ

Теплообмен на наружной поверхности ограждений в основном определяется направлением и скоростью ветра. Поверхность здания, наряду с конвективным теплообменом с наружным воздухом, излучением отдает тепло поверхности земли, окружающим зданиям, небосводу, а также получает тепло в результате непосредственного облучения солнцем.

Температура окружающей здание среды неодинакова; в безоблачные дни температура небосвода может быть на десятки градусов ниже температуры приземного слоя воздуха. Учитывая сложность условий теплообмена и малую долю излучения в общем теплообмене на наружной поверхности, температуру окружающей здание среды обычно принимают равной температуре наружного воздуха.

Тепловой поток от наружной поверхности здания к окружающей среде принимают равным:

$$q_n = \alpha_n (\tau_n - t_n). \quad (II.15)$$

где α_n — коэффициент теплообмена на наружной поверхности, имеющей температуру τ_n .

Величина α_n принимается равной для вертикальных поверхностей

$$\left. \begin{aligned} \alpha_n &= 5,8 + 11,6 \sqrt{v_n} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \\ [\alpha_n &= 5 + 10 \sqrt{v_n} \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С})]; \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.16})$$

для горизонтальных

$$\left. \begin{aligned} \alpha_n &= 8,7 + 2,6 v_n \\ (\alpha_n &= 7,5 + 2,2 v_n), \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.17})$$

где v_n — скорость ветра, м/с.

Непосредственное облучение поверхности солнечными лучами учитывают введением условной наружной температуры $t_{n,\text{усл}}$ (повышением температуры воздуха t_n на величину эквивалентной солнечному облучению добавки Δt_p).

$$t_{n,\text{усл}} = t_n + \Delta t_p = t_n + \frac{\beta_p q}{\alpha_n} \quad (\text{II.18})$$

где β_p — коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью; q — плотность потока солнечной радиации, падающего на поверхность.

Зимой, когда после сильных морозов наступает потепление, на поверхности массивных ограждений здания выпадает иней. Образование инея сопровождается выделением тепла сублимации (перехода воды из парообразного в твердое состояние), которое изменяет теплопередачу через ограждение аналогично действию поглощенного тепла солнечной радиации [см. формулу (II.18)].

Подобным образом с помощью понятия «условная температура» и «эквивалентная температурная добавка» можно учесть изменение теплообмена при конденсации водяных паров или, наоборот, при испарении влаги с поверхности ограждения.

§ 13. СТАЦИОНАРНАЯ ПЕРЕДАЧА ТЕПЛА ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ

Переход тепла из помещения к наружной среде через ограждение является сложным процессом теплопередачи.

Внутренняя поверхность наружного ограждения обменивается теплом с помещением (см. п. 1 § 12). Сопротивление теплообмену на внутренней поверхности равно $R_{вн} = 1/\alpha_{вн}$.

Наружная поверхность отдает тепло наружному воздуху, окружающим поверхностям и небосводу (см. п. 2 § 12). Сопротивление теплообмену на наружной поверхности ограждения равно $R_{нв} = 1/\alpha_{нв}$.

В условиях установившегося температурного состояния, т. е. когда температуры и другие параметры процесса остаются неизменными во времени, тепло транзитом проходит из помещения через внутреннюю поверхность и толщу ограждения к его наружной поверхности и отдается наружной среде. При этом из условия сохранения энергии количество тепла, прошедшее через внутреннюю поверхность ограждения, равно количеству тепла, проходящему через толщу ограждения, и количеству тепла, отданному наружной поверхностью (рис. II.4, а).

Тепло последовательно преодолевает сопротивление теплообмену на внутренней поверхности $R_{в}$, теплопроводности материала ограждения $R_{т}$ и теплообмену на наружной поверхности $R_{н}$, поэтому общее сопротивление теплопередаче ограждения R_0 равно сумме этих сопротивлений:

$$R_0 = R_{в} + R_{т} + R_{н}. \quad (II.19)$$

Если многослойное ограждение состоит из нескольких плоских слоев материала, расположенных перпендикулярно направлению теплового потока, то сопротивление теплопроводности толщи ограждения равно

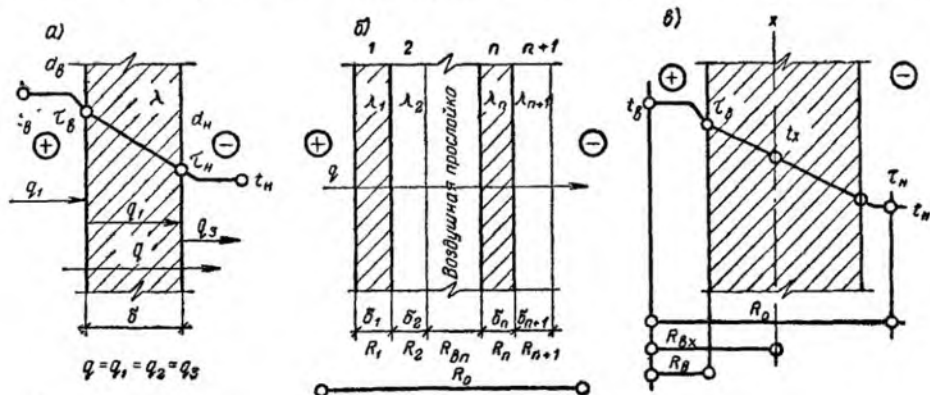


Рис. II.4. Стационарная теплопередача через ограждение

а — однослойное; б — многослойное; в — определение температуры в произвольном сечении ограждения

сумме сопротивлений теплопроводности отдельных слоев ограждения $R_{т} = \Sigma R$.

