

Министерство образования и науки Российской Федерации

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

А. Ю. Феокистов

ТЕПЛОВОЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ ЗДАНИЙ

учебное пособие для студентов заочной формы
обучения с применением дистанционных технологий

Белгород
2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

А. Ю. Феокистов

ТЕПЛОВОЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ ЗДАНИЙ

*Утверждено ученым советом университета в качестве учебного пособия
для студентов направления бакалавриата 270800 – Строительство заочной
формы обучения с применением дистанционных технологий*

Белгород
2015

УДК 696+697(075)
ББК 38.76 я 7
Ф 42

Ф 42 Феоктистов А.Ю.

Тепловой и воздушный режим зданий: учебно-практическое пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 90 с.

В учебном пособии рассматриваются требования к тепловой защите зданий, основные принципы теплотехнического расчета ограждающих конструкций, годовой потребности в тепловой энергии для отопления зданий, изменения потребности в тепловой энергии для отопления зданий в течении отопительного периода, затрат тепла и холода на кондиционирование воздуха, расчет сезонного регулирования режима работы центральной установки СКВ. В пособии приводятся методические указания по формированию проектной части энергетического паспорта здания по СНиП 23-02-2003 (СП 50.13330.2012) и расчету годового потребления тепла, холода и электрической энергии системами кондиционирования воздуха согласно пособия 9.91 к СНиП 2.04.05-91. В пособии приведены примеры расчетов и задания для выполнения РГЗ.

Учебное пособие разработано в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Тепловой и воздушный режим зданий» и предназначено для студентов заочной формы обучения с применением дистанционных технологий направления бакалавриата 270800 –Строительство.

Учебное пособие публикуется в авторской редакции.

**УДК 696+697 (075)
ББК 38.76 я 7**

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2015

Содержание

Введение	4
1. Энергетический паспорт здания	7
1.1. Нормирование показателей энергопотребления зданий	7
1.2. Геометрические характеристики зданий и сооружений	15
1.3. Расчет теплотехнических показателей ограждающих конструкций	20
1.4. Годовая потребность в тепловой энергии зданий	24
1.5. Удельный расход тепла на отопление зданий и установление класса энергетической эффективности зданий	27
1.6. Задание на РГЗ №1 «Энергетический паспорт здания»	27
1.7. Пример выполнения РГЗ №1	33
Контрольные вопросы к главе 1	45
2. Регулирование теплоотдачи систем отопления в отопительном сезоне	47
2.1. Структура трансмиссионных теплопотерь здания в течении отопительного периода	47
2.2. Расход тепла на нагрев вентиляционного воздуха в течении отопительного периода	53
2.3. Расчет годового температурного графика систем отопления	58
Контрольные вопросы к главе 2	62
3. Годовое потребление тепла и холода системами кондиционирова- ния воздуха	63
3.1. Расчет годового потребления тепла и холода СКВ	64
3.2. Задание на РГЗ №2 «Годовое потребление тепла и холода СКВ»	69
3.3. Пример выполнения РГЗ №2	69
Контрольные вопросы к главе 3	74
4. Годовой график регулирования систем кондиционирования воздуха	76
Контрольные вопросы к главе 4	86
Заключение	88
Библиографический список	89

Введение

Повышение энергоэффективности зданий в последние десятилетия стало одним из основных направлений развития строительной индустрии. За рубежом начало разработок по улучшению теплозащиты эксплуатируемых зданий явилось следствием энергетического кризиса 70-х годов, и с 1976 года в большинстве зарубежных стран нормируемые величины теплозащиты конструкций увеличились в 2...3,5 раза. В настоящее время процесс этот не замер на месте: требования к используемым теплоизолирующим материалам постоянно повышаются, ужесточаются нормативы теплопроницаемости и смежных параметров отдельных строительных конструкций и сооружений в целом.

Теплоизоляция зданий и сооружений преследует несколько практических, целей: повышение уровня комфортности, тепло- и звукоизоляции, экономию топливных ресурсов и сокращение эксплуатационных расходов. Однако в концепцию энергоэффективного дома входит не только изоляция конструкций при помощи теплоизолирующих материалов, но и специфические инженерные решения системы вентиляции и теплоснабжения.

Для развития концепции энергосберегающего дома, безусловно, необходимо опираться на богатый опыт эксплуатации различных зданий. Очевидно, что энергоэффективность здания определяется совокупностью многих факторов. Исследования показывают, что при эксплуатации традиционного многоэтажного жилого дома через стены теряется до 40% тепла, через окна - 18%, подвал - 10%, крышу - 18%, вентиляцию - 14%. Поэтому свести теплопотери к минимуму возможно только при комплексном подходе к энергосбережению.

Из приведенных данных следует, что недостаточное термическое сопротивление осаждающих конструкций наиболее существенно снижает энергоэффективность зданий. Однако утеплением лишь ограждающих конструкций нельзя добиться значительного уменьшения теплопотерь, поскольку существенная их доля приходится на так называемые "мостики холода", то есть участки интенсивного теплообмена с окружающей средой. Такие участки чаще всего образуются в местах контакта плит перекрытий с несущими стенами, в местах примыкания к наружным стенам внутренних стен и перегородок, а также при проседании некачественного теплоизоляционного материала в трехслойных ограждающих конструкциях с утеплителем в качестве среднего слоя.

Поэтому современные системы утепления предусматривают создание комплексной защитной термооболочки вокруг конструкций

здания. Такая оболочка включает в себя утепление контактирующих с грунтом конструкций фундамента в сочетании с утеплением скатных или плоских крыш, а также устройство вентилируемых фасадов, передвигающих зону положительных температур в несущие конструкции. Этот комплекс мер исключает появление "мостиков холода", повышает тепловое сопротивление ограждения и предотвращает выпадение конденсата, пагубно влияющего на теплоизолирующие и другие эксплуатационные характеристики конструкций.

Еще одной немаловажной проблемой являются теплопотери через окна. Наиболее простой подход к решению этой проблемы - уменьшение площади окон - далеко не всегда приемлем, поскольку ухудшает комфортность и освещенность помещений. Эта дилемма наилучшим образом разрешается использованием современных трехслойных стеклопакетов с низкой теплопроводностью. Трехслойные окна особой конструкции с низкой теплопроводностью создают впечатление изобилия дневного света и пространства, а естественная вентиляция, оптимизируемая с помощью компьютерной системы, позволяет еще значительно уменьшить потери тепла.

Помимо вышеперечисленных аспектов пассивного энергосбережения, также стоит упомянуть о новейших решениях с привлечением высоких технологий. Имеются в виду интеллектуальные системы отопления, позволяющие оптимизировать поступление и распределение тепла в здании - то есть обеспечить необходимое и достаточное его количество, когда и там, где это необходимо. Однако такой подход требует внесения значительных и порой радикальных изменений в распространенную, в частности, в России схему централизованного отопления.

Строительство энергоэффективных зданий широко осуществляется сейчас во всем мире. Особенно впечатляющи в этом отношении успехи стран Западной Европы и Скандинавии. Суммарный эффект экономии тепла во вновь возводимых жилых и коммерческих зданиях здесь составляет 50 - 70%. Столь существенная экономия позволяет быстро окупить затраты от применения энергосберегающих технологий.

В частности, в Дании уже сейчас возводятся здания, при эксплуатации которых расходуется 16 кВт/м^2 , что на 70% ниже текущих энергетических затрат.

Концепция энергосберегающего дома хоть и с заметным запозданием, но находит признание и в России. До недавнего времени дешевизна энергоносителей в нашей стране не позволяла ощутить максимальный экономический эффект от использования современных

теплосберегающих материалов и соответствующих инженерных решений. Наблюдался такой парадокс: стоимость строительства в России ниже уровня мировых цен всего на 20-30%, а стоимость энергоресурсов отличалась в 6-7 раз.

В связи с этим, вопрос строительства энергоэффективных зданий в России становится одним из ключевых, а проблема рационального использования энергоресурсов приобретает все большее значение. Особенно остро эта проблема встает в коммунальном хозяйстве, которое потребляет до 20% электрической и 45% тепловой энергии, производимой в стране. На единицу жилой площади в России расходуется в 2-3 раза больше энергии, чем в странах Европы (в Германии в настоящее время расход теплоэнергии на отопление составляет 80 кВт ч/м², а в Швейцарии - 55 кВт ч/м²) и не столько из-за более сурового климата, сколько благодаря существенно меньшей жесткости строительных стандартов и нормативов. Но поскольку Россия взяла курс на построение эффективной экономики и вхождение в мировое сообщество, баланс цен на энергоносители начал восстанавливаться стремительными темпами.

1. Энергетический паспорт здания

1.1. Нормирование показателей энергопотребления зданий

Строительство зданий должно осуществляться в соответствии с требованиями к тепловой защите зданий для обеспечения установленного для проживания и деятельности людей микроклимата в здании, необходимой надежности и долговечности конструкций, климатических условий работы технического оборудования при минимальном расходе тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период (далее – на отопление) [4].

В нормах [4] устанавливают требования в том числе к:

- приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций зданий;
- ограничению температуры и недопущению конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции, за исключением окон с вертикальным остеклением;
- удельному показателю расхода тепловой энергии на отопление здания;
- классификации, определению и повышению энергетической эффективности проектируемых и существующих зданий;
- контролю нормируемых показателей, включая энергетический паспорт здания.

Энергетическую эффективность жилых и общественных зданий следует устанавливать в соответствии с классификацией по таблице 1.1 [4]. Классы «А» и «В» устанавливают для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проекта и впоследствии их уточняют по результатам эксплуатации. Для достижения классов «А» и «В» рекомендуется применять меры по экономическому стимулированию участников проектирования и строительства. Класс «С» устанавливают при эксплуатации вновь возведенных и реконструированных зданий. Присвоение классов «D» и «Е» на стадии проектирования не допускается. Классы «D» и «Е» устанавливают при эксплуатации возведенных до 2000 г. зданий с целью разработки очередности и мероприятий по реконструкции этих зданий. Классы для эксплуатируемых зданий следует устанавливать по данным измерения энергопотребления за отопительный период.

Таблица 1.1

Классы энергетической эффективности зданий

Обозначение класса	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания q_h^{des} от нормативного, %	Рекомендуемые мероприятия органами администрации субъектов РФ
Для новых и реконструированных зданий			
A	Очень высокий	Менее минус 51	Экономическое стимулирование
B	Высокий	От минус 10 до минус 50	То же
C	Нормальный	От плюс 5 до минус 9	-
Для существующих зданий			
D	Низкий	От плюс 6 до плюс 75	Желательна реконструкция здания
E	Очень низкий	Более 76	Необходимо утепление здания в ближайшей перспективе

Нормами установлены три показателя тепловой защиты здания:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания;

б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы;

в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

Требования тепловой защиты здания будут выполнены, если в жилых и общественных зданиях будут соблюдены требования показателей "а" и "б" либо "б" и "в". В зданиях производственного назначения необходимо соблюдать требования показателей "а" и "б".

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, ограждающих конструкций, а также окон и фонарей (с вертикальным ос-

течением или с углом наклона более 45°) следует принимать не менее нормируемых значений R_{req} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяемых по таблице 1.2 [4] в зависимости от градусо-суток района строительства (ГСОП) D_d , $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$.

Величина ГСОП определяется по формуле:

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}}) z_{\text{ht}}, \quad (1.1)$$

где t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^\circ\text{C}$, принимаемая для расчета ограждающих конструкций группы зданий по поз.1 таблицы 4 по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по [5] (в интервале $20-22^\circ\text{C}$), для группы зданий по поз.2 таблицы 4 – согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по [6] (в интервале $16-21^\circ\text{C}$), зданий по поз. 3 таблицы 4 [6] – по нормам проектирования соответствующих зданий;

$t_{\text{ht}}, z_{\text{ht}}$ – средняя температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, и продолжительность, сут, отопительного периода, принимаемые по [3] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10°C – при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых, и не более 8°C – в остальных случаях.

Значения R_{req} для величин D_d , отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_{req} = aD_d + b \quad (1.2)$$

где D_d – градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$, для конкретного пункта;

a и b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий.

Для окон жилых зданий принимаются значения коэффициентов a и b для интервала до $6000^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$: $a = 0,000075$, $b = 0,15$; для интервала $6000-8000^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$: $a = 0,00005$, $b = 0,3$; для интервала $8000^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$ и более: $a = 0,000025$, $b = 0,5$.

Нормируемое приведенное сопротивление теплопередаче глухой части балконных дверей должно быть не менее чем в 1,5 раза выше нормируемого сопротивления теплопередаче светопрозрачной части этих конструкций.

Таблица 1.2

**Нормируемые значения сопротивления теплопередаче
ограждающих конструкций**

Здания и помещения, коэффициенты a и b	Градусо-сутки отопительного периода D_{is} , °С·сут	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче R_{req} , м·°С/Вт, ограждающих конструкций				
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей с вертикальным остеклением
1 Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
	a	0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
	b	1,4	2,2	1,9	-	0,25
2 Общие, общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения с влажным или мокрым режимом	2000	1,8	2,4	2	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3	4	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
	a	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
	b	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25
3 Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10000	3	4	3	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
	a	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
	b	1	1,5	1	0,2	0,15

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче чердачных и цокольных перекрытий, отделяющих помещения здания от неотапливаемых пространств с температурой t_c ($t_{ext} < t_c < t_{int}$), следует уменьшать умножением величин, указанных в графе 5, на коэффициент n , определяемый по формуле (1.3). При этом расчетную температуру воздуха в теплом чердаке, теплом подвале и остекленной лоджии и балконе следует определять на основе расчета теплового баланса.

Допускается в отдельных случаях, связанных с конкретными конструктивными решениями заполнений оконных и других проемов, применять конструкции окон, балконных дверей и фонарей с приведенным сопротивлением теплопередаче на 5% ниже установленного в таблице.

Таблица 1.3

**Коэффициент, учитывающий зависимость положения
ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху
[4]**

Ограждающие конструкции	Коэффициент n
1. Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом), зенитные фонари, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	0,9
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	0,4

Для чердачных перекрытий теплых чердаков и цокольных перекрытий над подвалами с температурой воздуха в них t_c большей t_{ext} , но меньшей t_{int} коэффициент n следует определять по формуле:

$$n = (t_{int} - t_c) / (t_{int} - t_{ext}). \quad (1.3)$$

Расчетный температурный перепад Δt_0 , °C, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ог-

ограждающей конструкции не должен превышать нормируемых величин Δt_n , °С, установленных в таблице 1.4 [4], что ограничивает допустимое термическое сопротивление ограждения величиной:

$$R_{req} = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \alpha_{int}} \quad (1.4)$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху и принимаемый по табл. 1.3. или формуле (1.3);

Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_{int} и температурой внутренней поверхности τ_{int} ограждающей конструкции, °С, принимаемый по таблице 1.4 [4];

α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°С), принимаемый по таблице 1.5 [4];

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, для всех зданий, кроме производственных и предназначенных для сезонной эксплуатации, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по [3].

Удельный (на 1 м² отапливаемой площади пола квартир или полезной площади помещений [или на 1 м³ отапливаемого объема]) расход тепловой энергии на отопление здания q_h^{des} , кДж/(м²·°С·сут) или [кДж/(м³·°С·сут)], определяемый при разработке проектной части энергетического паспорта здания, должен быть меньше или равен нормируемому значению q_h^{req} , кДж/(м²·°С·сут) или [кДж/(м³·°С·сут)], и определяется путем выбора теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, объемно-планировочных решений, ориентации здания и типа, эффективности и метода регулирования используемой системы отопления до удовлетворения условия:

$$q_h^{req} \geq q_h^{des} \quad (1.5)$$

где q_h^{req} – нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания, кДж/(м²·°С·сут) или [кДж/(м³·°С·сут)], определяемый для различных типов жилых и общественных зданий:

Таблица 1.4

**Нормируемый температурный перепад между температурой
внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности
ограждающей конструкции [4]**

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад Δt_n , °С, для			
	наружных стен	покрытый и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	зенитных фонарей
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4	3	2	$t_{\text{int}} - t_d$
2. Общественные, кроме указанных в поз.1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4	2,5	$t_{\text{int}} - t_d$
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_{\text{int}} - t_d$, но не более 7	$0,8(t_{\text{int}} - t_d)$, но не более 6	2,5	$t_{\text{int}} - t_d$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_{\text{int}} - t_d$	$0,8(t_{\text{int}} - t_d)$	2,5	-
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м³) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха более 50%	12	12	2,5	$t_{\text{int}} - t_d$

где t_d - температура точки росы, °С.

Таблица 1.5

**Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей
конструкции [4]**

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи α_{int} , Вт/(м²·°С)
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

а) при подключении их к системам централизованного тепло-снабжения по таблице 1.6 [4] кроме индивидуальных и блокированных жилых зданий;

Таблица 1.6

Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление зданий q_h^{req} , кДж/(м²·°C·сут) или [кДж/(м³·°C·сут)] [4]

Типы зда-ний	Этажность зданий					
	1-3	4, 5	6, 7	8, 9	10, 11	12 и выше
1 Жилые, гостиницы, общежития	По таблице 8 [4]	85[31] для 4-этажных многоквартирных и блокированных домов - по таблице 8 [4]	80[29]	76[27,5]	72[26]	70[25]
2 Общественные, кроме перечисленных в поз.3, 4 и 5 таблицы	[42]; [38]; [36] соответственно нарастанию этажности	[32]	[31]	[29,5]	[28]	-
3 Поликлиники и лечебные учреждения, дома-интернаты	[34]; [33]; [32] соответственно нарастанию этажности	[31]	[30]	[29]	[28]	-
4 Дошкольные учреждения	[45]	-	-	-	-	-
5 Сервисного обслуживания	[23]; [22]; [21] соответственно нарастанию этажности	[20]	[20]	-	-	-
6 Административного назначения (офисы)	[36]; [34]; [33] соответственно нарастанию этажности	[27]	[24]	[22]	[20]	[20]

Примечание: для регионов, имеющих значение $D_d = 8000$ °C·сут и более, нормируемые значения q_h^{req} следует снизить на 5%.