Плоская воздушная прослойка, расположенная в ограждении перпендикулярно направлению теплового потока, также должна быть учтена в этой сумме как дополнительное последовательно включенное сопротивление $R_{вп}$.

Таким образом, в общем случае сложной многослойной конструкции с воздушной прослойкой (рис. II.4, б) сопротивление теплопередаче ограждения равно:

$$R_0 = R_{в} + \Sigma R + R_{в.п} + R_{н}. \quad (II.20)$$

Коэффициент теплопередачи ограждения k — величина, обратная его сопротивлению теплопередаче — в общем случае равен:

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{1/\alpha_{в} + \Sigma \delta/\lambda + R_{в.п} + 1/\alpha_{н}}, \quad (II.21)$$

где δ и λ — толщина и коэффициент теплопроводности отдельных материальных слоев в ограждении.

Сложнее рассчитать передачу тепла через ограждение, материал которого неоднороден в направлении, параллельном тепловому потоку. В этом случае нарушается одномерность температурного поля и для точного расчета необходимо решение сложного двухмерного температурного поля.

Если ограждение разбить на отдельные площади, в пределах которых конструкция однородна в направлении теплового потока, и условно считать, что в пределах каждой такой площади сохраняется однородность температурного поля, то можно сопротивление теплопроводности толщи ограждения определить формулой

$$R_{\Sigma} = \frac{\Sigma F_n}{\Sigma F_n/R_n}, \quad (II.22)$$

где F_n — отдельные площади ограждения, в пределах которых конструкция однородна в направлении теплового потока;

R_n — сопротивление теплопроводности толщи ограждения в пределах этой площади.

Когда конструкция ограждения состоит из неоднородных материалов как в параллельном, так и в перпендикулярном тепловому потоку направлениях, а толщина слоев и стороны отдельных площадей одного порядка, пользуются условным нормативным расчетным методом (см. пример II.1).

Для решения многих инженерных задач нужно не только определять количество тепла, проходящего через ограждение, но и устанавливать распределение температуры на поверхностях и в его толще.

Из рассмотрения уравнений теплопередачи, а также в связи с электротепловой аналогией установлено, что падение температуры на каждом термическом сопротивлении, если оно расположено в ряду последовательно соединенных сопротивлений, пропорционально его величине. Поэтому, например, перепад температуры между воздухом помещения и внутренней поверхностью ограждения равен:

$$\frac{t_{в} - \tau_{в}}{R_{в}} = \frac{t_{в} - t_{н}}{R_{о}}. \quad (II.23)$$

Температура на внутренней поверхности ограждения равна:

$$\tau_{в} = t_{в} - \frac{R_{в}}{R_{о}} (t_{в} - t_{н}). \quad (II.24)$$

Рассуждая аналогичным образом, получаем, что температура в любом произвольно принятом сечении x (рис. II.4, в) может быть определена по формуле

$$t_x = t_{в} - \frac{R_{в-x}}{R_{о}} (t_{в} - t_{н}), \quad (II.25)$$

где $R_{в-x}$ — сопротивление теплопередаче от внутреннего воздуха до сечения x .

Пример II.1. Требуется произвести теплотехнический расчет наружной стены, изображенной на рис. II.5, и установить значения ее сопротивления теплопередаче $R_{о}$, коэффициента теплопередачи k , а также величины теплового потока q , температуры на внутренней $\tau_{в}$ и наружной $\tau_{н}$ поверхностях ограждения при $t_{н} = -26^{\circ}\text{C}$ и $t_{в} = 18^{\circ}\text{C}$. По табл. 1 и 2 (СНиП II-A.7-71) определяем коэффициенты теплопроводности материалов стены.

Кладка из обыкновенного глиняного обожженного кирпича на легком растворе ($\rho_{кл} = 1700 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_{кл} = 0,755 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ [$0,65 \text{ ккал/(ч}\cdot\text{м}\cdot^{\circ}\text{C)}$]).

Засыпка доменным гранулированным шлаком $\rho_{шл} = 500 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_{шл} = 0,163 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ (0,14).

Известковая штукатурка: на наружной поверхности $\rho_{шт} = 1600$; $\lambda_{шт} = 0,87$ (0,75), на внутренней поверхности $\rho_{шт} = 1600$, $\lambda_{шт} = 0,7$ (0,6).

Коэффициенты теплоперехода (см. табл. 4 и 5 СНиП II-A.7-71) $\alpha_n = 8,7$ Вт/(м²·К) [7,5 ккал/(ч·м²·°С)], $\alpha_n = 23,3$ (20).

Ограждение неоднородно по материалу в направлениях, параллельном и перпендикулярном тепловому потоку, поэтому расчет производим в такой последовательности.