б) при устройстве в здании поквартирных и автономных (крышных, встроенных или пристроенных котельных) систем теплоснабжения или стационарного электроотопления - величиной, принимаемой по таблице 1.6, умноженной на коэффициент ε , рассчитываемый по формуле

$$\varepsilon = \varepsilon_{dec} / \varepsilon_0^{des} \quad (1.6)$$

где $\varepsilon_{dec}, \varepsilon_0^{des}$ - расчетные коэффициенты энергетической эффективности поквартирных и автономных систем теплоснабжения или стационарного электроотопления и централизованной системы теплоснабжения соответственно, принимаемые по проектным данным, осредненными за отопительный период.

1.2. Геометрические характеристики зданий и сооружений

Расчетная площадь ограждающих конструкций А определяется (рис. 1.1) по правилам обмера в соответствии с требованиями [7] и рекомендациями [11] на основании планов и разрезов здания. Толщина наружных ограждений должна быть вычерчена в масштабе в соответствии с теплотехническим расчетом.

По общим правилам обмера значения размеров принимаются:

1) площадь окон и дверей - по наименьшим размерам ($h_0 \times b_0$) проемов в свету (рис. 1.1, а, в).

2) площадь потолков и полов - по расстоянию между осями внутренних стен и расстоянию от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен (ПЛ·ПЛ; ПТ·ПТ) и (ПЛ·ПЛ"; ПТ·ПТ") (рис. 1.1, в).

3) высота стен первого этажа:

по расстоянию от уровня чистого пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа (для пола на грунте): $h_{nc} = h_{эм}$ (рис. 1.1, 3);

по расстоянию от нижнего уровня подготовки для первого этажа до уровня чистого пола второго этажа (для пола на лагах) (рис. 1.1, 2), т.е.

$$h_{nc} = h_{эм} + \delta_{нл} \quad (1.7)$$

где $\delta_{нл}$ – толщина от уровня подготовки до чистого пола первого этажа;

по расстоянию от уровня нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа при наличии неотапливаемого подвала (рис. 1.1, 1): т.е.

$$h_{nc} = h_{эм} + \delta_{нл} \quad (1.8)$$

где $\delta_{нл}$ – толщина перекрытия над неотапливаемым подвалом;

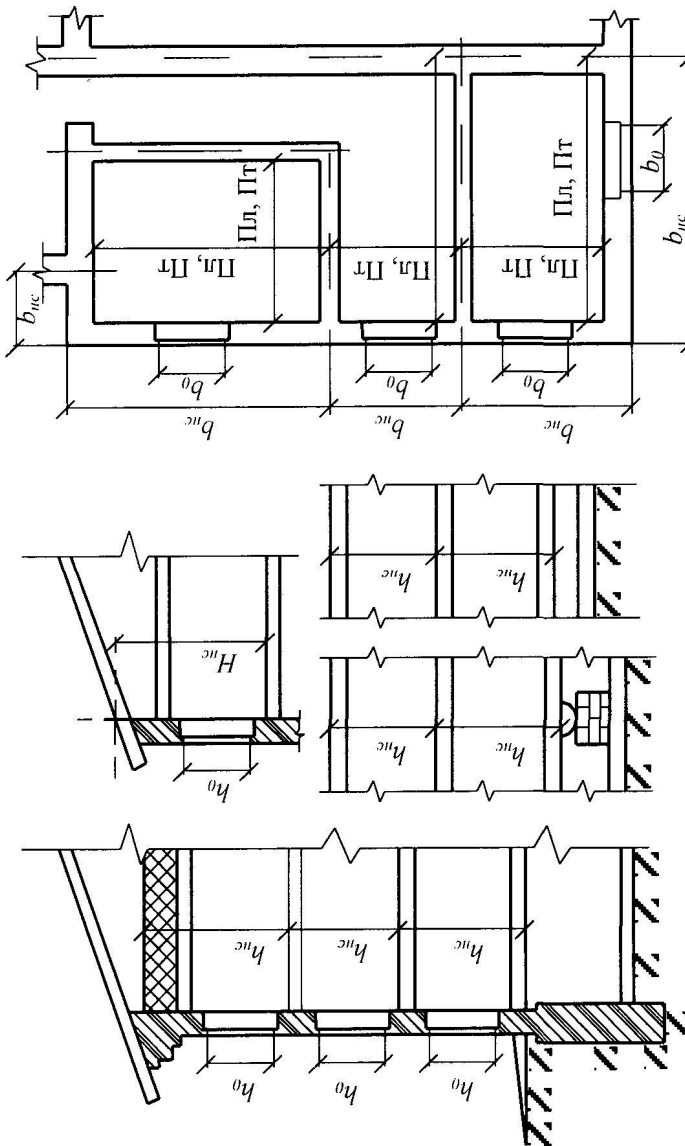


Рис. 1.1. Правила обмера площадей ограждающих конструкций:

а – разрез здания с чердачным покрытием; *б* – разрез с совмещенным покрытием; *в* – план здания;
1 – пол над подвалом; 2 – пол на лагах; 3- пол на грунте

по расстоянию от уровня чистого пола до верха утеплителя чердачного перекрытия (рис. 1.1, а):

4) высота стен промежуточного этажа - по расстоянию между уровнями чистого пола данного и вышележащего этажей (рис. 1.1, а):

$$h_{nc} = h_{эм}, \quad (1.9)$$

5) высота стен верхнего этажа:

$$h_{nc} = h_{эм} + \delta_{ут}, \quad (1.10)$$

где $\delta_{ут}$ - толщина утеплителя;

по расстоянию от уровня чистого пола до пересечения внутренней поверхности наружной стены с верхней плоскостью покрытия при отсутствии чердака (рис. 1.1, б):

$$h_{nc} = h_{эм} + \delta_{покр}, \quad (1.11)$$

где $\delta_{покр}$ - толщина покрытия;

б) ширина наружных стен b_{nc} :

для неугловых помещений - по расстоянию между осями внутренних стен (см. рис. 1.1, в);

для угловых помещений - по расстоянию от внешних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен (рис. 1.1, в).

Линейные размеры ограждающих конструкций необходимо определять с точностью 0,1 м, а площадь с точностью 0,1 м².

Общая площадь здания определяется как сумма площадей всех этажей (включая технический, мансардный, цокольный) [1, 2].

В общую площадь здания включается площадь антресолей, галерей и балконов зрительных и других залов, веранд, наружных застекленных лоджий и галерей, а также переходов в другие здания.

В общую площадь здания включается также площадь открытых неотапливаемых планировочных элементов здания (включая площадь эксплуатируемой кровли, открытых наружных галерей, открытых лоджий и т.п.).

Площадь многосветных помещений, а также пространство между лестничными маршами более ширины марша и проемы в перекрытиях более 36 м² следует включать в общую площадь здания в пределах только одного этажа.

Площадь этажа следует измерять в пределах внутренних поверхностей наружных стен. Площадь этажа при наклонных наружных стенах измеряется на уровне пола. Площадь мансардного этажа измеряется в пределах внутренних поверхностей наружных стен и стен мансарды, смежных с пазухами чердака, с учетом позиции 5.

Полезная площадь здания определяется как сумма площадей всех размещаемых в нем помещений, а также балконов и антресолей в

залах, фойе и т.п., за исключением лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов.

Расчётная площадь здания определяется как сумма площадей входящих в него помещений, за исключением:

- коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, внутренних открытых лестниц;
- лифтовых шахт;
- помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и инженерных сетей.

В общую и полезную площади здания не включаются площади подполья для проветривания здания на вечномёрзлых грунтах; чердака; технического подполья (технического чердака) при высоте от пола до низа выступающих конструкций менее 1,8 м, а также наружных тамбуров, наружных балконов, портиков, крылец, наружных открытых лестниц и пандусов.

Площадь помещений здания определяется по их размерам, измеряемым между отделанными поверхностями стен и перегородок на уровне пола (без учета плинтусов). Площадь помещения мансардного этажа учитывается с понижающим коэффициентом 0,7 на участке в пределах высоты наклонного потолка (стены) при наклоне 30° — до 1,5 м, при 45° — до 1,1 м, при 60° и более — до 0,5 м.

Строительный объём здания определяется как сумма строительного объёма выше отметки ± 0.00 (надземная часть) и ниже этой отметки (подземная часть).

Строительный объём надземной и подземной частей здания определяется в пределах ограничивающих поверхностей с включением ограждающих конструкций, световых фонарей, куполов и др. начиная с отметки чистого пола каждой из частей здания, без учёта выступающих архитектурных деталей и конструктивных элементов, подпольных каналов, портиков, террас, балконов, объёма проездов и пространства под зданием на опорах (в чистоте), а также проветриваемых подполий под зданиями на вечномёрзлых грунтах.

Площадь застройки здания определяется как площадь горизонтального сечения по внешнему обводу здания на уровне цоколя, включая выступающие части. Площадь под зданием, расположенным на столбах, а также проезды под зданием включаются в площадь застройки.

При определении этажности здания в число этажей включаются все надземные этажи, в том числе технический этаж, мансардный, а также цокольный этаж, если верх его перекрытия находится выше средней планировочной отметки земли не менее чем на 2 м.

Подполье для проветривания под зданиями на вечномёрзлых грунтах, независимо от его высоты, в число надземных этажей не включается.

При различном числе этажей в разных частях здания, а также при размещении здания на участке с уклоном, когда за счет уклона увеличивается число этажей, этажность определяется отдельно для каждой части здания.

Технический этаж, расположенный над верхним этажом, при определении этажности здания не учитывается.

Отапливаемым объемом здания называют объем [4], ограниченный внутренними поверхностями наружных ограждений здания - стен, покрытий (чердачных перекрытий), перекрытий пола первого этажа или пола подвала при отапливаемом подвале.

Коэффициент остекления фасада определяют [4] как отношение площадей светопрозрачных проемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопрозрачные проемы:

$$f = \frac{A_F}{A_W + A_F + A_{ed}}, \quad (1.12)$$

где A_F – суммарная площадь окон, балконных дверей и витражей;

A_W – площадь наружных стен;

A_{ed} – площадь наружных дверей, ворот.

Показатель компактности здания находится как отношение общей площади внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций здания к заключенному в них отапливаемому объему [4]:

$$k_e^{des} = \frac{A_e^{sum}}{V_h}, \quad (1.13)$$

где A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения, м²;

V_h – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания, м³.

1.3. Расчет теплотехнических показателей ограждающих конструкций

Величина проектного значения коэффициента термического сопротивления многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$R^r = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} \quad (1.14)$$

где α_{int} , α_{ext} – величина коэффициентов теплоотдачи внутренней и наружной, соответственно, поверхностей ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C), принимаемые по таблицам 1.5 [4] и 1.7 [7];

δ_i , λ_i – толщина и коэффициент теплопроводности слоев ограждающей конструкции, принимаемые по конструкторской части проекта.

Таблица 1.7

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности для условий холодного периода [7]

N п.п.	Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи α_{ext} , Вт/(м ² ·°C)
1	Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2	Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	17
3	Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	12
4	Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений здания (сооружения) определяется по формуле [4]:

$$R_0^r = \frac{A_e^{\text{sum}}}{A_w/R_w^r + A_f/R_f^r + A_{ed}/R_{ed}^r + A_c/R_c^r + nA_{c1}/R_{c1}^r + nA_f/R_f^r + A_{f1}/R_{f1}^r}, \quad (1.15)$$

где A_w , R_w^r – площадь, м², и приведенное сопротивление теплопередаче, (м²·°C)/Вт, наружных стен (за исключением проемов);

A_F, R_F^r – то же, заполнений светопроемов (окон, витражей, фонарей);

A_{ed}, R_{ed}^r – то же, наружных дверей и ворот;

A_c, R_c^r – то же, совмещенных покрытий (в том числе над эркерами);

A_{c1}, R_{c1}^r – то же, чердачных перекрытий;

A_f, R_f^r – то же, цокольных перекрытий;

A_{f1}, R_{f1}^r – то же, перекрытий над проездами и под эркерами.

Приведенный коэффициент теплопередачи здания является величиной, обратной приведенному сопротивлению теплопередаче наружных ограждений:

$$K_m^{tr} = 1/R_0^r. \quad (1.16)$$

Значительное влияние на тепловой режим здания оказывают затраты тепла на нагрев вентиляционного воздуха. Нагрев вентиляционного воздуха может осуществляться в калориферах приточных установок механической вентиляции или за счет теплопоступлений от отопительных приборов и оборудования при естественном вентилировании помещений. Величиной, характеризующей интенсивность воздухообмена в здании, является средняя кратность воздухообмена за отопительный период $n_a, \text{ч}^{-1}$, определяемая по суммарному воздухообмену за счет вентиляции и инфильтрации по формуле:

$$n_a = \frac{\frac{L_v n_v}{168} + \frac{G_{\text{inf}} k n_{\text{inf}}}{168 \rho_a^{tr}}}{\beta_v V_h} \quad (1.17)$$

где L_v – количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n_v – число часов работы механической вентиляции в течение недели; 168 – число часов в неделе;

G_{inf} – количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, $\text{кг}/\text{ч}$;

k – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в светопрозрачных конструкциях, равный для: стыков панелей стен – 0,7; окон и балконных дверей с тройными отдельными переплетами – 0,7; то же, с двойными отдельными переплетами – 0,8; то же, со спаренными переплетами – 0,9; то же, с одинарными переплетами – 1,0;

n_{inf} – число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 для зданий с сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией и $(168 - n_v)$ для зданий, в помещениях которых поддерживается подпор воздуха во время действия приточной механической вентиляции;

β_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимать $\beta_v = 0,85$;

V_h – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания, м^3 ;

ρ_a^{ht} – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м^3 .

Количество приточного воздуха в здание L_v принимается в зависимости от назначения здания:

а) жилых зданий, предназначенных гражданам с учетом социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 20 м^2 общей площади и менее на человека) – $3A_l$;

б) других жилых зданий – $0,35 \cdot 3 \cdot A_l$, но не менее $30m$;

где m – расчетное число жителей в здании;

в) общественных и административных зданий принимают условно для офисов и объектов сервисного обслуживания – $4A_l$, для учреждений здравоохранения и образования – $5A_l$, для спортивных, зрелищных и детских дошкольных учреждений – $6A_l$;

где A_l – для жилых зданий – площадь жилых помещений, для общественных зданий – расчетная площадь, определяемая согласно [12] как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей, м^2 ;

Количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции принимается для жилых зданий как количество воздуха, поступающего в лестничные клетки в течение суток отопительного периода; для общественных зданий – воздуха, поступающего через неплотности светопрозрачных конструкций и дверей; допускается принимать для общественных зданий в нерабочее время $G_{\text{inf}} = 0,5\beta_v V_h$.

Количество инфильтрующегося воздуха в лестничную клетку жилого здания через неплотности заполнений проемов следует определять по формуле:

$$G_{\text{inf}} = (A_F / R_{a.F}) \cdot (\Delta P_F / 10)^{2/3} + (A_{ed} / R_{a.ed}) \cdot (\Delta P_{ed} / 10)^{1/2}, \quad (1.18)$$

где A_F и A_{ed} – соответственно для лестничной клетки суммарная площадь окон и балконных дверей и входных наружных дверей, м^2 ;

$R_{a.F}$ и $R_{a.ed}$ – соответственно для лестничной клетки сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей и входных наружных дверей;

ΔP_F и ΔP_{ed} – соответственно для лестничной клетки расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха для окон и балконных дверей и входных наружных дверей.

Средняя плотность приточного воздуха за отопительный период ρ_a^{ht} , кг/м^3 определяется по формуле:

$$\rho_a^{ht} = \frac{353}{273 + 0,5(t_{\text{int}} + t_{\text{ext}})}.$$

Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплотери за счет инфильтрации и вентиляции, $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, определяется по формуле:

$$K_m^{\text{inf}} = 0,28 c n_a \beta_v V_h \rho_a^{ht} k / A_e^{\text{sum}} \quad (1.19)$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, принимаемая $1 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$;

n_a – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч^{-1} ;

β_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных принимается равным 0,85;

V и A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения, м^2 ; и отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания, м^3 соответственно;

ρ_a^{ht} – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м^3 .

Общий коэффициент теплопередачи здания, $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, определяется по формуле:

$$K_m = K_m^{\text{tr}} + K_m^{\text{inf}} \quad (1.20)$$

где K_m^{ir} – приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле (1.16);

K_m^{inf} – условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле (1.19).

1.4. Годовая потребность в тепловой энергии зданий

Расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода Q_h^y , МДж, следует определять по формуле:

$$Q_h^y = [Q_h - (Q_{int} + Q_s) \nu \zeta] \beta_h \quad (1.21)$$

где Q_h – общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, МДж, определяемые по (1.22);

Q_{int} – бытовые теплопоступления в течение отопительного периода, МДж, определяемые по (1.23);

Q_s – теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж, определяемые по (1.24);

ν – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение $\nu = 0,8$;

ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления; рекомендуемые значения:

$\zeta = 1,0$ – в однотрубной системе с термостатами и с пофасадным авторегулированием на вводе или поквартирной горизонтальной разводкой;

$\zeta = 0,95$ – в двухтрубной системе отопления с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе;

$\zeta = 0,9$ – однотрубной системе с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе или в однотрубной системе без термостатов и с пофасадным авторегулированием на вводе, а также в двухтрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;

$\zeta = 0,85$ – в однотрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;

$\zeta = 0,7$ – в системе без термостатов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха;

$\zeta = 0,5$ – в системе без термостатов и без авторегулирования на вводе – регулирование центральное в ЦТП или котельной;

β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения, принимаемый для:

- многосекционных и других протяженных зданий $\beta_h = 1,13$;
- зданий башенного типа $\beta_h = 1,11$;
- зданий с отапливаемыми подвалами $\beta_h = 1,07$;
- зданий с отапливаемыми чердаками, а также с квартирными генераторами теплоты $\beta_h = 1,05$.