I. Определяем термическое сопротивление ограждения от его внутренней до наружной поверхности R_T . Для этого разбиваем ограждение на характерные зоны в направлениях, параллельном и перпендикулярном тепловому потоку. Зоны, параллельные потоку, обозначены на рис. II.5 римскими цифрами I и II, зоны (слои), перпендикулярные потоку, обозначены арабскими цифрами 1, 2, 3. В пределах каждой зоны и слоя имеется однородность материала в направлении, перпендикулярном тепловому потоку.

а) Определяем $R_{T\perp}$ м²·К/Вт(м²·°С·ч/ккал), которое равно сумме сопротивлений слоев I, 2 и 3:

$$R_{T\perp} = R_1 + R_2 + R_3 = 0,176 + 0,775 + 0,181 = 1,132(1,32);$$

$$R_1 = \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} = \frac{0,015}{0,87} + \frac{0,12}{0,755} = 0,176(0,205).$$

Здесь $\delta_{шт}$, $\delta_{кл}$ и $\lambda_{шт}$, $\lambda_{кл}$ — толщины наружной штукатурки и части кладки в пределах слоя I и их коэффициенты теплопроводности. В пределах слоев 2 и 3

$$R_2 = (F_I + F_{II}) \frac{1}{\frac{F_I}{R_{I,1}} + \frac{F_{II}}{R_{II,1}}} =$$

$$= (0,31 + 0,14) \frac{1}{\frac{0,31}{1,66} + \frac{0,14}{0,358}} = 0,775(0,905);$$

$$R_{I,1} = \frac{\delta_{шл}}{\lambda_{шл}} = \frac{0,27}{0,163} = 1,66(1,93);$$

$$R_{II,2} = \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} = \frac{0,27}{0,755} = 0,358(0,416);$$

$$R_3 = \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} = \frac{0,12}{0,755} + \frac{0,015}{0,7} = 0,181(0,21).$$

б) Определяем $R_{T\parallel}$, которое равно сумме проводимостей зон I и II:

$$R_{T\parallel} = (F_I + F_{II}) \frac{1}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}}} = (0,31 + 0,14) \frac{1}{\frac{0,31}{2,02} + \frac{0,14}{0,715}} = 1,28(1,49).$$

$$R_I = \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{\delta_{шл}}{\lambda_{шл}} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} =$$

$$= \frac{0,015}{0,87} + \frac{0,12}{0,755} + \frac{0,27}{0,163} + \frac{0,12}{0,755} + \frac{0,015}{0,7} = 2,02(2,345);$$

$$R_{II} = \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} = \frac{0,015}{0,87} + \frac{0,51}{0,755} + \frac{0,015}{0,7} = 0,715(0,83).$$

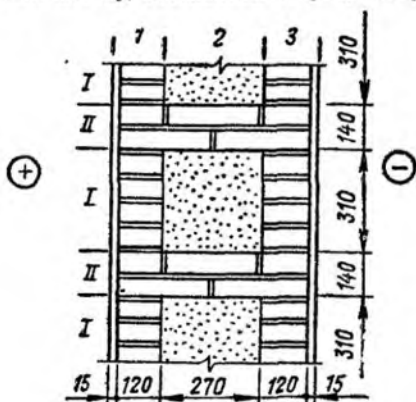


Рис. II.5. Конструкция неоднородного наружного ограждения

Выше приняты соответствующие обозначения в пределах зон I и II.
в) Величина R_T в нормативном методе определяется по формуле

$$R_T = \frac{2R_{T\parallel} + R_{T\perp}}{3} = \frac{2 \cdot 1,28 + 1,132}{3} = 1,23 \text{ (1,43)},$$

2) Сопротивление теплопередаче ограждения с учетом теплообмена на его внутренней и наружной поверхностях равно:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R_T + \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{8,7} + 1,23 + \frac{1}{23,3} = 1,39 \text{ (1,613) м}^2 \cdot \text{К/Вт (м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{ч/ккал)}.$$

II. Коэффициент теплопередачи ограждения равен:

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{1,39} = 0,72 \text{ (0,62) Вт/(м}^2 \cdot \text{К) [ккал/ч} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{°С]}.$$

III. Тепловой поток через ограждение равен:

$$q = k(t_B - t_H) = 0,72 [18 - (-26)] = 31,7 \text{ (27,3) Вт/м}^2 \text{ [ккал/(ч} \cdot \text{м}^2)]}.$$

IV. Средние температуры на поверхностях ограждения равны:

$$t_B = t_B - (t_B - t_H) \frac{R_B}{R_0} = 18 - [18 - (-26)] \frac{0,114}{1,39} = 14,4^\circ \text{C};$$

$$t_H = t_B - (t_B - t_H) \frac{R_{B-x}}{R_0} = 18 - [18 - (-26)] \frac{1,344}{1,39} = -24,7^\circ \text{C};$$

$$R_{B-x} = R_B + R_T = 0,114 + 1,23 = 1,344 \text{ (1,56)}.$$

§ 14. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГРАЖДЕНИЙ

Приведенные в § 13 формулы определяют передачу тепла через ограждения в стационарных условиях, т. е. в условиях, когда очень длительное время (теоретически бесконечно долго) наружная и внутренняя температуры оставались неизменными и система отопления передавала в помещение столько тепла, сколько оно теряло через наружные поверхности ограждений.

Однако такого положения практически никогда не бывает. Температура наружного воздуха непрерывно изменяется, претерпевая сезонные, суточные и другие по продолжительности колебания во времени. Теплоотдача от приборов системы отопления также постоянно изменяется. В связи с этим изменяется температура воздуха, поверхностей толщи ограждений, т. е. имеет место сложный нестационарный тепловой режим.

Взаимосвязь между изменениями температуры и тепловых потоков оказывается сложной еще и потому, что ограждения по-разному реагируют на колебания температуры на их поверхности. У одних ограждений температура толщи изменяется быстро вслед за изменениями температуры наружного или внутреннего воздуха, у других — медленно. Поэтому, например, понижения температуры наружного воздуха через одни ограждения передаются быстрее к их внутренней поверхности, чем через другие. Эти особенности ограждения связаны с их теплоустойчивостью.

Наиболее удобно свойство теплоустойчивости ограждений проследить, изучая их температурный режим при установившихся периоди-

ческих тепловых воздействиях. Действительные периодические колебания температуры или тепловых потоков на границе ограждения часто можно без особой погрешности заменить правильными гармоническими колебаниями или суммой ряда гармоник. Поэтому закономерности правильных периодических воздействий на ограждение имеют прямое практическое приложение.

Теплоустойчивость — свойство ограждения сохранять относительное постоянство температуры при изменениях тепловых воздействий на его поверхностях. Это свойство интересует нас в двух проявлениях:

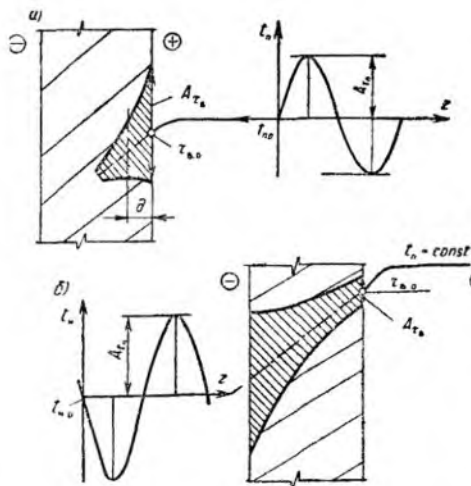


Рис 11.6 Теплоустойчивость ограждений

a — относительно колебаний температуры и тепловых потоков в помещении, *b* — относительно сквозного проникания колебаний наружной температуры

относительно колебаний температуры и тепловых потоков в помещении (рис. 11.6, *a*);

относительно сквозного проникания колебаний наружной температуры через всю толщу ограждения (рис. 11.6 *b*).

1. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГРАЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ПОМЕЩЕНИИ

Если теплоотдача отопительного прибора или другого источника тепла в помещении будет периодически изменяться (при постоянстве всех остальных составляющих теплового баланса), то в помещении будет наблюдаться периодическое изменение температуры воздуха и поверхностей ограждений. Между колебаниями теплового потока и температуры на поверхности ограждения существует зависимость, которая определяется коэффициентом теплоусвоения поверхности ограждения Y . Величина Y равна отношению амплитуд колебаний теплового потока A_q и температуры A_T на поверхности

$$Y = \frac{A_q}{A_T} \quad (11.26)$$

Если слой резких колебаний δ (рис. 11.6) заканчивается в пределах первого от поверхности материального слоя ($D_1 > 1$), то Y равняется коэффициенту теплоусвоения материала этого слоя s_1 :

$$Y = s_1 = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_1 c\rho_1}{T}} \quad (\text{II.27})$$

В случае если резкими колебаниями захвачен больше чем один слой от поверхности, то

$$Y = \frac{R_1 s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} \quad (\text{II.28})$$

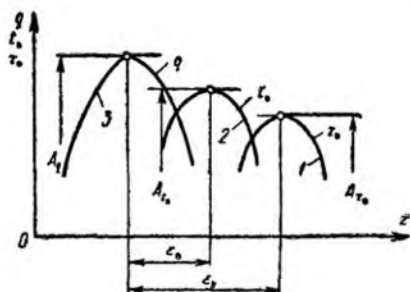


Рис. II.7. Колебания температуры внутренней поверхности ограждения 1 и воздуха 2 под влиянием колебания теплового потока 3

где R_1 , s_1 , λ_1 , $c\rho_1$ — сопротивление теплопроводности, коэффициент теплоусвоения, коэффициент теплопроводности и объемная теплоемкость материала первого слоя;

Y_2 — коэффициент теплоусвоения ограждения, начиная от поверхности второго материального слоя.