Общие теплопотери здания Q_h , МДж, за отопительный период следует определять по формуле:

$$Q_h = 0,0864 K_m D_d A_e^{sum} \quad (1.22)$$

где K_m – общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²·°С), определяемый по формуле (1.20)

D_d – величина ГСОП, определяемая по формуле (1.1), °С·сут;

A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения, м².

Бытовые тепlopоступления в течение отопительного периода Q_{int} , МДж, следует определять по формуле:

$$Q_{int} = 0,0864 q_{int} z_{ht} A_l \quad (1.23)$$

где q_{int} – величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений или расчетной площади общественного здания, Вт/м², принимаемая для:

- а) жилых зданий, предназначенных гражданам с учетом социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 20 м² общей площади и менее на человека) $q_{int} = 17$ Вт/м²;
- б) жилых зданий без ограничения социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 45 м² общей площади и более на человека) $q_{int} = 10$ Вт/м²;

в) других жилых зданий - в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции величины $q_{\text{инт}}$ между 17 и 10 Вт/м²;

г) для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчетному числу людей (90 Вт/чел), находящихся в здании, освещения (по установочной мощности) и оргтехники (10 Вт/м²) с учетом числа рабочих часов в неделю;

$z_{\text{нт}}$ – продолжительность, сут, отопительного периода;

A_j – для жилых зданий – площадь жилых помещений, для общественных зданий – расчетная площадь, определяемая согласно [12] как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей, м².

Теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода Q_s , МДж, для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, следует определять по формуле:

$$Q_s = \tau_F k_F (A_{F1} I_1 + A_{F2} I_2 + A_{F3} I_3 + A_{F4} I_4) + \tau_{sky} k_{sky} A_{sky} I_{hor} \quad (1.24)$$

где τ_F, τ_{sky} – коэффициенты, учитывающие затенение световых проемов соответственно окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения, принимаемые по проектным данным; при отсутствии данных следует принимать по своду правил [7];

k_F, k_{sky} – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений соответственно окон и зенитных фонарей, принимаемые по паспортным данным соответствующих светопропускающих изделий; при отсутствии данных следует принимать по своду правил; мансардные окна с углом наклона заполнения к горизонту 45° и более следует считать как вертикальные окна, с углом наклона менее 45° – как зенитные фонари;

$A_{F1}, A_{F2}, A_{F3}, A_{F4}$ – площадь светопроемов фасадов здания, соответственно ориентированных по четырем направлениям, м²;

A_{sky} – площадь светопроемов зенитных фонарей здания, м²;

I_1, I_2, I_3, I_4 – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по четырем фасадам здания, МДж/м², определяется по методике свода правил [7]. Для промежуточных направлений величину солнечной радиации следует определять по интерполяции;

I_{hor} – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м², определяется по своду правил [7].

1.5. Удельный расход тепла на отопление зданий и установление класса энергетической эффективности зданий

Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период q_h^{des} , отнесенный к единичной полезной площади, кДж/(м²·°С·сут) или единичному строительному объему, кДж/(м³·°С·сут), следует определять по формуле:

$$q_h^{des} = 10^3 \frac{Q_h^y}{A_h D_d} \text{ или } q_h^{des} = 10^3 \frac{Q_h^y}{V_h D_d} \quad (1.25)$$

где Q_h^y – расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода, МДж;

A_h – сумма площадей пола квартир или полезной площади помещений здания, за исключением технических этажей и гаражей, м²;

V_h – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м³;

D_d – величина ГСОП, определяемая по формуле (1.1), °С·сут.

1.6. Задание на РГЗ №1 «Энергетический паспорт здания»

РГЗ «Энергетический паспорт здания» выполняется на основании исходных данных и принятых проектных решений в курсовом проекте «Отопление жилого дома» дисциплины «Отопление». Целью РГЗ является установление класса энергетической эффективности жилого многоквартирного дома с учетом принимаемых в указанном выше курсовом проекте технических решений и выработке путей повышения класса энергетической эффективности.

Исходными данными для заполнения энергетического паспорта являются:

- климатические условия региона застройки и микроклимата обслуживаемых помещений (раздел «Расчетные условия», табл. 1.8);
- суммарные площади ограждений по категориям раздела «Геометрические показатели», (табл. 1.8);

- требуемые и проектные значения термических сопротивлений ограждающих конструкций (раздел «Теплотехнические показатели», табл. 1.8);
- сведения о системах вентиляции (там же);
- сведения об ориентации здания по сторонам света и интенсивности солнечной радиации (там же);
- сведения о типе системы отопления, применяемых источниках тепла, способах подключения к наружным тепловым сетям, группового и местного регулирования теплоотдачи системы отопления.

Заполнение энергетического паспорта производится в соответствии с формой, утвержденной в [4] – табл. 1.8 в части нормативных и расчетных значений показателей.

Таблица 1.8

Энергетический паспорт здания. Форма [4]

Энергетический паспорт здания по СНиП 23-02-2003
Общая информация

Дата заполнения (год, месяц, число)	
Адрес здания	
Разработчик проекта	
Адрес и телефон разработчика	
Шифр проекта	

Расчетные условия

N п.п.	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура внутреннего воздуха	t_{int}	°C	
2	Расчетная температура наружного воздуха	t_{ext}	°C	
3	Расчетная температура теплого чердака	t_c	°C	
4	Расчетная температура техподполья	$t_{с\text{'}}$	°C	
5	Продолжительность отопительного периода	z_{ht}	сут.	
6	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t_{ht}	°C	
7	Градусо-сутки отопительного периода	D_{dt}	°C·сут	

Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

8	Назначение	
9	Размещение в застройке	
10	Тип	
11	Конструктивное решение	

Геометрические и теплоэнергетические показатели

N п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6
Геометрические показатели					
12	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания	A_e^{sum} , м ²		0	0
	в том числе:				
	стен	A_w , м ²			
	окон и балконных дверей	A_F , м ²			
	витражей	A_F , м ²			
	фонарей	A_F , м ²			
	входных дверей и ворот	A_{ed} , м ²			
	покрытий (совмещенных)	A_c , м ²			
	чердачных перекрытий (холодного чердака)	A_c , м ²			
	перекрытий теплых чердаков	A_c , м ²			
	перекрытий над техподпольями	A_f , м ²			
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	A_f , м ²			
	перекрытий над проездами и под эркерами	A_f , м ²			
	пола по грунту	A_f , м ²			
13	Площадь квартир	A_{kr} , м ²			
14	Полезная площадь (общественных зданий)	A_b , м ²			
15	Площадь жилых помещений	A_b , м ²			
16	Расчетная площадь (общественных зданий)	A_b , м ²			
17	Отапливаемый объем	V_{tr} , м ³			
18	Коэффициент остекления фасада	f			
19	Показатель компактности здания	k_e^{des}			

Теплоэнергетические показатели						
Теплотехнические показатели						
1	2	3		4	5	6
20	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений	$R_{o'}$	$\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$			
	стен	R_w				
	окон и балконных дверей	R_F				
	витражей	R_F				
	фонарей	R_F				
	входных дверей и ворот	R_{ed}				
	покрытий (совмещенных)	R_c				
	чердачных перекрытий (холодного чердака)	R_c				
	перекрытий теплых чердаков (включая покрытие)	R_c				
	перекрытий над техподпольями	R_f				
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	R_f				
	перекрытий над проездами и под эркерами	R_f				
	пола по грунту	R_f				
21	Приведенный коэффициент теплопередачи здания	K_m^{tr}	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$			
22	Кратность воздухообмена здания за отопительный период	n_{α}	ч^{-1}			
	Кратность воздухообмена при испытаниях (при 50 Па)	$n_{50\text{p}}$	ч^{-1}			
23	Условный коэффициент теплопередачи, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации	K_m^{inf}	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$			
24	Общий коэффициент теплопередачи здания	K_{α}	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$			
Энергетические показатели						
25	Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период	Q_{α}	МДж			
26	Удельные бытовые тепловыделения в здании	q_{α}	$\text{Вт}/\text{м}^2$			

1	2	3	4	5	6
27	Бытовые теплопоступления в здание за отопительный период	Q_{int}	МДж		
28	Теплопоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период	Q_{\odot}	МДж		
29	Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	Q_h^y	МДж		
	Расчетное число человек в здании	m	чел		
	Количество приточного воздуха в здание:	L_v	м ³ /ч		
	жилых зданий с учетом социальной нормы заселенности				
	жилых зданий других				
	офисных, объектов сервисного обслуживания				
	учреждений здравоохранения и образования				
	спортивных, зрелищных и детских дошкольных учреждений				
	Число часов работы механической вентиляции в течении недели	n_v	час		
	Количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции:	G_{inf}	кг/ч		
	для жилых зданий				
	для общественных зданий				
	Число часов инфильтрации в течении недели	n_{inf}	час		
	Коэффициент затенения световых проемов	τ_F			
	Коэффициент затенения зенитных фонарей	τ_{scy}			
	Коэффициент относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений окон	k_F			

1	2	3	4	5	6
	Коэффициент относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений зенитных фонарей	k_{scz}			
	Площади световых проемов здания по сторонам света	A_{F1}	m^2		
		A_{F2}	m^2		
		A_{F3}	m^2		
		A_{F4}	m^2		
	Площадь световых проемов зенитных фонарей	A_{scz}	m^2		
	Средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности по фасадам здания	I_1	$MДж/м^2$		
		I_2	$MДж/м^2$		
		I_3	$MДж/м^2$		
		I_4	$MДж/м^2$		
	Средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности по фасадам здания	I_{hor}	$MДж/м^2$		

Коэффициенты

N п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Фактическое значение показателя
30	Расчетный коэффициент энергетической эффективности системы централизованного теплоснабжения здания от источника теплоты	ϵ_0^{des}		
31	Расчетный коэффициент энергетической эффективности поквартирных и автономных систем теплоснабжения здания от источника теплоты	ϵ_{dec}		
32	Коэффициент эффективности авторегулирования	ζ		
33	Коэффициент учета встречного потока	k		
34	Коэффициент учета дополнительного теплопотребления	β_h		

1	2	3	4	5	6
Комплексные показатели					
35	Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	q_h^{des} ,	кДж/(м ² ·°C·сут)		
			кДж/(м ³ ·°C·сут)		
36	Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания	q_h^{req} ,	кДж/(м ² ·°C·сут)		
			кДж/(м ³ ·°C·сут)		
37	Класс энергетической эффективности				
38	Соответствует ли проект здания нормативному требованию				
39	Дорабатывать ли проект здания				
Указания по повышению энергетической эффективности здания					
40	Рекомендуем:				
41	Паспорт заполнен:				
	Организация				
	Адрес и телефон				
	Ответственный исполнитель				

1.7. Пример выполнения РГЗ №1

Здание располагается в климатической зоне г. Белгорода и представляет собой 9-ти этажный жилой дом с теплым техэтажом и подвалом. Площади ограждений здания сведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Сведения о площадях ограждений здания

N п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Расчетное (проектное) значение показателя
1	2	3	4
1.	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания	A_e^{sum} , м^2	2190,42
	- в том числе:		
2.	- стен	A_w , м^2	1601
3.	- окон и балконных дверей	A_F , м^2	273
4.	- входных дверей и ворот	A_{ed} , м^2	2,42
5.	- перекрытий теплых чердаков	A_c , м^2	157
6.	- перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	A_f , м^2	157
7.	Площадь квартир	A_h , м^2	1468
8.	Площадь жилых помещений	A_l , м^2	856,8
9.	Отапливаемый объем	V_h , м^3	4682,4

Требуемые по [4] и принятые в проекте значения термического сопротивления сведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Значения термического сопротивления ограждений

N п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения		Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя
1	2	3		4	5
20	Сопротивление теплопередаче наружных ограждений:				
	стен	R_w	$\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	2,86	3,57
	окон и балконных дверей	R_F	-//-	0,46	0,48
	входных дверей и ворот	R_{ed}	-//-	1,72	1,8
	перекрытий теплых чердаков (включая покрытие)	R_c	-//-	3,61	3,67
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	R_f	-//-	3,6	3,72

В здании предусматривается система общеобменной вентиляции с естественным побуждением. Поступление наружного воздуха происходит через неплотности наружных ограждений и через окна при проветривании, норма воздухообмена принята $3 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$. Удаление воздуха осуществляется через решетки вытяжных шахт в кухнях, ванных комнатах и санузлах.

В здании предусматривается однотрубная система отопления с термостатами и центральным авторегулированием на вводе.

Порядок расчета

Согласно требованиям [9] по [4] определены расчетные параметры наружного воздуха в регионе застройки:

- температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 $t_{ext} = -23 \text{ }^\circ\text{C}$;
- средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{ht} = 1,9 \text{ }^\circ\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода для жилых зданий $z_{ht} = 191 \text{ сут.}$

Согласно [5] расчетная температура для жилых помещений $t_{ext} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Расчетная температура теплого чердака принята $t_q = 14^\circ\text{C}$, подвала – $t_n = 2^\circ\text{C}$.

Величина ГСОП определена по формуле (1.1):

$$D_c = (20 - (-1,9)) \cdot 191 = 4183^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$$

Результаты расчетов сводятся в табл. 1.11.

Определим коэффициент остекления фасада по формуле (1.12):

$$f = \frac{273}{1601 + 273 + 2,42} = 0,145.$$

Определим показатель компактности здания по формуле (1.13):

$$k_e^{des} = \frac{2190,42}{4682,4} = 0,468,$$

что превышает рекомендуемое [4] значение: $0,468 > 0,32$ на 46%.

На основании известных требуемых и проектных значений термических сопротивлений ограждений и площадей ограждений по формуле (1.15) найдем нормативное приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений:

$$R_0^r = \frac{2190,42}{1601/2,86 + 273/0,46 + 2,42/1,72 + 157/3,61 + 157/3,6} = 1,764 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

и проектное приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений:

$$R_0^r = \frac{2190,42}{1601/3,57 + 273/0,48 + 2,42/1,8 + 157/3,67 + 157/3,72} = 1,985 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи является величиной, обратной сопротивлению теплопередаче, его нормативное значение равно (1.16):

$$K_m^{tr} = 1/1,764 = 0,567 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}),$$

а проектное:

$$K_m^{tr} = 1/1,985 = 0,504 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Величина воздухообмена в жилых помещениях по [2] принимается $3A_v$:

$$L_v = 3 \cdot 856,8 = 2570,4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена в здании по приточному воздуху в жилые помещения по формуле (1.17) равна

$$n_a = \frac{\frac{2570,4 \cdot 168}{168}}{0,85 \cdot 4682,4} = 0,646 \text{ ч}^{-1}.$$

Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, определяется по формуле (1.19)

$$K_m^{\text{inf}} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,646 \cdot 0,85 \cdot 4682,4 \cdot 1,3 \cdot 0,8 / 2190,42 = 0,352 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Нормативное значение общего коэффициента теплопередачи здания по формуле (1.20) равно

$$K_m = 0,567 + 0,352 = 0,919 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}),$$

а проектное значение

$$K_m = 0,504 + 0,352 = 0,856 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период найдем по формуле (1.22), нормативное значение:

$$Q_h = 0,0864 \cdot 0,919 \cdot 4183 \cdot 2190,42 = 727555,78 \text{ МДж},$$

проектное значение:

$$Q_h = 0,0864 \cdot 0,856 \cdot 4183 \cdot 2190,42 = 677594,5 \text{ МДж}.$$

По рекомендациям [4] принимаем величину удельных бытовых тепловыделений в здании $q_{\text{int}} = 10 \text{ Вт/м}^2$ и по формуле (1.23) находим бытовые тепlopоступления в течение отопительного периода:

$$Q_{\text{int}} = 0,0864 \cdot 10 \cdot 191 \cdot 856,8 = 141392,56 \text{ МДж}.$$

Здание имеет оконные проемы, выходящие на два фасада площадью $A_{F_2} = 136 \text{ м}^2$, $A_{F_4} = 137 \text{ м}^2$, зенитных фонарей в здании нет. Средняя за отопительный период величина солнечной радиации в климатической зоне г. Белгорода по методике [7] равна:

$$I_1 = 875 \text{ МДж/м}^2, I_2 = 47 \text{ МДж/м}^2, I_3 = 875 \text{ МДж/м}^2, I_4 = 2104 \text{ МДж/м}^2.$$

Коэффициент затенения непрозрачными элементами и коэффициент относительного пропускания солнечной радиации для однокамерного стеклопакета в одинарном пластиковом переплете из обычного стекла приняты по приложению Л к [7]:

$$\tau_F = 0,8; k_F = 0,76.$$

Тепlopоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, определим по формуле (1.24):

$$Q_s = 0,8 \cdot 0,76 (0 \cdot 875 + 136 \cdot 47 + 0 \cdot 875 + 137 \cdot 2104) = 179141,1 \text{ МДж}.$$

Коэффициент снижения тепlopоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций принят по [4] равным $\nu = 0,8$, коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в

системе отопления для однотрубной системы отопления с термостатами и центральным авторегулированием на вводе принят по [4] равным $\zeta = 0,9$, коэффициент, учитывающий дополнительное теплоснабжение системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплотериями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплотериями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения для зданий башенного типа принят по [4] равным $\beta_h = 1,11$.

Нормативную величину потребности в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период определим по формуле (1.21):

$$Q_h^y = [727555,78 - (141392,56 + 179141,1) \cdot 0,8 \cdot 0,9] \cdot 1,11 = 551416,39 \text{ МДж},$$

проектное значение равно:

$$Q_h^y = [677594,5 - (141392,56 + 179141,1) \cdot 0,8 \cdot 0,9] \cdot 1,11 = 495959,38 \text{ МДж}.$$

Проектные значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания определяется по формулам (1.25):

$$q_h^{des} = 10^3 \frac{495959,38}{1468 \cdot 4183} = 80,77 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}},$$

$$q_h^{des} = 10^3 \frac{495959,38}{4682,4 \cdot 4183} = 25,32 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}}.$$

Нормативные значения удельного расхода тепловой энергии на отопление жилого 9-ти этажного приняты по табл. 9 [4]:

$$q_h^{req} = 76 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}}$$

$$q_h^{req} = 27,5 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}}.$$

Определим отклонения нормативных и проектных значений удельного расхода тепловой энергии:

$$\Delta q_h = \frac{80,77 - 76}{76} 100\% = 6,27\%; \Delta q_h = \frac{25,32 - 27,5}{27,5} 100\% = -7,92\%,$$

различие в отклонениях удельного расхода тепловой энергии по площади и объему здания объяснимы отклонением коэффициента компактности здания от рекомендуемого в [4].