Колебания температуры поверхности отстают во времени от колебаний теплового потока на величину ϵ_y (рис. II.7). Это отставание (сдвиг по фазе) для толстого однородного ограждения [формула (II.27)] равно:

$$\epsilon_y = \frac{T}{8} \quad (\text{II.29})$$

Изменения теплового потока также связаны с колебаниями температуры воздуха в помещении. Соотношение между изменениями теплового потока, проходящего через поверхность, и температуры воздуха, омывающего эту поверхность, определяется коэффициентом теплопоглощения B :

$$B = \frac{A_q}{A_{t_B}} \approx \frac{1}{\frac{1}{Y} + \frac{1}{\alpha_B}} \quad (\text{II.30})$$

Уравнение (II.30) можно переписать в виде:

$$\frac{1}{B} \approx \frac{1}{Y} + \frac{1}{\alpha_B} \quad (\text{II.31})$$

из которого следует, что сопротивление теплопоглощению $1/B$ равно сумме сопротивления теплоусвоению $1/Y$ и сопротивления теплообмену на поверхности $1/\alpha_B$.

Изменение температуры воздуха опережает во времени изменение температуры поверхности, но отстает от изменения теплового потока на величину ϵ_B (рис. II.7). Это отставание на $(0,01-0,06) T$ меньше ϵ_y .

2. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГРАЖДЕНИЯ СКВОЗНОМУ ПРОНИКАНИЮ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Колебания температуры наружного воздуха вызывают изменения температуры и тепловых потоков в толще и на внутренней поверхности наружного ограждения. По мере удаления от наружной поверхности колебания температуры в толще ограждения уменьшаются по величине и запаздывают во времени (по фазе). Колебания температуры внутренней поверхности непосредственно влияют на теплопотери и радиационную температуру помещения, поэтому ее изменение представляет особый интерес.

Свойство теплоустойчивости сквозному прониканию температурных колебаний характеризуют двумя показателями: затухания ϕ и запаздывания ε .

Показатель сквозного затухания амплитуды колебания температуры ϕ определяет, во сколько раз амплитуда изменения температуры на внутренней поверхности ограждения A_{τ_n} меньше амплитуды колебания наружной температуры A_{t_n} . Приближенная формула для расчета ϕ имеет вид:

$$\phi = \frac{A_{t_n}}{A_{\tau_n}} \approx 2^D \left(0,83 + 3 \frac{\sum R_l}{D} \right) \beta_{\text{сл}} \beta_{\text{в.п.}} \quad (\text{II.32})$$

Величина ϕ зависит от следующих факторов:

- 1) характеристики тепловой инерции ограждения D :

$$D = \sum R_l s_l, \quad (\text{II.33})$$

где R_l и s_l — сопротивление теплопроводности и коэффициент теплоусвоения материальных слоев ограждения;

- 2) сопротивления теплопередаче толщи ограждения $\sum R_l$;

3) последовательности расположения основных (конструктивного и теплоизоляционного) слоев, которая учитывается поправочным коэффициентом $\beta_{\text{сл}}$:

$$\beta_{\text{сл}} = 0,85 + 0,15 \frac{s_2}{s_1}, \quad (\text{II.34})$$

где индексы 1 и 2 у коэффициентов теплоусвоения s определяют последовательность расположения основных слоев в ограждении по ходу температурной волны;

4) наличия в конструкции ограждения воздушной прослойки, которая учитывается поправочным коэффициентом $\beta_{\text{в.п.}}$:

$$\beta_{\text{в.п.}} = 1 + 0,5 R_{\text{в.п.}} \frac{D}{\sum R_l}, \quad (\text{II.35})$$

где $R_{\text{в.п.}}$ — сопротивление теплопередаче воздушной прослойки.

Показатель запаздывания во времени сквозного проникания температурных колебаний ε в основном зависит только от величины D ограждения и равен:

$$\varepsilon \approx (0,113 D - 0,017) T, \quad (\text{II.36})$$

Формулой (II.32) следует пользоваться только при значениях $D \geq 1,5 \div 2$, при меньших значениях D величина ϕ практически равна своему минимально возможному значению:

$$\vartheta \approx \vartheta_{\text{мин}} = \frac{R_o}{R_b}. \quad (\text{II.37})$$

В произвольный момент времени z (начало отсчета соответствует моменту максимума наружной температуры) температура внутренней поверхности наружного ограждения τ_b может быть определена уравнением

$$\tau_b = \tau_{b.o} + \frac{A t_n}{\vartheta} \cos \frac{2\pi}{T} (z - \varepsilon), \quad (\text{II.38})$$

где $\tau_{b.o}$ — средняя за период T температура внутренней поверхности, равная:

$$\tau_{b.o} = t_n - \frac{R_b}{R_o} (t_n - t_{n.o}); \quad (\text{II.39})$$

Здесь t_n , $t_{n.o}$ — неизменная во времени температура помещения и средняя за период температура наружного воздуха.

Значения $\cos \pi x$ равны:

x	0	$1/8$	$1/4$	$3/8$	$1/2$	$5/8$	$3/4$	$7/8$	1,0
$\cos \pi x$	1	0,785	0,71	0,384	0	-0,384	-0,71	-0,785	-1

Если на ограждение одновременно действуют изменения температуры наружного воздуха и теплопоступлений в помещение, то можно воспользоваться принципом суперпозиции (сложения независимых тепловых воздействий) и получить результирующее изменение температуры внутренней поверхности ограждения сложением частных изменений под влиянием отдельно каждого воздействия.

§ 15. ВЛИЯНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЯ И ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЯ

Строительные материалы являются капиллярно-пористыми телами и обладают определенной проницаемостью, поэтому через ограждения происходят фильтрация воздуха и передача влаги. Процессы массообмена влияют на теплопередачу. Помещения в здании не должны быть полностью герметизированы. Ограждения должны быть в меру воздухопроницаемыми и обладать сорбирующими свойствами. Через них проходит небольшое количество воздуха, влаги, но это не должно вызывать переохлаждение или переувлажнение конструкций.

1. ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ

В современных многоэтажных зданиях из крупноразмерных элементов воздухопроницаемость существенно влияет на тепловой режим помещений и потери тепла через отдельные ограждения. Влияние воздухопроницаемости на теплопередачу для разных элементов ограждений оказывается различным. Для окон, которые имеют наибольшую воздухопроницаемость, инфильтрация наружного воздуха вызывает увеличение расхода тепла, а для массива и стыков — в основном понижение температуры внутренней поверхности ограждений.

При фильтрации воздуха в результате переноса тепла потоком воз-

духа изменяются температурное поле и теплообмен на поверхностях ограждения.

Температура на внутренней поверхности пористого ограждения при инфильтрации воздуха равна:

$$\tau_{в} = t_{н} + (t_{в} - t_{н}) \frac{e^{c_{в} j (R_{о} - R_{в})} - 1}{e^{c_{в} j R_{о}} - 1} \quad (II.40)$$

При эксфильтрации расход воздуха j в формуле (II.40) берется со знаком минус.

Наружный воздух, проходя через ограждение навстречу кондуктивному потоку теряемого помещением тепла, нагревается и попадает в помещение с температурой более высокой, чем его начальная температура. Происходит своеобразная рекуперация — частичное возвращение в помещение тепла, которое израсходовалось на подогревание наружного воздуха. При малых расходах воздуха, при значениях относительного коэффициента фильтрационного теплообмена $c_{в} j R_{о} < 0,1$ фильтрацию воздуха можно не учитывать, так как теплотери изменятся меньше чем на 5%. При больших расходах воздуха через пористое ограждение, когда $c_{в} j R_{о} > 4$, потерь тепла в результате теплопередачи фактически не будет, так как трансмиссионное тепло почти целиком будет использовано на нагревание наружного воздуха, поступающего в помещение.

2. УЧЕТ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Строительные материалы имеют сложную структуру, их поры и капилляры могут быть заполнены влажным воздухом, водой, льдом. Особенности строения определяют большую изменчивость теплофизических характеристик материалов в конструкциях ограждений в зависимости от их влажностного режима. Влажность материалов зависит от конструкции ограждения, внешних и внутренних условий, времени года.

Влажностное состояние ограждений условно может быть разделено на эксплуатационное, соответствующее основному периоду продолжительной и регулярной эксплуатации, и начальное, соответствующее первым годам после возведения здания. Начальное состояние обусловлено попаданием в конструкцию «строительной влаги»; эксплуатационное наступает после того, как влагосодержание материалов приблизится к некоторому стабильному состоянию, равновесному относительно воздействующих на ограждение внутренней и наружной сред. Влагосодержание материалов периодически изменяется в течение года, возрастая в апреле — мае и уменьшаясь к концу лета. Зимой, в декабре — январе, влагосодержание близко к среднему за год. Теплотехнический расчет ограждений и расчет теплотерь помещений производятся для этого расчетного периода, поэтому выбор теплофизических характеристик материалов должен производиться по среднегодовой влажности материалов в ограждении в период регулярной эксплуатации здания.

Эксплуатационное влажностное состояние материалов в ограждении определяется нормативными категориями А, Б и Б*, для которых приведены значения теплофизических характеристик. Зная влажностную зону района строительства и влажностный режим помещения, находят категорию эксплуатационной влажности и, пользуясь ею, по таблице

норм устанавливают расчетные значения теплофизических характеристик материалов в ограждении.

Если ограждение многослойное, то необходимо предварительно определить среднегодовые значения относительного потенциала влажности каждого материального слоя φ_{θ_i} .

Потенциал влажности слоя θ_i , измеряемый в градусах влажности °В, равен:

$$\theta_i = \theta_v + \bar{H} (\theta_v - \theta_n), \quad (II.41)$$

где \bar{H} — относительное (к общему сопротивлению ограждения) сопротивление влагопередаче от воздуха помещения до середины слоя i ;

θ_v и θ_n — средние за год потенциалы влажности внутреннего воздуха и наружной среды, определяемые по табл. II.3 и II.4.