Значения отклонений удельного расхода тепловой энергии, согласно табл. 3 [4] позволяют отнести рассматриваемое здание к классу энергетической эффективности «С» – нормальный.

Доработка проекта здания не требуется, рекомендаций по повышению энергетической эффективности приводить в энергетическом паспорте не требуется.

Таблица 1.11

Энергетический паспорт здания. Пример заполнения для РГЗ№1

Энергетический паспорт здания по СНиП 23-02-2003

Общая информация

Дата заполнения (год, месяц, число)	гггг.мм.чч
Адрес здания	-
Разработчик проекта	ФИО
Адрес и телефон разработчика	-
Шифр проекта	-

Расчетные условия

N п. п.	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура внутреннего воздуха	t_{int}	°C	20
2	Расчетная температура наружного воздуха	t_{ext}	°C	-23
3	Расчетная температура теплого чердака	t_c	°C	14
4	Расчетная температура техподполья	t_c	°C	2
5	Продолжительность отопительного периода	z_{ht}	сут.	191
6	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t_{nt}	°C	-1,9
7	Градусо-сутки отопительного периода	D_{dt}	°C·сут	4182,9

Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

8	Назначение	жилое
9	Размещение в застройке	в застройке
10	Тип	башенный
11	Конструктивное решение	железобетонное, крупнопанельное

Геометрические и теплоэнергетические показатели

№ п. п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6
Геометрические показатели					
12	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания	A_e^{sum} , м ²	-	2190,42	-
	в том числе:				
	стен	$A_{вн}$, м ²	-	1601	-
	окон и балконных дверей	A_{F_1} , м ²	-	273	-
	витражей	A_{F_2} , м ²	-	-	-
	фонарей	A_{F_3} , м ²	-	-	-
	входных дверей и ворот	$A_{едв}$, м ²	-	2,42	-
	покрытий (совмещенных)	$A_{с_1}$, м ²	-	-	-
	чердачных перекрытий (холодного чердака)	$A_{с_2}$, м ²	-	-	-
	перекрытий теплых чердаков	$A_{с_3}$, м ²	-	157	-
	перекрытий над техподпольями	A_{F_4} , м ²	-	-	-
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	A_{F_5} , м ²	-	157	-
	перекрытий над проездами и под эркерами	A_{F_6} , м ²	-	-	-
	пола по грунту	A_{F_7} , м ²	-	-	-
13	Площадь квартир	A_{b_1} , м ²	-	1468	-
14	Полезная площадь (общественных зданий)	A_{b_2} , м ²	-	-	-

1	2	3	4	5	6
15	Площадь жилых помещений	A_b м ²	-	856,8	-
16	Расчетная площадь (общественных зданий)	A_b м ²	-	-	-
17	Отапливаемый объем	V_b м ³	-	4682,4	-
18	Коэффициент остекления фасада	f	0,18	0,146	-
19	Показатель компактности здания	k_e^{des}	0,32	0,468	-
Теплоэнергетические показатели					
Теплотехнические показатели					
20	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений	R_o^r м ² ·°C/Вт	1,764	1,985	-
	стен	R_w	2,86	3,57	-
	окон и балконных дверей	R_F	0,46	0,48	-
	витражей	R_F	-	-	-
	фонарей	R_F	-	-	-
	входных дверей и ворот	R_{ed}	1,716	1,8	-
	покрытий (совмещенных)	R_c	-	-	-
	чердачных перекрытий (холодного чердака)	R_c	-	-	-
	перекрытий теплых чердаков (включая покрытие)	R_c	3,61	3,67	-
	перекрытий над техподпольями	R_f	-	-	-
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	R_f	3,6	3,72	-
	перекрытий над проездами и под эркерами	R_f	-	-	-

1	2	3		4	5	6
	пола по грунту	R_f		-	-	-
21	Приведенный коэффициент теплопередачи здания	K_m^{tr}	Вт/(м ² ·°C)	0,567	0,504	-
22	Кратность воздухообмена здания за отопительный период	$n_{об}$	ч ⁻¹	0,665	0,665	-
	Кратность воздухообмена при испытаниях (при 50 Па)	n_{50}	ч ⁻¹	-	-	-
23	Условный коэффициент теплопередачи, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации	K_m^{inf}	Вт/(м ² ·°C)	0,352	0,352	-
24	Общий коэффициент теплопередачи здания	K_m	Вт/(м ² ·°C)	0,919	0,856	-
Энергетические показатели						
25	Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период	Q_{hw}	МДж	727555,78	677594,50	-
26	Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{инб}$	Вт/м ²	10,00	10,00	-
27	Бытовые теплопоступления в здание за отопительный период	$Q_{инб}$	МДж	141392,56	141392,56	-
28	Теплопоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период	Q_{sr}	МДж	179141,12	179141,12	-
29	Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	Q_{h}^{y}	МДж	551416,39	495959,38	-
	Расчетное число человек в здании	m	чел	43	43	-
	Количество приточного воздуха в здание:	L_v	м ³ /ч	2570,4	2570,4	-

1	2	3		4	5	6
	жилых зданий с учетом социальной нормы за-селенности			2570,4	2570,4	-
	жилых зданий других			1290	1290	-
	офисных, объектов сер-висного обслуживания			0	0	-
	учреждений здраво-охранения и образова-ния			0	0	-
	спортивных, зрелищных и детских дошкольных учреждений			0	0	-
	Число часов работы механической вентиля-ции в течении недели	n_v	час	168	168	-
	Количество инфильт-рующего воздуха в здание через ограж-дающие конструкции:	G_{inf}	кг/ч	127	127	-
	для жилых зданий			127	127	-
	для общественных зда-ний			0	0	-
	Число часов инфильт-рации в течении недели	n_{inf}	час	168	168	-
	Коэффициент затенения световых проемов	τ_F		0,8	0,8	-
	Коэффициент затенения зенитных фонарей	$\tau_{сз}$		0,8	0,8	-
	Коэффициент относи-тельного проникания солнечной радиации для светопропускаю-щих заполнений окон	k_F		0,76	0,76	-

1	2	3		4	5	6
	Коэффициент относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений зенитных фонарей	$k_{\text{сц}}$		0,76	0,76	-
	Площади световых проемов здания по сторонам света	A_{F1}	м^2	0	0	-
		A_{F2}	м^2	136	136	-
		A_{F3}	м^2	0	0	-
		A_{F4}	м^2	137	137	-
	Площадь световых проемов зенитных фонарей	$A_{\text{сц}}$	м^2	0	0	-
	Средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности по фасадам здания	I_1	МДж/м^2	875	875	-
		I_2	МДж/м^2	47	47	-
		I_3	МДж/м^2	875	875	-
		I_4	МДж/м^2	2104	2104	-
	Средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности по фасадам здания	$I_{\text{гор}}$	МДж/м^2	1132	1132	-

Коэффициенты

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Фактическое значение показателя
30	Расчетный коэффициент энергетической эффективности системы централизованного теплоснабжения здания от источника теплоты	ε_0^{des}	-	-
31	Расчетный коэффициент энергетической эффективности поквартирных и автономных систем теплоснабжения здания от источника теплоты	ε_{dec}	-	-
32	Коэффициент эффективности авторегулирования	ζ	0,9	-
33	Коэффициент учета встречного потока	k	0,8	-
34	Коэффициент учета дополнительного теплоснабжения	β_h	1,11	-

Комплексные показатели

Комплексные показатели					
35	Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	$q_{h, des}$,	кДж/(м ² ·°C·сут)	80,7686029	
			кДж/(м ³ ·°C·сут)	25,3221231	
36	Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания	$q_{h, req}$,	кДж/(м ² ·°C·сут)	76	
			кДж/(м ³ ·°C·сут)	27,5	
37	Класс энергетической эффективности			С	
38	Соответствует ли проект здания нормативному требованию			соответствует	
39	Дорабатывать ли проект здания			нет	

Указания по повышению энергетической эффективности здания

40	Рекомендуем:	-
----	--------------	---

41	Паспорт заполнен:	ГГГГ.ММ.ЧЧ
	Организация	-
	Адрес и телефон	-
	Ответственный исполнитель	ФИО

Контрольные вопросы к главе 1

1. Основные цели нормирования тепловой защиты зданий.
2. Показатели нормирования тепловой защиты зданий.
3. Требования к тепловой защите зданий в РФ.
4. Физический смысл величины термического сопротивления ограждения, расчет термического сопротивления многослойного ограждения.
5. Санитарно-гигиенические требования к термическому сопротивлению ограждений.
6. Теплоэнергетические требования к термическому сопротивлению ограждений.
7. Нормирование термического сопротивления вертикальных несветопроницаемых ограждений.
8. Нормирование термического сопротивления заполнения светопрозрачных проемов, балконных и наружных дверей.
9. Нормирование термического сопротивления перекрытий здания.
10. Нормирование термического сопротивления покрытий здания.
11. Понятие и нормирование коэффициента остекления.
12. Понятие и нормирование коэффициента компактности здания.
13. Нормирование удельного расхода тепловой энергии на отопление здания.
14. Понятие класса энергоэффективности здания.
15. Установление и нормирование класса энергоэффективности здания.
16. Расчет жилой, полезной площади зданий, строительного и отапливаемого объемов.
17. Физический смысл и расчет приведенного трансмиссионного коэффициента теплопередачи здания.
18. Нормирование и расчет воздухообмена в жилых зданиях.
19. Нормирование и расчет воздухообмена в общественных зданиях.

20. Понятие инфильтрации наружного воздуха и расчет объема инфильтрующегося воздуха.
21. Затраты тепла на нагрев поступающего в помещения воздуха.
22. Физический смысл и расчет приведенного общего коэффициента теплопередачи здания.
23. Расчет общих теплопотерь здания через ограждающую оболочку.
24. Классификация теплопоступлений в помещения жилых и общественных зданий.
25. Бытовые теплопоступления в жилых зданиях, нормирование и расчет.
26. Теплопоступления от солнечной радиации.
27. Способы уменьшения теплопоступлений от солнечной радиации.
28. Способы компенсационного уменьшения теплоотдачи отопительных систем.
29. Использование теплопоступлений в помещениях для уменьшения потребности в тепле здания.
30. Способы климатического регулирования отопительных систем: центральное, групповое и местное регулирование.
31. Влияние способа регулирования отопительных систем тепловой режим помещения и зданий.
32. Расчет годовой потребности в тепловой энергии на отопление здания.
33. Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания.
34. Порядок назначения класса энергоэффективности.
35. Разработка рекомендаций по повышению класса энергоэффективности здания.

2. Регулирование теплоотдачи систем отопления в отопительном сезоне

Расчет систем отопления жилых и общественных зданий производится при характерной минимальной температуре наружного воздуха для региона строительства – температуре холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92 [9, 3]. В течение отопительного сезона температура наружного воздуха меняется в пределах от 8 °С до расчетной температуры, и, следовательно, меняются теплопотери обслуживаемых системой отопления помещений. Кроме того, при изменении температуры наружного воздуха изменяются затраты тепла на нагрев инфильтрационного воздуха при естественной вентиляции зданий. Изменение теплопотерь здания в течение отопительного периода приводит к необходимости пропорционального изменения теплоотдачи систем отопления.

Изменение тепловых потоков через ограждения в течение отопительного периода связано, в первую очередь, с изменением величины температурного перепада между внутренним и наружным воздухом. При этом, вертикальные ограждения, отделяющие отапливаемые помещения от наружного воздуха, подвергаются наибольшим колебаниям температуры, а перекрытия подвала и технического этажа, практически, подвергаются незначительным изменениям температуры.

2.1. Структура трансмиссионных теплопотерь здания в течение отопительного периода

Целью расчета теплопотерь в помещениях при проектировании систем отопления является определение количества передаваемой в окружающую среду теплоты при расчетной температуре наружного воздуха. В жилых зданиях, учитывают потери теплоты через ограждающие конструкции; расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха; удельный тепловой поток, регулярно поступающий от электрических приборов, освещения, людей и других источников. Результаты расчета теплопотерь представляют, чаще всего, в виде таблицы.

Основные (трансмиссионные) теплопотери через ограждения определяют по формуле:

$$Q_T = kF(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})n, \quad (2.1)$$

где k – коэффициент теплопередачи ограждения $K=1/R$, Вт/(м²·К);
 F – площадь ограждения, м²;

n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху и принимаемый по табл. 1.3. или формуле (1.3)

Дополнительные теплопотери, определяемые ориентацией ограждения по сторонам света определяют по формуле:

$$Q_{\text{д.ор.}} = \beta_{\text{д.ор.}} Q_{\text{т}}, \quad (2.2)$$

где $\beta_{\text{д.ор.}}$ – коэффициент, учитывающий ориентацию ограждения по сторонам света, определяемый по рис. 2.1.

Дополнительные теплопотери, возникающие в помещениях с двумя и более наружными стенами учитывают при помощи добавочного коэффициента $\beta_{\text{д.д.}}$, равного 0,05 для всех вертикальных ограждающих конструкций помещения.

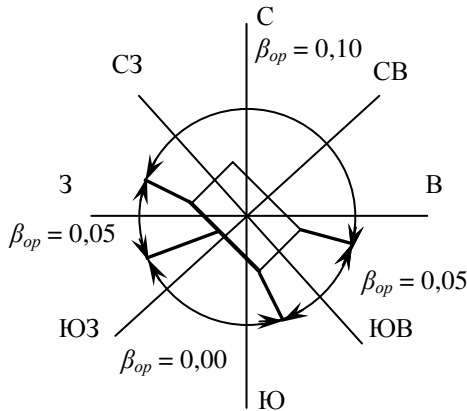


Рис. 2.1. Значение коэффициента добавок на ориентацию по сторонам света

В жилых и общественных зданиях можно выделить 6 групп помещений по составу трансмиссионных теплопотерь:

- угловые помещения первого этажа – теплопотери через 2 стены и пол;
- центральные помещения первого этажа – теплопотери через 1 стену и пол;
- угловые помещения типового этажа – теплопотери через 2 стены;
- центральные помещения типового этажа – теплопотери через 1 стену;

- угловые помещения последнего этажа – теплопотери через 2 стены и потолок;
- центральные помещения последнего этажа – теплопотери через 1 стену и потолок.

Рассмотрим угловую и смежную с ней жилые комнаты 1-го, типового и последнего этажей из курсового проекта «Отопление жилого дома». В курсовом проекте определены теплопотери помещений при расчетной температуре наружного воздуха региона застройки, представленные в табл. 2.1. В качестве примера рассмотрим помещения 207 и 208, ориентированные на юг фасадной и запад торцевой стенами здания – рис. 2.2. Здание располагается в климатической зоне г. Белгорода, расчетная температура для систем отопления $t_{\text{ext}} = -23^\circ\text{C}$.

Таблица 2.1

Расчетные теплопотери помещений

Номер помещения и его назначение	Температура внутреннего воздуха $t_{\text{вн}}, ^\circ\text{C}$	Характеристика ограждения				Расчетная температура наружного воздуха $t_{\text{нар}}, ^\circ\text{C}$	Расчетная разность температур $t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопередачи $k, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$	Коэффициент η	Основные теплопотери $Q_{\text{т}}, \text{Вт}$	Дополнительные теплопотери			Суммарные дополнительные теплопотери, Вт	Теплопотери с учетом добавок, Вт	Расход тепла на нагрев инфильтрованного воздуха, Вт	Бытовые тепловыделения, Вт	Полные теплопотери, Вт
		Наименование	Ориентация	Размеры а x в x м	Площадь $F, \text{м}^2$						с учетом ориентации, %	при наличии двух и более стен, Вт	на открытие дверей, Вт					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
107	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-23	43	0,347	1	225,72	5	5		22,57	248,30			248,30
жилое	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-23	43	0,347	1	118,29	0	5		5,91	124,21			124,21
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-23	43	1,93	1	185,9	0	5		9,29	195,19			195,19
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	20	0	0,26	0,9	56,862	0			0	56,86	589,83	135	511,69
										586,78				37,78	624,56	589,83	135	1079,39
108	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-23	43	0,347	1	166,52	0			0	166,52			166,52
жилое	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-23	43	1,93	1	162,66	0			0	162,66			162,66
	20	ДО	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-23	43	0,965	1	82,16	0			0	82,16			82,16
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	2	18	0,26	0,9	78,849	0			0	78,85	817,89	187	709,54
										490,19				0	490,19	817,89	187	1120,88
207	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-23	43	0,347	1	225,72	5	5		22,57	248,30			248,30
жилое	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-23	43	0,347	1	118,29	0	5		5,91	124,21			124,21
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-23	43	1,93	1	185,9	0	5		9,29	195,19			195,19
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	20	0	0,26	0,9	56,862	0			0	0,00	589,83	135	454,83
										529,92				37,78	567,70	589,83	135	1022,52
208	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-23	43	0,347	1	166,52	0			0	166,52			166,52
жилое	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-23	43	1,93	1	162,66	0			0	162,66			162,66
	20	ДО	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-23	43	0,965	1	82,16	0			0	82,16			82,16
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	20	0	0,26	0,9	78,849	0			0	0,00	817,89	187	630,69
										411,34				0	411,34	817,89	187	1042,03
907	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-23	43	0,347	1	225,72	5	5		22,57	248,30			248,30
жилое	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-23	43	0,347	1	118,29	0	5		5,91	124,21			124,21
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-23	43	1,93	1	185,9	0	5		9,29	195,19			195,19
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	14	6	1,27	0,9	92,583	0			0	92,58	589,83	135	547,41
										622,5				37,78	660,28	589,83	135	1115,11
908	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-23	43	0,347	1	166,52	0			0	166,52			166,52
жилое	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-23	43	1,93	1	162,66	0			0	162,66			162,66
	20	ДО	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-23	43	0,965	1	82,16	0			0	82,16			82,16
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	14	6	1,27	0,9	128,38	0			0	128,38	817,89	187	759,07
										539,72				0	539,72	817,89	187	1170,41

Определим трансмиссионные теплопотери помещений при температурах наружного воздуха $-20, -10, 0, 8^\circ\text{C}$. При этом температура воздуха в подвале при $t_{\text{ext}} = -20, -10, 0^\circ\text{C}$ считается постоянной и

равной $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при $t_{\text{ext}} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ - равной $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха в техническом этаже считается равной $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение всего отопительного периода. Бытовые тепловыделения, также, принимаем постоянными в течение отопительного периода.

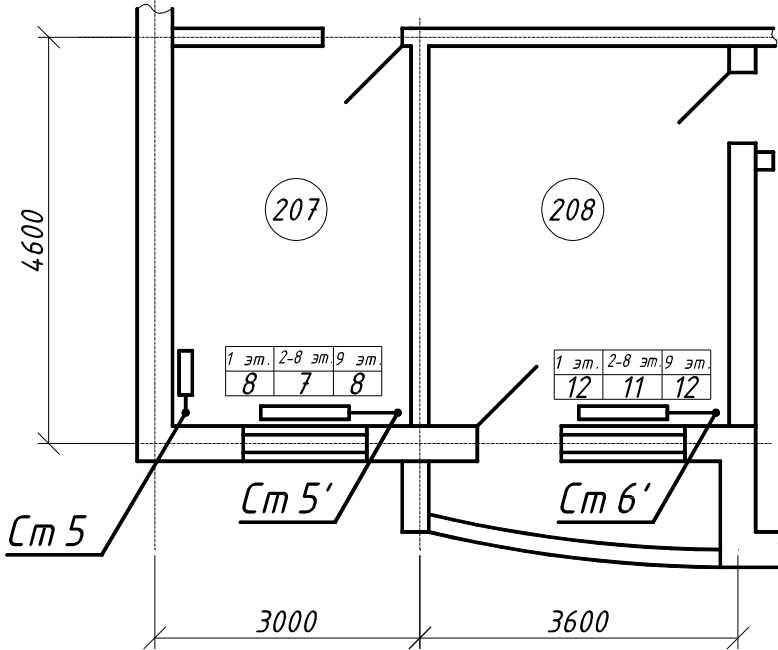


Рис. 2.2. Планировка расчетных помещений

Результаты расчетов сведем в табл. 2.2.

Из табл. 2.2 видно, что при температуре наружного воздуха $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в центральных помещениях бытовые тепловыделения превышают трансмиссионные теплопотери.

Сведем годовое изменение трансмиссионных теплопотерь помещений в табл. 2.3 и построим графики изменения теплопотерь от температуры наружного воздуха (рис. 2.3).

Таблица 2.2

Расчет годового изменения трансмиссионных теплопотерь помещений

Номер помещения и его назначение	Температура внутреннего воздуха $t_{вн}, ^\circ\text{C}$	Характеристика ограждения				Расчетная температура наружного воздуха $t_{нр}, ^\circ\text{C}$	Расчетная разность температур $t_{вн} - t_{нр}, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопередачи $K, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	Коэффициент η	Основные теплопотери $Q_{т}, \text{Вт}$	Дополнительные теплопотери			Суммарные дополнительные теплопотери, Вт	Теплопотери с учетом добавок, Вт	Расход тепла на нагрев инфильтрационного воздуха, Вт	Бытовые тепловыделения, Вт	Полные теплопотери, Вт
		Наименование	Ориентация	Размеры а x b, м	Площадь $F, \text{м}^2$						с учетом	оменщщ, %	при наличии двух и более стен, Вт					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
107 жилое	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-20	40	0,347	1	209,98	5	5		21,00	230,97			230,97
	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-20	40	0,347	1	110,04	0	5		5,50	115,54			115,54
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-20	40	1,93	1	172,93	0	5		8,65	181,57			181,57
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	2	18	0,26	0,9	56,862	0			0	56,86	135		-78,14
										549,81				35,15	584,95		135	449,95
108 жилое	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-20	40	0,347	1	154,9	0			0	154,90			154,90
	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-20	40	1,93	1	151,31	0			0	151,31			151,31
	20	Д6	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-20	40	0,965	1	76,428	0			0	76,43			76,43
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	2	18	0,26	0,9	78,849	0			0	78,85	187		-108,35
										461,49				0	461,49		187	274,29
207 жилое	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-20	40	0,347	1	209,98	5	5		21,00	230,97			230,97
	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-20	40	0,347	1	110,04	0	5		5,50	115,54			115,54
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-20	40	1,93	1	172,93	0	5		8,65	181,57			181,57
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	20	0	0,26	0,9	0	0			0	0,00	135		-135,00
										492,95				35,15	528,09		135	393,09
208 жилое	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-20	40	0,347	1	154,9	0			0	154,90			154,90
	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-20	40	1,93	1	151,31	0			0	151,31			151,31
	20	Д6	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-20	40	0,965	1	76,428	0			0	76,43			76,43
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	20	0	0,26	0,9	0	0			0	0,00	187		-187,20
										382,64				0	382,64		187	195,44
907 жилое	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-20	40	0,347	1	209,98	5	5		21,00	230,97			230,97
	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-20	40	0,347	1	110,04	0	5		5,50	115,54			115,54
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-20	40	1,93	1	172,93	0	5		8,65	181,57			181,57
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	14	6	1,27	0,9	92,583	0			0	92,58	135		-42,42
										585,53				35,15	620,67		135	485,67
908 жилое	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-20	40	0,347	1	154,9	0			0	154,90			154,90
	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-20	40	1,93	1	151,31	0			0	151,31			151,31
	20	Д6	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-20	40	0,965	1	76,428	0			0	76,43			76,43
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	14	6	1,27	0,9	128,38	0			0	128,38	187		-58,82
										511,02				0	511,02		187	323,82
107 жилое	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-10	30	0,347	1	157,48	5	5		15,75	173,23			173,23
	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-10	30	0,347	1	82,53	0	5		4,13	86,66			86,66
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-10	30	1,93	1	129,7	0	5		6,48	136,18			136,18
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	2	18	0,26	0,9	56,862	0			0	56,86	135		-78,14
										426,57				26,36	452,93		135	317,93
108 жилое	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-10	30	0,347	1	116,18	0			0	116,18			116,18
	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-10	30	1,93	1	113,48	0			0	113,48			113,48
	20	Д6	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-10	30	0,965	1	57,321	0			0	57,32			57,32
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	2	18	0,26	0,9	78,849	0			0	78,85	187		-108,35
										365,83				0	365,83		187	178,63
207 жилое	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-10	30	0,347	1	157,48	5	5		15,75	173,23			173,23
	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-10	30	0,347	1	82,53	0	5		4,13	86,66			86,66
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-10	30	1,93	1	129,7	0	5		6,48	136,18			136,18
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	20	0	0,26	0,9	0	0			0	0,00	135		-135,00
										369,71				26,36	396,07		135	261,07
208 жилое	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-10	30	0,347	1	116,18	0			0	116,18			116,18
	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-10	30	1,93	1	113,48	0			0	113,48			113,48
	20	Д6	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-10	30	0,965	1	57,321	0			0	57,32			57,32
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	20	0	0,26	0,9	0	0			0	0,00	187		-187,20
										286,98				0	286,98		187	99,78
907 жилое	20	НС	З	4,88 x 3,1	15,1	-10	30	0,347	1	157,48	5	5		15,75	173,23			173,23
	20	НС	Ю	3,28 x 3,1	7,93	-10	30	0,347	1	82,53	0	5		4,13	86,66			86,66
	20	ДО	Ю	1,6 x 1,4	2,24	-10	30	1,93	1	129,7	0	5		6,48	136,18			136,18
	20	Пл		3 x 4,5	13,5	14	6	1,27	0,9	92,583	0			0	92,58	135		-42,42
										462,29				26,36	488,65		135	353,65
908 жилое	20	НС	Ю	3,6 x 3,1	11,2	-10	30	0,347	1	116,18	0			0	116,18			116,18
	20	ДО	Ю	1,4 x 1,4	1,96	-10	30	1,93	1	113,48	0			0	113,48			113,48
	20	Д6	Ю	0,9 x 2,2	1,98	-10	30	0,965	1	57,321	0			0	57,32			57,32
	20	Пл		5,2 x 3,6	18,7	14	6	1,27	0,9	128,38	0			0	128,38	187		-58,82
										415,36				0	415,36		187	228,16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
107	20	НС	З	4,88	х	3,1	15,1	0	20	0,347	1	104,99	5	5	10,50	115,49		115,49
жилое	20	НС	Ю	3,28	х	3,1	7,93	0	20	0,347	1	55,02	0	5	2,75	57,77		57,77
	20	ДО	Ю	1,6	х	1,4	2,24	0	20	1,93	1	86,464	0	5	4,32	90,79		90,79
	20	Пл		3	х	4,5	13,5	2	18	0,26	0,9	56,862	0		0	56,86	135	-78,14
											303,33				17,57	320,91	135	185,91
108	20	НС	Ю	3,6	х	3,1	11,2	0	20	0,347	1	77,45	0		0	77,45		77,45
жилое	20	ДО	Ю	1,4	х	1,4	1,96	0	20	1,93	1	75,656	0		0	75,66		75,66
	20	Д6	Ю	0,9	х	2,2	1,98	0	20	0,965	1	38,214	0		0	38,21		38,21
	20	Пл		5,2	х	3,6	18,7	2	18	0,26	0,9	78,849	0		0	78,85	187	-108,35
											270,17				0	270,17	187	82,97
207	20	НС	З	4,88	х	3,1	15,1	0	20	0,347	1	104,99	5	5	10,50	115,49		115,49
жилое	20	НС	Ю	3,28	х	3,1	7,93	0	20	0,347	1	55,02	0	5	2,75	57,77		57,77
	20	ДО	Ю	1,6	х	1,4	2,24	0	20	1,93	1	86,464	0	5	4,32	90,79		90,79
	20	Пл		3	х	4,5	13,5	20	0	0,26	0,9	0	0		0	0,00	135	-135,00
											246,47				17,57	264,05	135	129,05
208	20	НС	Ю	3,6	х	3,1	11,2	0	20	0,347	1	77,45	0		0	77,45		77,45
жилое	20	ДО	Ю	1,4	х	1,4	1,96	0	20	1,93	1	75,656	0		0	75,66		75,66
	20	Д6	Ю	0,9	х	2,2	1,98	0	20	0,965	1	38,214	0		0	38,21		38,21
	20	Пл		5,2	х	3,6	18,7	20	0	0,26	0,9	0	0		0	0,00	187	-187,20
											191,32				0	191,32	187	4,12
907	20	НС	З	4,88	х	3,1	15,1	0	20	0,347	1	104,99	5	5	10,50	115,49		115,49
жилое	20	НС	Ю	3,28	х	3,1	7,93	0	20	0,347	1	55,02	0	5	2,75	57,77		57,77
	20	ДО	Ю	1,6	х	1,4	2,24	0	20	1,93	1	86,464	0	5	4,32	90,79		90,79
	20	Пт		3	х	4,5	13,5	14	6	1,27	0,9	92,583	0		0	92,58	135	-42,42
											339,06				17,57	356,63	135	221,63
908	20	НС	Ю	3,6	х	3,1	11,2	0	20	0,347	1	77,45	0		0	77,45		77,45
жилое	20	ДО	Ю	1,4	х	1,4	1,96	0	20	1,93	1	75,656	0		0	75,66		75,66
	20	Д6	Ю	0,9	х	2,2	1,98	0	20	0,965	1	38,214	0		0	38,21		38,21
	20	Пт		5,2	х	3,6	18,7	14	6	1,27	0,9	128,38	0		0	128,38	187	-58,82
											319,70				0	319,70	187	132,50
107	20	НС	З	4,88	х	3,1	15,1	8	12	0,347	1	62,993	5	5	6,30	69,29		69,29
жилое	20	НС	Ю	3,28	х	3,1	7,93	8	12	0,347	1	33,012	0	5	1,65	34,66		34,66
	20	ДО	Ю	1,6	х	1,4	2,24	8	12	1,93	1	51,878	0	5	2,59	54,47		54,47
	20	Пл		3	х	4,5	13,5	8	12	0,26	0,9	37,908	0		0	37,91	135	-97,09
											185,79				10,54	196,34	135	61,34
108	20	НС	Ю	3,6	х	3,1	11,2	8	12	0,347	1	46,47	0		0	46,47		46,47
жилое	20	ДО	Ю	1,4	х	1,4	1,96	8	12	1,93	1	45,394	0		0	45,39		45,39
	20	Д6	Ю	0,9	х	2,2	1,98	8	12	0,965	1	22,928	0		0	22,93		22,93
	20	Пл		5,2	х	3,6	18,7	8	12	0,26	0,9	52,566	0		0	52,57	187	-134,63
											167,36				0	167,36	187	-19,84
207	20	НС	З	4,88	х	3,1	15,1	8	12	0,347	1	62,993	5	5	6,30	69,29		69,29
жилое	20	НС	Ю	3,28	х	3,1	7,93	8	12	0,347	1	33,012	0	5	1,65	34,66		34,66
	20	ДО	Ю	1,6	х	1,4	2,24	8	12	1,93	1	51,878	0	5	2,59	54,47		54,47
	20	Пл		3	х	4,5	13,5	20	0	0,26	0,9	0	0		0	0,00	135	-135,00
											147,88				10,54	158,43	135	23,43
208	20	НС	Ю	3,6	х	3,1	11,2	8	12	0,347	1	46,47	0		0	46,47		46,47
жилое	20	ДО	Ю	1,4	х	1,4	1,96	8	12	1,93	1	45,394	0		0	45,39		45,39
	20	Д6	Ю	0,9	х	2,2	1,98	8	12	0,965	1	22,928	0		0	22,93		22,93
	20	Пл		5,2	х	3,6	18,7	20	0	0,26	0,9	0	0		0	0,00	187	-187,20
											114,79				0	114,79	187	-72,41
907	20	НС	З	4,88	х	3,1	15,1	8	12	0,347	1	62,993	5	5	6,30	69,29		69,29
жилое	20	НС	Ю	3,28	х	3,1	7,93	8	12	0,347	1	33,012	0	5	1,65	34,66		34,66
	20	ДО	Ю	1,6	х	1,4	2,24	8	12	1,93	1	51,878	0	5	2,59	54,47		54,47
	20	Пт		3	х	4,5	13,5	14	6	1,27	0,9	92,583	0		0	92,58	135	-42,42
											240,47				10,54	251,01	135	116,01
908	20	НС	Ю	3,6	х	3,1	11,2	8	12	0,347	1	46,47	0		0	46,47		46,47
жилое	20	ДО	Ю	1,4	х	1,4	1,96	8	12	1,93	1	45,394	0		0	45,39		45,39
	20	Д6	Ю	0,9	х	2,2	1,98	8	12	0,965	1	22,928	0		0	22,93		22,93
	20	Пт		5,2	х	3,6	18,7	14	6	1,27	0,9	128,38	0		0	128,38	187	-58,82
											243,17				0	243,17	187	55,97

Таблица 2.3

Годовое изменение трансмиссионных теплотерь помещений

Помещение	Температура наружного воздуха				
	-23	-20	-10	0	8
107	489,56	449,95	317,93	185,91	61,34
108	302,99	274,29	178,63	82,97	-19,84
207	432,70	393,09	261,07	129,05	23,43
208	224,14	195,44	99,78	4,12	-72,41
907	525,28	485,67	353,65	221,63	116,01
908	352,52	323,82	228,16	132,50	55,97

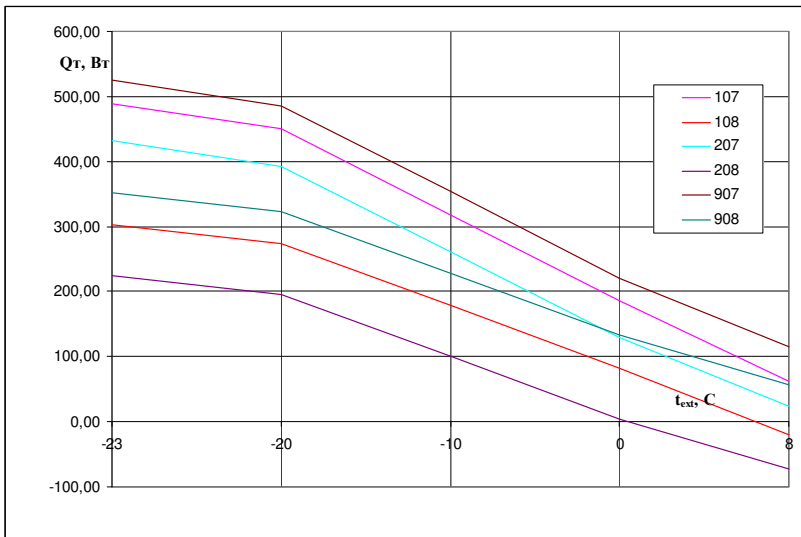


Рис. 2.3. Графики изменения трансмиссионных теплотерь помещений в течение отопительного периода

2.2. Расход тепла на нагрев вентиляционного воздуха в течение отопительного периода

В проектируемом жилом доме предусматривается наиболее распространенная в массовом строительстве естественная вентиляция. Естественная вентиляция зданий осуществляется за счет гравитацион-

ного движения теплого воздуха из квартир по вентиляционным шахтам в окружающую среду. Наружный воздух, в свою очередь, за счет возникающего в помещении разряжения через неплотности и проемы поступает в помещения. Процесс естественного вентилирования помещений за счет гравитационного движения воздуха называется инфильтрацией. Инфильтрующийся в помещения воздух имеет температуру наружного и нуждается в подогреве. При проектировании систем отопления зданий с естественной вентиляцией тепловой поток, необходимый для подогрева инфильтрующегося воздуха, закладывается в тепловой расчет отопительных приборов.