Таблица II.3

Среднегодовые значения температуры и потенциала влажности помещений различного назначения

Помещения	Влажностный режим	Среднегодовые условия		
		t_v °С	H_v °В	φ_{R_v}
Проектное бюро, чертежные залы, библиотеки и т. п. . . .	Сухой	19	23	0,45
Жилой дом, поликлиника, детский сад, ясли и т. п.	Нормальный	19	24,5	0,5
Душевые, раздевалки при них и т. п.	Влажный	25	До 61	До 0,75
Бани, прачечные и т. п.	Мокрый	30	61	>0,75

Таблица II.4

Потенциал влажности наружной среды сухой, нормальной и влажной зон (по карте главы СНиП II-A.7-71)

Влажностная зона	φ_{θ} зоны	Среднегодовая температура местности, °С												
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+8	+10	
Влажная	2,3	23,7	24,9	26,5	28,55	29,7	31,2	33	34,8	36,7	38,8	121,5	181	
Нормальная	2	21,7	22,8	24,1	25,5	26,8	28,2	29,7	31,2	33	34,8	68,5	120	
Сухая	1,4	17,6	18,4	19,3	20,3	21,2	22,2	23,2	24,3	25,6	26,8	29,5	32,6	

Определив по формуле (II.25) среднюю за год температуру слоя t_i (в формулу необходимо подставить среднегодовые значения t_v и t_n), относительный потенциал влажности слоя φ_{θ_i} найдем по формуле

$$\varphi_{\theta_i} = \frac{\theta_i - 8,1}{\theta_m(t_i) - 8,1} \quad (\text{при } \theta_m(t_i) < 40^\circ \text{ В}) \quad (II.42)$$

или

$$\varphi_{\theta_i} = \frac{\theta_i - 8,1}{0,862 \theta_m(t_i) + 24,7} \quad (\text{при } \theta_m(t_i) > 40^\circ \text{ В}), \quad (II.43)$$

где $\theta_M(t_i)$ принимается по табл. II.5.

Нормативным категориям влажности А, Б, Б* соответствуют следующие значения φ_{θ_i} :

$$A - \varphi_{\theta_i} \leq 1,1; \quad B - \varphi_{\theta_i} = 1,1 \div 1,3; \quad B^* - \varphi_{\theta_i} \geq 1,3.$$

Таблица II.5

Значения максимальных сорбционных потенциалов влажности при различной температуре

$t, ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{м.с.}}^{\text{в}}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{м.с.}}^{\text{в}}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{м.с.}}^{\text{в}}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{м.с.}}^{\text{в}}$
-20	8,7	-4	15,0	+4	18,3	+15	31,7
-15	10,3	-3	15,5	+5	19,2	+20	100
-10	12,5	-2	16,0	+6	19,7	+25	236,5
-9	13,0	-1	16,3	+7	20,5	+30	414
-8	13,5	0	16,7	+8	20,8		
-7	13,8	+1	17,1	+9	21,8		
-6	14,2	+2	17,5	+10	23,0		
-5	14,7	+3	18,0				

§ 16. ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Ограждения здания должны обладать требуемыми теплозащитными свойствами и быть в достаточной степени воздухо- и влагонепроницаемыми.

Теплозащитные свойства наружных ограждений характеризуются двумя показателями: сопротивлением теплопередаче R_0 и теплоустойчивостью, которую оценивают по величине характеристики тепловой инерции ограждения D . Величина R_0 определяет сопротивление ограждения передаче тепла в стационарных условиях, а теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических тепловых воздействий.

В зимних условиях теплозащитные свойства ограждений принято характеризовать в основном величиной R_0 , а в летних — их теплоустойчивостью. Это объясняется тем, что для зимы характерны устойчивые температуры вне здания и постоянные внутренние температуры, которые обеспечивает система отопления. Летом характерны периодические суточные изменения температуры и солнечной радиации, и внутри здания температура обычно не регулируется.

Наиболее важным является определение расчетного сопротивления теплопередаче R_0 основной части (глади) конструкции ограждения, с чего обычно и начинают теплотехнический расчет ограждения. Необходимым является условие, чтобы R_0 было равно или больше минимально допустимого по санитарно-гигиеническим соображениям требуемого сопротивления $R_{0,тр}$ теплопередаче:

$$R_0 \geq R_{0,тр} \quad (\text{II.44})$$

Однако это условие необходимое, но не достаточное, так как при определении R_0 должны учитываться также технико-экономические показатели. Если оказывается, что экономически оптимальное сопротивление $R_{0,опт}$ теплопередаче ограждения больше $R_{0,тр}$

$$R_{0,опт} > R_{0,тр}$$

(II.45)

то расчетное сопротивление должно определяться по условию

$$R_0 \approx R_{0 \text{ опт}}. \quad (\text{II.46})$$

В этом случае сопротивление R_0 будет больше минимально допустимого $R_{0 \text{ тр}}$ и целесообразным в экономическом отношении

После определения R_0 глади ограждения следует проверить теплозащитные свойства элементов конструкции (стыки, углы, включения). Необходимым и достаточным условием этого расчета является отсутствие выпадения конденсата на внутренней поверхности этих элементов конструкции.

Для расчета теплопотерь и тепловых условий в помещении часто требуется, кроме R_0 , рассчитать приведенное сопротивление $R_{0, \text{пр}}$ теплопередаче сложного ограждения.

Для зданий, расположенных в южных районах, дополнительно проверяют теплоустойчивость ограждений в расчетных летних условиях. Недостаточную теплоустойчивость ограждения для зимнего периода года учитывают увеличением его сопротивления теплопередаче при расчете $R_{0 \text{ тр}}$.