Согласно [9] на 1 м² жилой площади комнат и кухонь жилого дома должно приходиться 3 м³/ч наружного воздуха для квартир с жилой площадью менее 20 м² на 1 человека. Таким образом, для каждого жилого помещения квартиры и для кухни, исходя из их площади, рассчитывается количество поступающего наружного воздуха.

Расход тепла на нагрев инфильтрационного воздуха составляет, кВт:

$$Q_{инф} = c \rho_e L (t_{int} - t_{ext}), \quad (2.3)$$

где c – изобарная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C): ($c = 1,05$ кДж/(кг·°C));

ρ_e – плотность воздуха, кг/м³;

L – расход поступающего в помещение воздуха, м³/с.

Расход тепла на нагрев инфильтрационного воздуха изменяется с изменением температуры наружного воздуха. Определим теплотепри расчетных помещений с учетом изменяющегося количества тепла на нагрев воздуха при температурах, принятых в табл. 2.2, результаты сведем в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Расчет годового изменения теплотер помещений

Номер помещения и его назначение	Температура внутреннего воздуха $t_{вн}, ^\circ\text{C}$	Характеристика ограждения				Расчетная температура наружного воздуха $t_{нр}, ^\circ\text{C}$	Расчетная разность температур $t_{вн} - t_{нр}, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопередачи $K, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$	Коэффициент η	Основные теплотеплот
----------------------------------	--	---------------------------	--	--	--	--	---	--	--------------------	--

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
107	20НС	З	4,88х	3,1	15,1	0	20	0,347	1	104,99	5	5		10,50	115,49			115,49
жилое	20НС	Ю	3,28х	3,1	7,93	0	20	0,347	1	55,02	0	5		2,75	57,77			57,77
	20ДО	Ю	1,6х	1,4	2,24	0	20	1,93	1	86,464	0	5		4,32	90,79			90,79
	20Пл		3х	4,5	13,5	2	18	0,26	0,9	56,862	0			0	56,86	274,34	135	196,20
										303,33				17,57	320,91	274,34	135	460,24
108	20НС	Ю	3,6х	3,1	11,2	0	20	0,347	1	77,45	0			0	77,45			77,45
жилое	20ДО	Ю	1,4х	1,4	1,96	0	20	1,93	1	75,656	0			0	75,66			75,66
	20Д6	Ю	0,9х	2,2	1,98	0	20	0,965	1	38,214	0			0	38,21			38,21
	20Пл		5,2х	3,6	18,7	2	18	0,26	0,9	78,849	0			0	78,85	380,41	187	272,06
										270,17				0	270,17	380,41	187	463,38
207	20НС	З	4,88х	3,1	15,1	0	20	0,347	1	104,99	5	5		10,50	115,49			115,49
жилое	20НС	Ю	3,28х	3,1	7,93	0	20	0,347	1	55,02	0	5		2,75	57,77			57,77
	20ДО	Ю	1,6х	1,4	2,24	0	20	1,93	1	86,464	0	5		4,32	90,79			90,79
	20Пл		3х	4,5	13,5	20	0	0,26	0,9	0	0			0	0,00	274,34	135	139,34
										246,47				17,57	264,05	274,34	135	403,38
208	20НС	Ю	3,6х	3,1	11,2	0	20	0,347	1	77,45	0			0	77,45			77,45
жилое	20ДО	Ю	1,4х	1,4	1,96	0	20	1,93	1	75,656	0			0	75,66			75,66
	20Д6	Ю	0,9х	2,2	1,98	0	20	0,965	1	38,214	0			0	38,21			38,21
	20Пл		5,2х	3,6	18,7	20	0	0,26	0,9	0	0			0	0,00	380,41	187	193,21
										191,32				0	191,32	380,41	187	384,53
907	20НС	З	4,88х	3,1	15,1	0	20	0,347	1	104,99	5	5		10,50	115,49			115,49
жилое	20НС	Ю	3,28х	3,1	7,93	0	20	0,347	1	55,02	0	5		2,75	57,77			57,77
	20ДО	Ю	1,6х	1,4	2,24	0	20	1,93	1	86,464	0	5		4,32	90,79			90,79
	20Пг		3х	4,5	13,5	14	6	1,27	0,9	92,583	0			0	92,58	274,34	135	231,92
										339,06				17,57	356,63	274,34	135	495,97
908	20НС	Ю	3,6х	3,1	11,2	0	20	0,347	1	77,45	0			0	77,45			77,45
жилое	20ДО	Ю	1,4х	1,4	1,96	0	20	1,93	1	75,656	0			0	75,66			75,66
	20Д6	Ю	0,9х	2,2	1,98	0	20	0,965	1	38,214	0			0	38,21			38,21
	20Пг		5,2х	3,6	18,7	14	6	1,27	0,9	128,38	0			0	128,38	380,41	187	321,60
										319,70				0	319,70	380,41	187	512,92
107	20НС	З	4,88х	3,1	15,1	8	12	0,347	1	62,993	5	5		6,30	69,29			69,29
жилое	20НС	Ю	3,28х	3,1	7,93	8	12	0,347	1	33,012	0	5		1,65	34,66			34,66
	20ДО	Ю	1,6х	1,4	2,24	8	12	1,93	1	51,878	0	5		2,59	54,47			54,47
	20Пл		3х	4,5	13,5	8	12	0,26	0,9	37,908	0			0	37,91	164,60	135	67,51
										185,79				10,54	196,34	164,60	135	225,94
108	20НС	Ю	3,6х	3,1	11,2	8	12	0,347	1	46,47	0			0	46,47			46,47
жилое	20ДО	Ю	1,4х	1,4	1,96	8	12	1,93	1	45,394	0			0	45,39			45,39
	20Д6	Ю	0,9х	2,2	1,98	8	12	0,965	1	22,928	0			0	22,93			22,93
	20Пл		5,2х	3,6	18,7	8	12	0,26	0,9	52,566	0			0	52,57	228,25	187	93,61
										167,36				0	167,36	228,25	187	208,41
207	20НС	З	4,88х	3,1	15,1	8	12	0,347	1	62,993	5	5		6,30	69,29			69,29
жилое	20НС	Ю	3,28х	3,1	7,93	8	12	0,347	1	33,012	0	5		1,65	34,66			34,66
	20ДО	Ю	1,6х	1,4	2,24	8	12	1,93	1	51,878	0	5		2,59	54,47			54,47
	20Пл		3х	4,5	13,5	20	0	0,26	0,9	0	0			0	0,00	164,60	135	29,60
										147,88				10,54	158,43	164,60	135	188,03
208	20НС	Ю	3,6х	3,1	11,2	8	12	0,347	1	46,47	0			0	46,47			46,47
жилое	20ДО	Ю	1,4х	1,4	1,96	8	12	1,93	1	45,394	0			0	45,39			45,39
	20Д6	Ю	0,9х	2,2	1,98	8	12	0,965	1	22,928	0			0	22,93			22,93
	20Пл		5,2х	3,6	18,7	20	0	0,26	0,9	0	0			0	0,00	228,25	187	41,05
										114,79				0	114,79	228,25	187	155,84
907	20НС	З	4,88х	3,1	15,1	8	12	0,347	1	62,993	5	5		6,30	69,29			69,29
жилое	20НС	Ю	3,28х	3,1	7,93	8	12	0,347	1	33,012	0	5		1,65	34,66			34,66
	20ДО	Ю	1,6х	1,4	2,24	8	12	1,93	1	51,878	0	5		2,59	54,47			54,47
	20Пг		3х	4,5	13,5	14	6	1,27	0,9	92,583	0			0	92,58	164,60	135	122,19
										240,47				10,54	251,01	164,60	135	280,61
908	20НС	Ю	3,6х	3,1	11,2	8	12	0,347	1	46,47	0			0	46,47			46,47
жилое	20ДО	Ю	1,4х	1,4	1,96	8	12	1,93	1	45,394	0			0	45,39			45,39
	20Д6	Ю	0,9х	2,2	1,98	8	12	0,965	1	22,928	0			0	22,93			22,93
	20Пг		5,2х	3,6	18,7	14	6	1,27	0,9	128,38	0			0	128,38	228,25	187	169,43
										243,17				0	243,17	228,25	187	284,22

Сведем годовое изменение теплотерм помещений в табл. 2.5 и построим графики изменения теплотерм от температуры наружного воздуха (рис. 2.4).

Таблица 2.5

Годовое изменение теплопотерь помещений

Помещение	Температура наружного воздуха				
	-23	-20	-10	0	8
107	1079,39	998,63	729,44	460,24	225,94
108	1120,88	1035,12	749,25	463,38	208,41
207	1022,52	941,77	672,57	403,38	188,03
208	1042,03	956,27	670,40	384,53	155,84
907	1115,11	1034,35	765,16	495,97	280,61
908	1170,41	1084,65	798,78	512,92	284,22

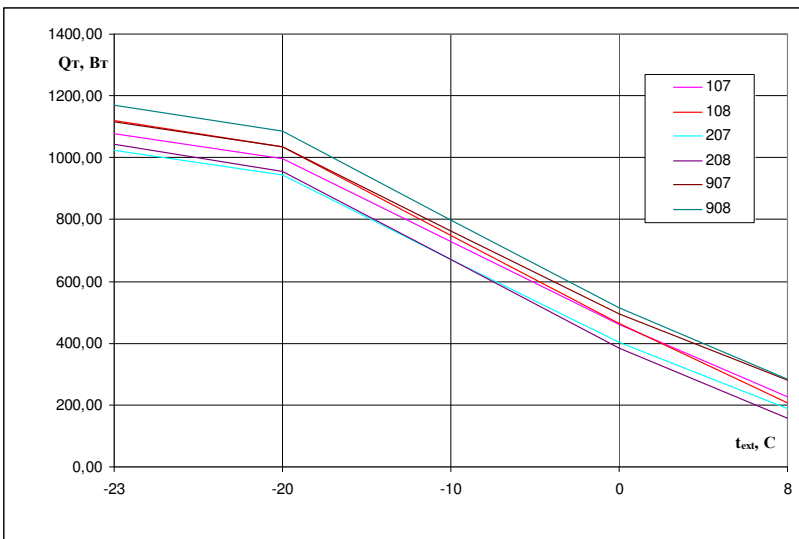


Рис. 2.4. Графики изменения теплопотерь помещений в течение отопительного периода

Из построенных графиков (рис. 2.4) видно, что изменение теплопотерь в помещениях жилого дома имеет линейных относительно температуры наружного воздуха характер, но наклон графиков для различных помещений различен ввиду разной структуры теплопотерь отдельных помещений

2.3. Расчет годового температурного графика систем отопления

Отопительные приборы в помещениях подбирают из условия компенсации теплопотерь в этих помещениях при расчетной температуре наружного воздуха. Для регулирования теплоотдачи систем отопления в течение отопительного сезона существуют два метода:

- качественный – путем изменения температуры теплоносителя;
- количественный – путем изменения расхода теплоносителя.

В настоящее время наибольшее распространение получил качественный способ, так как применение количественного способа приводит к гидравлическому разрегулированию систем отопления и возврату переохлажденного теплоносителя с систему теплоснабжения.

Применение качественного способа регулирования предусматривает разработку температурного графика системы отопления, показывающего зависимость температуры подаваемой в систему отопления воды от температуры наружного воздуха.

Тепловой поток радиатора Q , Вт, при условиях, отличных от нормальных (нормированных), определяется согласно рекомендациям компании «Витатерм» [15] по формуле

$$Q = Q_{ny} \left(\frac{\Theta}{70} \right)^{1+n} c \left(\frac{M_{np}}{0,1} \right)^m b \beta_3 p \quad (2.4)$$

где Q_{ny} – номинальные тепловой поток радиатора, Вт;

Θ – фактический температурный напор, °С, определяемый по формулам:

$$\Theta = \frac{t_n + t_k}{2} - t_{int} = t_n - \frac{\Delta t_{np}}{2} - t_{int} \quad (2.5)$$

где t_n и t_k – начальная и конечная температуры теплоносителя в отопительном приборе, °С;

t_{int} – расчетная температура воздуха в помещении, °С;

Δt_{np} – перепад температур теплоносителя в приборе, °С;

c – поправочный коэффициент на схему движения теплоносителя;

n, m – эмпирические показатели степени;

M_{np} – фактический расход теплоносителя через прибор, кг/с;

b – поправочный коэффициент на расчетное атмосферное давление;

β_3 – поправочный коэффициент на количество секций в радиаторе;

p – безразмерный поправочный коэффициент, с помощью которого учитывается специфика зависимости теплового потока и коэффициента теплопередачи радиатора от числа секций в нём.

Результаты подбора отопительных приборов в курсовом проекте приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Результаты подбора отопительных приборов

№ помещения	Температура внутреннего воздуха $t_{вн}$, °C	Теплопотери Вт	Теплопотери на прибор, Вт	Расход теплоносителя через прибор, кг/с	Температура подаваемой в прибор воды, °C	Температура обратной воды, °C	Температурный напор, °C	n	c	m	p	Фактическая теплоотдача 1 секции, Вт	Предварительное кол-во секций	β_3	Расчетное кол-во секций	Фактическая теплоотдача прибора, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Температура наружного воздуха $t_{нв} = -23$ °C																
107	20	1079,39	755,57	0,0224	90	81,94	65,97	0,33	0,9	0,15	1	119,62	6,32	0,99	7	829,00
			323,82	0,0224	90	86,55	68,27	0,3	1	0	1,035	180,35	1,80	1,03	2	371,52
108	20	1120,88	1120,88	0,028	90	80,44	65,22	0,33	0,9	0,15	1	121,82	9,20	0,96	10	1169,51
207	20	1022,52	715,77	0,0224	90	82,37	66,18	0,33	0,9	0,15	1	120,14	5,96	0,99	6	713,61
			306,76	0,0224	90	86,73	68,36	0,3	1	0	1,035	180,66	1,70	1,03	2	372,16
208	20	1042,03	1042,03	0,028	90	81,11	65,56	0,33	0,9	0,15	1	122,66	8,50	0,96	9	1059,78
907	20	1115,11	780,57	0,0224	90	81,68	65,84	0,33	0,9	0,15	1	119,30	6,54	0,99	7	826,77
			334,53	0,0224	90	86,43	68,22	0,3	1	0	1,035	180,15	1,86	1,03	2	371,12
908	20	1170,41	1170,41	0,028	90	80,02	65,01	0,33	0,9	0,15	1	121,30	9,65	0,96	10	1164,47

Таким образом, задача построения графика качественного регулирования теплоотдачи отопительного прибора сводится к нахождению требуемой температуры подаваемой в прибор воды при различных теплопотерях и равных остальных условиях его работы. температуру подаваемой воды можно подобрать при помощи инструмента «Подбор решения» используемого при расчетах табличного процессора. Расчет температуры подаваемой в отопительные приборы воды при теплопотерях, характерных для отопительного сезона, сведен в табл. 2.7.

Результаты построения температурных графиков отопительных приборов отдельных помещений сведен в табл. 2.8, на основании которой построены графики – рис. 2.5.

Таблица 2.7

Расчет температуры подаваемой в отопительные приборы воды

№ помещения	Температура внутреннего воздуха $t_{вн}$, °C	Теплопотери, Вт	Теплопотери на прибор, Вт	Расход теплоносителя через прибор, л/с	Температура подаваемой в прибор воды, °C	Температура обратной воды, °C	Температура напор, °C	а	б	в	г	Фактическая теплоотдача 1 секции, Вт	Предварительное кол-во секций	β3	Расчетное кол-во секций	Фактическая теплоотдача прибора, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Температура наружного воздуха $t_{нв} = -20$ °C																
107	20	998,63	699,04	0,0224	81,82	74,37	58,09	0,33	0,9	0,15	1	101,01	6,92	0,99	7	700,00
			299,59	0,0224	79,52	76,32	57,92	0,3	1	0	1,035	145,63	2,06	1,03	2	300,00
108	20	1035,12	1035,12	0,028	83,91	75,08	59,50	0,33	0,9	0,15	1	107,81	9,60	0,96	10	1035,00
207	20	941,77	659,24	0,0224	85,92	78,30	62,41	0,33	0,9	0,15	1	111,11	5,93	0,99	6	660,00
			282,53	0,0224	76,88	73,87	55,38	0,3	1	0	1,035	137,38	2,06	1,03	2	283,00
208	20	956,27	956,27	0,028	84,75	76,59	60,67	0,33	0,9	0,15	1	110,65	8,64	0,96	9	956,00
907	20	1034,35	724,04	0,0224	83,45	75,73	59,59	0,33	0,9	0,15	1	104,47	6,93	0,99	7	724,00
			310,30	0,0224	81,05	77,74	59,40	0,3	1	0	1,035	150,49	2,06	1,03	2	310,00
908	20	1084,65	1084,65	0,028	86,27	77,02	61,64	0,33	0,9	0,15	1	113,02	9,60	0,96	10	1085,00
Температура наружного воздуха $t_{нв} = -10$ °C																
107	20	729,44	510,61	0,0224	68,57	63,13	45,85	0,33	0,9	0,15	1	73,74	6,92	0,99	7	511,00
			218,83	0,0224	66,63	64,30	45,47	0,3	1	0	1,035	106,31	2,06	1,03	2	219,00
108	20	749,25	749,25	0,028	69,89	63,50	46,70	0,33	0,9	0,15	1	78,13	9,59	0,96	10	750,00
207	20	672,57	470,80	0,0224	70,94	65,92	48,43	0,33	0,9	0,15	1	79,29	5,94	0,99	6	471,00
			201,77	0,0224	63,80	61,65	42,73	0,3	1	0	1,035	98,06	2,06	1,03	2	202,00
208	20	670,40	670,40	0,028	69,35	63,63	46,49	0,33	0,9	0,15	1	77,66	8,63	0,96	9	671,00
907	20	765,16	535,61	0,0224	70,38	64,67	47,53	0,33	0,9	0,15	1	77,34	6,92	0,99	7	536,00
			229,55	0,0224	68,44	65,99	47,21	0,3	1	0	1,035	111,65	2,06	1,03	2	230,00
908	20	798,78	798,78	0,028	72,38	65,57	48,98	0,33	0,9	0,15	1	83,23	9,60	0,96	10	799,00
Температура наружного воздуха $t_{нв} = 0$ °C																
107	20	460,24	322,17	0,0224	54,12	50,68	32,40	0,33	0,9	0,15	1	46,46	6,93	0,99	7	322,00
			138,07	0,0224	52,61	51,14	31,87	0,3	1	0	1,035	66,99	2,06	1,03	2	138,00
108	20	463,38	463,38	0,028	54,47	50,62	32,49	0,33	0,9	0,15	1	48,23	9,61	0,96	10	463,00
207	20	403,38	282,37	0,0224	54,43	51,42	32,93	0,33	0,9	0,15	1	47,47	5,95	0,99	6	282,00
			121,01	0,0224	49,45	48,16	28,81	0,3	1	0	1,035	58,74	2,06	1,03	2	121,00
208	20	384,53	384,53	0,028	52,26	48,38	30,62	0,33	0,9	0,15	1	44,56	8,63	0,96	9	385,00
907	20	495,97	347,16	0,0224	56,13	52,42	34,28	0,33	0,9	0,15	1	50,07	6,93	0,99	7	347,00
			148,79	0,0224	53,90	52,31	33,11	0,3	1	0	1,035	70,39	2,11	1,03	2	148,00
908	20	512,92	512,92	0,028	57,29	52,31	35,10	0,33	0,9	0,15	1	53,44	9,60	0,96	10	513,00
Температура наружного воздуха $t_{нв} = 8$ °C																
107	20	225,94	158,16	0,0224	39,81	38,13	18,97	0,33	0,9	0,15	1	22,80	6,94	0,99	7	158,00
			67,78	0,0224	38,85	38,13	18,49	0,3	1	0	1,035	33,01	2,05	1,03	2	68,00
108	20	208,41	208,41	0,028	38,69	36,92	17,80	0,33	0,9	0,15	1	21,67	9,62	0,96	10	208,00
207	20	188,03	131,62	0,0224	39,31	37,91	18,61	0,33	0,9	0,15	1	22,22	5,92	0,99	6	132,00
			56,41	0,0224	36,23	35,63	15,93	0,3	1	0	1,035	27,18	2,08	1,03	2	56,00
208	20	155,84	155,84	0,028	36,19	34,86	15,52	0,33	0,9	0,15	1	18,06	8,63	0,96	9	156,00
907	20	280,61	196,43	0,0224	43,36	41,26	22,31	0,33	0,9	0,15	1	28,28	6,95	0,99	7	196,00
			84,18	0,0224	42,20	41,31	21,76	0,3	1	0	1,035	40,78	2,06	1,03	2	84,00
908	20	284,22	284,22	0,028	43,71	41,29	22,50	0,33	0,9	0,15	1	29,58	9,61	0,96	10	284,00

Полученные графики имеют степенной характер и различаются ввиду различного характера изменения теплопотерь в помещениях и различного числа секций обслуживаемых отопительных приборов.

Таблица 2.8

Результаты расчета температуры подаваемой в отопительные приборы воды

Помещение	Температура наружного воздуха				
	-23	-20	-10	0	8
107	90,00	81,82	68,57	54,12	39,81
	90,00	79,52	66,63	52,61	38,85
108	90,00	83,91	69,89	54,47	38,69
207	90,00	85,92	70,94	54,43	39,31
	90,00	76,88	63,80	49,45	36,23
208	90,00	84,75	69,35	52,26	36,19
907	90,00	83,45	70,38	56,13	43,36

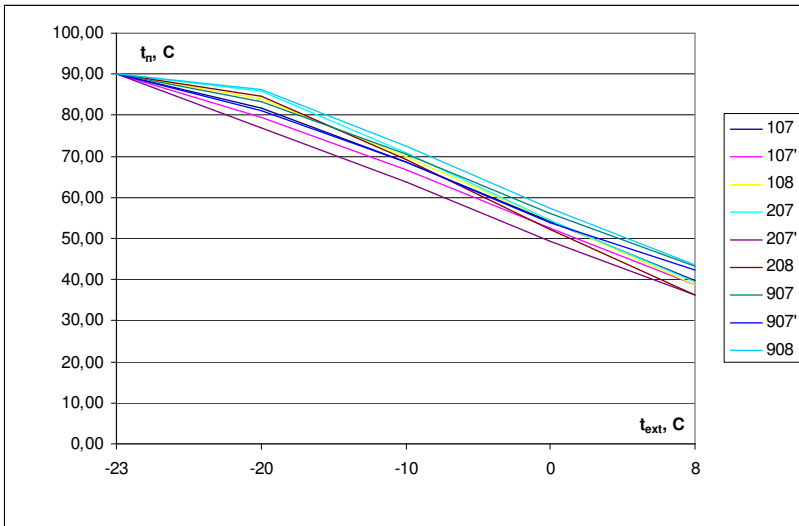


Рис. 2.5. Графики изменения температуры теплоносителя в течение отопительного периода

Отклонения температуры теплоносителя возрастают при увеличении температуры наружного воздуха от 4,42% при $t_{ext} = -20\text{ °C}$ до 9,79% при $t_{ext} = 8\text{ °C}$.

Контрольные вопросы к главе 2

1. Теплотери помещения, структура теплотерь.
2. Трансмиссионные теплотери.
3. Добавочные теплотери.
4. Теплотери на нагрев инфильтрационного воздуха.
5. Коэффициент теплопередачи ограждения и термическое сопротивление ограждения.
6. Правила обмера вертикальных ограждений.
7. Правила обмера горизонтальных ограждений.
8. Расчет основных теплотерь через ограждение.
9. Расчет добавочных теплотерь через ограждения.
10. Расчет затрат тепла на нагрев инфильтрационного воздуха.
11. Типовые помещения в здании, отличия структуры теплотерь типовых помещений.
12. Доля теплотерь по типам в различных типовых помещениях.
13. Характер изменения трансмиссионных теплотерь в отопительном периоде.
14. Характер изменения полных теплотерь в отопительном периоде.
15. Качественное регулирование теплоотдачи отопительных приборов.
16. Зависимость теплоотдачи отопительных приборов от температуры подаваемой воды.
17. Определение требуемой температуры подаваемой в отопительный прибор воды.
18. Определение температуры возвращаемой из отопительного прибора воды.
19. Причины неравномерности изменения теплотерь в отопительном периоде.
20. Причины неравномерности изменения температуры подаваемого теплоносителя систем отопления в отопительном периоде.

3. Годовое потребление тепла и холода системами кондиционирования воздуха

До настоящего времени в проектной практике, как правило, определялись только расчетные максимальные нагрузки на системы вентиляции и кондиционирования воздуха, годовые расходы энергии на комплекс систем инженерного обеспечения зданий не нормировался.

Определение годового расхода тепла или холода СВ или СКВ сводится к интегрированию зависимости от времени года потребляемой мощности. Последняя величина является функцией теплосодержания наружного воздуха, т. к. тепло и искусственный холод расходуются только на обработку наружного воздуха. Среди многообразия моделей представления годового изменения параметров наружного воздуха можно выделить две группы [13].

Первый вид моделей строится на описании годового хода параметров средних за месяц. Модели представляются в табличной форме или описываются аналитически. Разновидностью подобной модели наружного климата является так называемый представительный год, использование которого получило широкое распространение за рубежом.

Второй вид представления климатической информации использует обработку срочных измерений в виде функций распределения параметра. Функции распределения задаются в табличной форме, в виде графиков или аппроксимируются аналитическими зависимостями. Такой вид представления климата встречает определенные трудности. Во-первых, требуется сложная обработка метеоданных, во-вторых, возникает трудность принципиального характера, которая состоит в необходимости оперировать двухмерным распределением параметров. При этом неизбежно привлечение громоздкого математического аппарата, который к тому же строится на существенных допущениях в постановке задачи. Вместе с тем второй вид модели климата имеет несомненное преимущество перед первым, состоящее в том, что в информации о параметре заложен весь диапазон его изменения.

При осреднении параметров наружного воздуха имеющийся диапазон изменения параметров сокращается, что представляет недостаток первой модели. Однако осреднение исключает разного рода помехи и позволяет выделить основную закономерность изменения параметра во времени, вытекающую из физической сущности процессов, формирующих параметр. Это является определенным преимуществом первой модели. Но главное ее преимущество состоит в простоте пред-

ставления функций времени параметров, а также в большом объеме доступных данных.

3.1. Расчет годового потребления тепла и холода СКВ

Определение годовой потребности в тепле и холоде системами кондиционирования воздуха производится по методике, изложенной в [14] с учетом климатических данных, представленных в [3].

Расчетными величинами, характеризующими параметры воздуха, поступающего в агрегат СКВ, принимаются удельные энтальпии воздуха, как наиболее полно определяющие термодинамические параметры воздуха тепломасообменных процессах.

Годовые расходы теплоты и электроэнергии для систем вентиляции (СВ), кондиционирования воздуха (СКВ) и холода для СКВ рассчитываются для рабочей смены или части суток (далее смены) с последующим суммированием при работе систем в две или большее число смен.

Расчетные средние параметры наружного воздуха за время работы систем в теплый и холодный периоды года определяются:

а) температура, °С, и удельная энтальпия, кДж/кг, наружного воздуха:

$$t_{\tau} = t_{\text{ср},\tau} + 0,5 A_{\tau} K_1 K_2, \quad (3.1)$$

$$t_{\chi} = t_{\text{ср},\chi} + 0,5 A_{\chi} K_1 K_2, \quad (3.2)$$

$$I_{\tau} = I_{\text{ср},\tau} + 0,5 A_{\tau,\tau} K_1 K_2, \quad (3.3)$$

$$I_{\chi} = I_{\text{ср},\chi} + 0,5 A_{\tau,\chi} K_1 K_2, \quad (3.4)$$

где $t_{\text{ср},\tau}$, $t_{\text{ср},\chi}$, $I_{\text{ср},\tau}$, $I_{\text{ср},\chi}$ – средняя температура воздуха самого жаркого и холодного месяцев, определяемая по [3], и средняя энтальпия самого жаркого и холодного месяцев года, определяемая по приложению 1;

A_{τ} , A_{χ} , $A_{\tau,\tau}$, $A_{\tau,\chi}$ – средняя амплитуда температуры, °С, и энтальпии, кДж/кг, самого жаркого и холодного месяцев в году, определяемая для температуры по приложению [3], а для энтальпии по приложению 1;

K_1 – коэффициент, определяемый по табл. 3.1 в зависимости от продолжительности работы систем в течение суток;

K_2 – коэффициент, определяемый по табл. 3.1 в зависимости от времени, приходящегося на середину суточного периода работы системы.

Таблица 3.1

Значения коэффициентов: K_1 – для продолжительности работы в ч и K_2 – для времени середины продолжительности работы [14]

Коэффициенты	Продолжительность работы системы в сутки									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
K_1	0,95	0,9	0,83	0,74	0,64	0,53	0,41	0,3	0,19	0,09
K_2	-0,97	-0,71	-0,26	0,6	0,71	0,97	0,97	0,71	0,26	-0,26

б) средняя за время работы систем в году температура и энтальпия наружного воздуха:

$$t_{\Gamma} = t_{\text{ср.г}} + 0,25(A_{\Gamma} + A_x) K_1 K_2, \quad (3.5)$$

$$I_{\Gamma} = I_{\text{ср.г}} + 0,25(A_{\text{э.т}} + A_{\text{э.х}}) K_1 K_2, \quad (3.6)$$

где $t_{\text{ср.г}}$, $I_{\text{ср.г}}$ – среднегодовая температура и энтальпия, определяемые соответственно по [3] и приложению 1.

Годовой расход теплоты на первый подогрев воздуха для приточной СКВ и при применении рециркуляции:

$$Q = 0,143nmG_{\Pi}\Delta I_{\kappa}M_2K_3K_4, \quad (3.7)$$

где n – число рабочих дней в неделе;

m – продолжительность смены, ч;

G_{Π} — максимальный расход приточного воздуха, кг/ч; для СКВ, работающей с переменным расходом за G_{Π} принимается средний расход воздуха за холодный период года; для систем, работающих с рециркуляцией, кроме G_{Π} учитывается минимальный расход наружного воздуха G , кг/ч;

K_3, K_4 – коэффициенты, определяемые по табл. 3.2 в зависимости от длительности периода потребления теплоты;

Таблица 3.2

Значения коэффициентов K_3 и K_4 для определения продолжительности периода потребления теплоты или холода в сутках [14]

Коэффициенты	Продолжительность периода потребления теплоты или холода в году, суток									
	30*	60	90	120	150	180	210	240	270	300
K_3	0,9	0,91	0,92	0,94	0,97	1	1,04	1,08	1,14	1,21
K_4	1	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57

* и менее суток

ΔI_k – разность энтальпий воздуха в самый холодный месяц года, кДж/кг;
для проточной СКВ:

$$\Delta I_k = I_{\phi, x} - I_x, \quad (3.8)$$

для СКВ с применением первой рециркуляции:

$$\Delta I_k = I_{\phi, x} - \left[I_{pc} \left(1 - \frac{G}{G_{\Pi}} \right) + I_x \frac{G}{G_{\Pi}} \right], \quad (3.9)$$

где $I_{\phi, x}$ – энтальпия воздуха на выходе из форсуночной камеры или воздухонагревателя в холодный период года, кДж/кг;

I_x – энтальпия воздуха на входе в воздухонагреватель в самый холодный месяц года;

I_{pc} – энтальпия рециркуляционного воздуха в самый холодный месяц года;

M_2 – длительность периода потребления теплоты воздухонагревателем СКВ, суток

$$M_2 = 182,5 \left(\frac{\Delta I_k}{\Delta I_{k, \Gamma}} \right)^{0,5}, \quad (3.10)$$

ΔI_k – по формулам (3.8) или (3.9);

$\Delta I_{k, \Gamma}$ – среднегодовая разность энтальпий:

для проточной СКВ:

$$\Delta I_{k, \Gamma} = I_{\Gamma} - I_x; \quad (3.11)$$

для СКВ с применением первой рециркуляции:

$$\Delta I_{k, \Gamma} = (I_{\Gamma} - I_x) \frac{G}{G_{\Pi}}. \quad (3.12)$$

Число часов работы калорифера первого подогрева при одно-сменной работе:

$$N_2 = 0,143nmM_2K_3. \quad (3.13)$$

где n, m, M_2, K_3 – как в формуле (3.7).

4. Годовой расход теплоты на второй подогрев для проточной СКВ и при применении рециркуляции:

$$Q_2 = 52nm \left[(G_{\Pi} - G_{pc, 2}) \Delta I_{\Gamma} - 3,6 Q_{r, cp} \right], \quad (3.14)$$

где G_{Π} – расход приточного воздуха, кг/ч;

$G_{pc, 2}$ – расход воздуха помещения, поступающего на вторую рециркуляцию, кг/ч;

$Q_{г,ср}$ – среднегодовые, средние за смену теплоизбытки (по полному теплу) обслуживаемого помещения, Вт;

$\Delta I_{г}$ – среднегодовая разность энтальпий воздуха помещения и воздуха на выходе из форсуночной камеры или поверхностного воздухоохладителя в кДж/кг:

$$\Delta I_{г} = 0,5 (I_{рц,т} + I_{рц,х} - I_{ф,т} - I_{ф,х}) \quad (3.15)$$

где $I_{рц,т}$, $I_{рц,х}$ – энтальпия рециркулирующего воздуха помещения, соответственно для теплого и холодного периодов, кДж/кг;

$I_{ф,т}$, $I_{ф,х}$ – энтальпия воздуха на выходе из оросительной камеры или поверхностного воздухоохладителя соответственно для теплого и холодного периода, кДж/кг.

Среднегодовые избытки теплоты, Вт, следует определять расчетом при среднегодовых значениях параметров наружного климата, а при их отсутствии допустимо принимать величину $Q_{г,ср}$ – средней между избытками теплоты в теплый и холодный периоды года. Если воздухонагреватели второго или зонального подогрева СКВ обслуживают несколько помещений, то величина $Q_{г,ср}$ – определяется как сумма для всех обслуживаемых помещений.

5. Годовой расход холода прямооточной СКВ, кДж/г, определяется по формуле:

$$Q = 0,143nmG_{п}\Delta I_{т}M_3K_3K_4 \quad (3.16)$$

где n , m , K_3 , K_4 – как для формулы (3.7);

$$\Delta I_{т} = I_{т} - I_{ф,т} \quad (3.17)$$

где $I_{т}$ – энтальпия воздуха самого жаркого месяца, определяемая по формуле (3.3);

$I_{ф,т}$ – энтальпия воздуха на выходе из форсуночной камеры или воздухоохладителя в теплый период года;

M_3 – длительность периода потребления холода за год, сут.:

$$M_3 = 182,5 \left(\frac{\Delta I_{т}}{\Delta I_{т,г}} \right)^{0,5} \quad (3.18)$$

где $\Delta I_{т}$ – по формуле (3.17);

$$\Delta I_{т,г} = I_{т} - I_{г} \quad (3.19)$$

$I_{г}$ – среднегодовая энтальпия наружного воздуха, определяемая по формуле (3.6).

Число часов потребления холода за год определяется по формуле:

$$N_3 = 0,143nmM_3K_3 \quad (3.20)$$

где n, m, M_3, K_3 – как в формуле (3.16).