Для заполнения оконных и дверных проемов теплозащитные свойства регламентируются только сопротивлением теплопередаче конструкции, которое должно быть не ниже требуемого, установленного СНиП.

Допустимая воздухопроницаемость окон, дверей, стыков конструкций стен и перекрытий здания определяется нормируемыми значениями сопротивления $R_{\text{п тр}}$ воздухопроницанию, расхода воздуха, дополнительных затрат тепла, понижения температуры внутренней поверхности конструкции при инфильтрации.

Влагозащитные свойства ограждения должны исключать переувлажнение материалов атмосферной влагой и вследствие диффузии водяных паров из помещения.

Процессы передачи тепла, фильтрации воздуха и переноса влаги взаимосвязаны, и одно явление оказывает влияние на другое, поэтому определение сопротивлений тепло-, воздухо- и влагопередаче должно проводиться как общий расчет защитных свойств наружных ограждений здания.

1. ТРЕБУЕМОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДЕНИЯ

Санитарно-гигиенические требования ограничивают понижение температуры $t_{\text{в}}$ на внутренней поверхности ограждений значением допустимой температуры $t_{\text{в}}^{\text{доп}}$. Температура $t_{\text{в}}^{\text{доп}}$ должна быть такой, чтобы человек, находясь около ограждения, не испытывал интенсивного радиационного охлаждения (должно удовлетворяться второе условие комфорта). Кроме того, как правило, на ограждениях недопустима конденсация, поэтому температура $t_{\text{в}}$ должна быть выше температуры $t_{\text{т.р}}$ точки росы воздуха в помещении.

Формулу для определения требуемого сопротивления теплопередаче $R_{0, \text{тр}}$ можно вывести, приняв за основу стационарные условия и записав R_0 в виде:

$$R_0 = R_{\text{в}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{т.р}}}. \quad (\text{II.47})$$

Для того чтобы получить формулу для определения $R_{0\text{тр}}$ в (II.47) необходимо подставить регламентированные величины всех входящих в нее характеристик.

В СНиП даны значения температуры $t_{\text{в}}$ помещений различного назначения и расчетные перепады температуры $t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^{\text{доп}} = \Delta t^{\text{н}}$ (табл. II 6).

Таблица II.6

Расчетный перепад температуры $\Delta t^{\text{н}}$, нормируемый тепловой поток $q_{\text{н}}$, Вт/м² [ккал/(ч·м²)], и допустимая температура внутренней поверхности $t_{\text{в}}^{\text{доп}}$ наружного ограждения

Характеристика помещения	Стена (Н. С)			Потолок (Пт)			Пол (Пл)		
	$\Delta t^{\text{н}}$	$q_{\text{н}}$	$t_{\text{в}}^{\text{доп}}$	$\Delta t^{\text{н}}$	$q_{\text{н}}$	$t_{\text{в}}^{\text{доп}}$	$\Delta t^{\text{н}}$	$q_{\text{н}}$	$t_{\text{в}}^{\text{доп}}$
Повышенные санитарно-гигиенические требования, круглосуточное и длительное пребывание людей ($t_{\text{н}} = 20 \div 18^{\circ}\text{C}$).	6	52,5 (45)	14—12	4,0	35 (30)	16—14	2,0	17,5 (15)	18—16
Ограниченное во времени и кратковременное пребывание людей ($t_{\text{н}} = 16^{\circ}\text{C}$).	7	61,5 (53)	9	5,5	47,7 (41)	10,5	2,5	22,1 (19)	13,5

Примечание В жилых зданиях регламентируется тепловой поток для вертикальных ограждений (стены с окнами) $q_{\text{н}} = 70(60)$; для потолка $q_{\text{н}} = 35(30)$ и для перекрытия цокольного этажа $q_{\text{н}} = 17,5(15)$ Вт/м² [ккал/(ч·м²)].

Сопротивление теплообмену на внутренней поверхности ограждения $R_{\text{в}}$ в нормах принято равным 0,114 К·м²/Вт (0,133 °С·м²·ч/ккал). Исключение составляют оребренные и кессонированные поверхности, для которых дана специальная таблица значений $R_{\text{в}}$.

Формула (II.47), как было указано, дана в предположении, что в расчетных условиях температурный режим ограждения является стационарным, поэтому за расчетную должна быть принята условная наружная температура, учитывающая фактическую нестационарность процесса в расчетный период резкого похолодания.

Расчетная наружная температура $t_{\text{н}}$ может быть определена в виде:

$$t_{\text{н}} = t_{\text{н.о}} + \psi A t_{\text{н}} \quad (\text{II.48})$$

где $t_{\text{н.о}}$ и $A t_{\text{н}}$ — температура начала периода резкого похолодания и отклонение температуры в этот период, определяемые с заданным коэффициентом обеспеченности;

ψ — коэффициент теплоинерционности ограждения, определяемый по рис. II.8 в зависимости от коэффициента β_{ψ} :

$$\beta_{\psi} = \frac{0,16}{\Delta z_{\text{р.н}}} \sqrt{\psi \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{о}}} - 1}; \quad (\text{II.49})$$

ψ — показатель затухания, определяемый по формуле (II.32) для периода $T = 24$ ч.