6. Годовой расход холода для СКВ с первой рециркуляцией, кДж/г, определяется по формуле:

$$Q_{\text{рц},1} = Q - \Delta Q_{\text{г},\text{э}} \quad (3.21)$$

где Q – годовой расход холода прямоточной системы, определяемый по формуле (3.16);

$\Delta Q_{\text{г},\text{э}}$ – годовая экономия холода, кДж/г, определяемая по формуле:

$$\Delta Q_{\text{г},\text{э}} = 0,143nm(G_{\text{п}} - G_{\text{рц}})\Delta I_{\text{т,рц}}M_{\text{рц}}K_3K_4 \quad (3.22)$$

где $n, m, G_{\text{п}}, K_3, K_4$ – как в формуле (3.16);

$$\Delta I_{\text{т,рц}} = I_{\text{т}} - I_{\text{рц}} \quad (3.23)$$

$I_{\text{рц}}$ – энтальпия воздуха, рециркулирующего в теплое время года;

$M_{\text{рц}}$ – продолжительность периода работы СКВ с первой рециркуляцией, определяется по формуле (3.18), при $\Delta I_{\text{т}} = \Delta I_{\text{т,рц}}$;

$G_{\text{рц}}$ – расход рециркулируемого воздуха, кг/ч.

7. Годовой расход холода для СКВ со второй рециркуляцией, кДж/г:

$$Q_{\text{рц},2} = Q \left(1 - \frac{G_2}{G_{\text{п}}} \right), \quad (3.24)$$

где Q – годовой расход холода по формуле (3.16);

G_2 – расход воздуха на вторую рециркуляцию, кг/ч;

$G_{\text{п}}$ – расход приточного воздуха, кг/ч.

9. Годовой расход электрической энергии на перемещение воздуха системами вентиляции и кондиционирования воздуха, кВт·часов в год, определяется по формуле:

$$N_j = 52nmN_l \quad (3.25)$$

где n и m – число часов работы в смену, и число рабочих дней в неделю объекта кондиционирования;

N_l – мощность, расходующая электрооборудованием СКВ, кВт.

3.2. Задание на РГЗ №2 «Годовое потребление тепла и холода СКВ»

РГЗ «Годовое потребление тепла и холода СКВ» выполняется на основании исходных данных и принятых проектных решений в курсовой работе «Кондиционирование воздуха общественного здания» дисциплины «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение». Целью РГЗ является определение годовых потребностей в тепле, холоде и электрической энергии с учетом принимаемых в указанной выше курсовой работе технических решений.

Исходными данными для выполнения РГЗ являются:

- климатическая характеристика района расположения общественно-го здания;
- параметры микроклимата в здании;
- воздухообмен в здании в теплый и холодный период года, доля рециркуляции в приточном воздухе;
- I-d диаграмма процессов обработки воздуха в теплый и холодный периоды года;
- установочная мощность электрооборудования системы кондиционирования воздуха;
- режим работы здания.

3.3. Пример выполнения РГЗ №2

Общественное здание располагается в г. Белгороде. Параметры наружного воздуха в курсовой работе приняты согласно [9] как параметры «Б» для теплого и холодного периода года согласно [3]:

- температура наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92 $t_{p,x} = -23\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура воздуха, обеспеченностью 0,99 $t_{p,t} = 27,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Параметры воздуха, подаваемого в обслуживаемые помещения, приняты: в холодный период – $t_{п,x} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{п,x} = 40\text{ }%$; в теплый период – $t_{п,t} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi_{п,t} = 30\text{ }%$.

Расход приточного воздуха постоянен в течении года и составляет $L_{п} = 5400\text{ м}^3/\text{ч}$, из них $L_{рц} = 2400\text{ м}^3/\text{ч}$ – рециркуляционного воздуха, теплоизбытки в помещении составляют $Q_{г,ср} = 11556\text{ Вт}$. Про-

цесс обработки воздуха в теплый и холодный период года представлен на рис. 3.1 и 3.2.

Установочная мощность вентиляторов приточной и вытяжной установок составляет 3,27 кВт, холодильной машины – 4 кВт.

Общественное учреждение работает 6 дней в неделю с 9⁰⁰ до 18⁰⁰.

Средняя температура самого холодного месяца по [3] равна $t_{\text{ср,х}} = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднесуточная амплитуда температуры – $A_{\text{х}} = 5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Средняя температура самого теплого месяца по [3] равна $t_{\text{ср,т}} = 25,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднесуточная амплитуда температуры – $A_{\text{т}} = 11,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Средняя энтальпия самого холодного месяца по [14] равна $I_{\text{ср,х}} = -3,9\text{ кДж/кг}$, среднесуточная амплитуда энтальпии – $A_{\text{х}} = 0,7\text{ кДж/кг}$. Средняя энтальпия самого теплого месяца по [14] равна $I_{\text{ср,т}} = 43,7\text{ кДж/кг}$, среднесуточная амплитуда энтальпии – $A_{\text{т}} = 6,0\text{ кДж/кг}$.

Значения коэффициентов K_1 и K_2 определены по табл. 3.1 интерполяцией: $K_1 = 0,785$, $K_2 = 0,905$.

Тогда расчетные средние параметры наружного воздуха по формулам (3.1-3.4) будут равны:

$$t_{\text{т}} = 25,7 + 0,5 \cdot 11,4 \cdot 0,785 \cdot 0,905 = 29,75\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$t_{\text{х}} = -12 + 0,5 \cdot 5,9 \cdot 0,785 \cdot 0,905 = -9,9\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$I_{\text{т}} = 43,7 + 0,5 \cdot 6 \cdot 0,785 \cdot 0,905 = 43,83\text{ кДж/кг},$$

$$I_{\text{х}} = -3,9 + 0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,785 \cdot 0,905 = -3,65\text{ кДж/кг}.$$

Среднегодовая температура для г. Белгорода равна $t_{\text{ср,г}} = 6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднегодовая энтальпия – $I_{\text{ср,г}} = 18,2\text{ кДж/кг}$.

Средняя за время работы систем в году температура и энтальпия наружного воздуха по формулам (3.5, 3.6) равны:

$$t_{\text{г}} = 6,4 + 0,25(11,4 + 5,9) \cdot 0,785 \cdot 0,905 = 9,47\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$I_{\text{г}} = 18,2 + 0,25(6 + 0,7) \cdot 0,785 \cdot 0,905 = 19,39\text{ кДж/кг}.$$

В соответствии с приведенным в задании режимом работы здания: число рабочих дней в неделе $n = 6$; продолжительность смены (рабочего дня) $m = 9$.

Массовый расход приточного воздуха, с учетом его плотности, составляет $G_{\text{п}} = 6350,4\text{ кг/ч}$, рециркуляционного воздуха $G = 2808\text{ кг/ч}$.

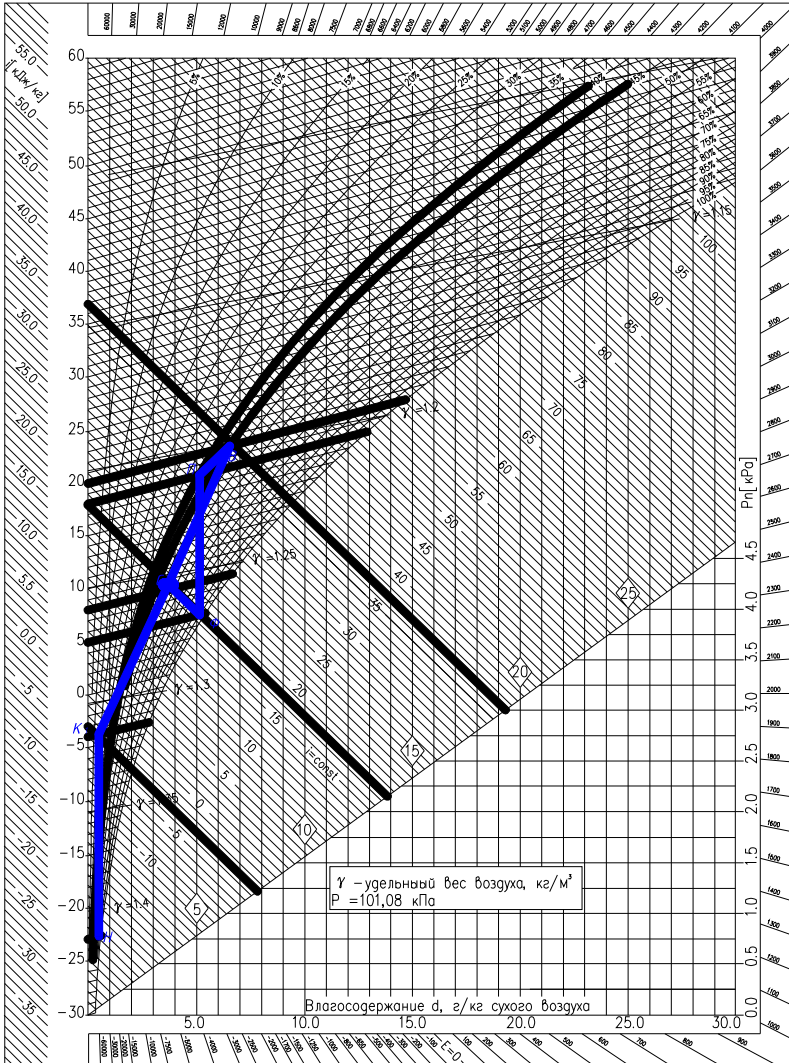


Рис. 3.1. Процесс обработки воздуха в холодный период

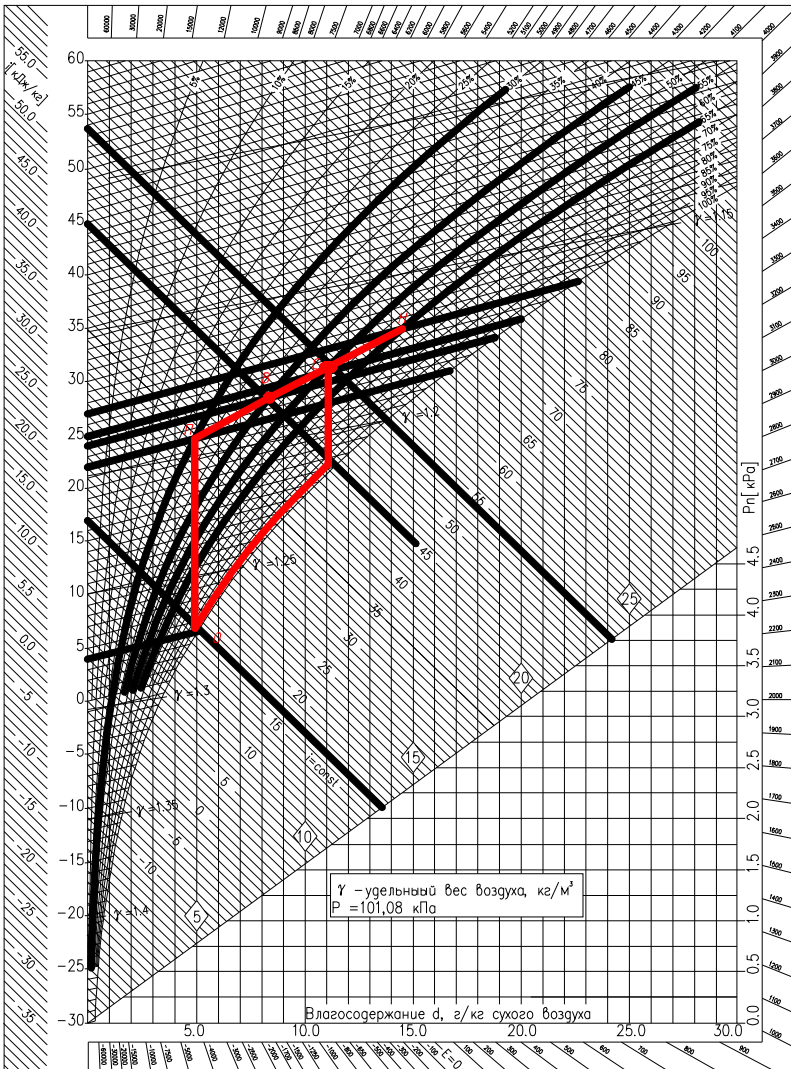


Рис. 3.2. Процесс обработки воздуха в теплый период

Для определения разности энтальпий в самый холодный месяц года при наличии первой рециркуляции по I-d диаграмме процесса

обработки воздуха в центральном кондиционере в холодный период года (рис. 3.1) определим: энтальпию воздуха на выходе из форсуночной камеры в холодный период года $I_{ф,х} = 17,8$ кДж/кг; энтальпию рециркуляционного воздуха в самый холодный месяц года $I_{рц} = 36,7$ кДж/кг.

По формуле (3.9) найдем расчетную разность энтальпий в холодный период года

$$\Delta I_k = 17,8 - \left[36,7 \left(1 - \frac{2808}{6350,4} \right) + (-3,65) \frac{2808}{6350,4} \right] = 8,01 \text{ кДж/кг.}$$

По формуле (3.12) найдем среднегодовую разность энтальпий

$$\Delta I_{к.г} = (19,39 - (-3,65)) \frac{2808}{6350,4} = 15,37 \text{ кДж/кг,}$$

тогда длительность периода потребления теплоты калорифером I-го подогрева СКВ составит по формуле (3.10):

$$M_2 = 182,5 \left(\frac{8,01}{15,37} \right)^{0,5} = 131,75 \text{ суток.}$$

Значения коэффициентов по табл. 3.2 составят:
 $K_3 = 0,94$, $K_4 = 0,65$.

Годовой расход теплоты на первый подогрев воздуха при применении рециркуляции по формуле (3.7) составит:

$Q = 0,143 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 6350,4 \cdot 8,01 \cdot 131,75 \cdot 0,94 \cdot 0,65 = 31\,619\,516,81$ кДж,
 или 31,62 ГДж.

Среднегодовая разность энтальпий воздуха помещения и воздуха на выходе из форсуночной камеры или поверхностного воздухоохладителя по формуле (3.15) составит:

$$\Delta I_r = 0,5 (45,2 + 36,7 - 16,8 - 17,8) = 23,65 \text{ кДж/кг.}$$

Годовой расход теплоты на второй подогрев для прямоточной СКВ и при применении рециркуляции:

$Q_2 = 52 \cdot 6 \cdot 9 [6350,4 \cdot 23,65 - 3,6 \cdot 11556] = 304\,907\,690,88$ кДж
 или 304,9 ГДж.

По I-d диаграмме процесса обработки воздуха в теплый период года энтальпия воздуха на выходе из воздухоохладителя равна $I_{ф,т} = 16,8$ кДж/кг, расчетная разность энтальпий воздуха в теплый период года по формуле (3.17) составит:

$$\Delta I_t = 43,83 - 16,8 = 27,03 \text{ кДж/кг.}$$

Среднегодовая разность энтальпий по формуле (3.19) равна:

$$\Delta I_{т,г} = 43,83 - 19,39 = 24,44 \text{ кДж/кг},$$

тогда, длительность периода потребления холода по формуле (3.18) составит:

$$M_3 = 182,5 \left(\frac{27,03}{43,83} \right)^{0,5} = 52 \text{ суток},$$

тогда $K_3 = 0,91$, $K_4 = 0,65$.

Годовой расход холода СКВ без учета рециркуляции определяется по формуле (3.16):

$$Q = 0,143 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 6350,4 \cdot 27,03 \cdot 52 \cdot 0,91 \cdot 0,65 = 40\,769\,465,44 \text{ кДж},$$

или 40,77 ГДж.

Расчетная разность энтальпий в теплый период года с учетом рециркуляции составит:

$$\Delta I_{т,рц} = 43,83 - 41,3 = 2,53 \text{ кДж/кг}.$$

Годовая экономия холода за счет рециркуляции по формуле (3.22) составит:

$$\Delta Q_{т,э} = 0,143 \cdot 6 \cdot 9 (6350,4 - 2808) \cdot 2,53 \cdot 52 \cdot 0,91 \cdot 0,65 = 2\,128\,658,58 \text{ кДж},$$

или 2,13 ГДж.

Годовой расход холода для СКВ с первой рециркуляцией определим по формуле (3.21):

$$Q_{рц,1} = 40,77 - 2,13 = 38,64 \text{ ГДж}.$$

Годовой расход электрической энергии на перемещение воздуха системой кондиционирования воздуха определим по формуле (3.25):

$$N_j = 52 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 3,27 = 9\,182,16 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

годовой расход электрической энергии на охлаждение воздуха системой кондиционирования определим по формуле (3.25):

$$N_j = 52 \cdot 9 \cdot 4 = 1\,872 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Контрольные вопросы к главе 3

1. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха, назначение, основные требования.
2. Классификация систем вентиляции и кондиционирования воздуха.
3. Расчетные параметры наружного воздуха для проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха.
4. Средние параметры работы систем кондиционирования для расчета годовой потребности в тепле и холоде.

5. Затраты тепла на первый подогрев воздуха в СКВ без рециркуляции.
6. Затраты тепла на первый подогрев воздуха в СКВ с рециркуляцией.
7. Экономия тепла при первой рециркуляции воздуха.
8. Изменение состояния воздуха при увлажнении.
9. Затраты тепла на второй подогрев воздуха в СКВ без рециркуляции.
10. Затраты тепла на второй подогрев воздуха в СКВ с рециркуляцией.
11. Экономия тепла при второй рециркуляции воздуха.
12. Затраты холода на охлаждение и осушение воздуха без рециркуляции.
13. Затраты холода на охлаждение и осушение воздуха с рециркуляцией.
14. Экономия холода при первой рециркуляции воздуха.
15. Экономия холода при второй рециркуляции воздуха.
16. Затраты электроэнергии на перемещение воздуха СКВ.
17. Затраты электроэнергии при работе холодильного оборудования.

4. Годовой график регулирования систем кондиционирования воздуха

Системы кондиционирования воздуха (СКВ) являются неотъемлемой частью инженерного оборудования комфортных зданий. Системы кондиционирования позволяют регулировать и поддерживать требуемые комфортные и технологические тепловлажностные параметры внутренней атмосферы обслуживаемых помещений [9].

В настоящее время для определения конструктивно-режимных параметров установок обработки воздуха в СКВ применяется графо-аналитический метод, основанный на построении процессов обработки воздуха на $I-d$ диаграмме влажного воздуха (диаграмме Рамзина – Молье). При данном подходе путем построения процесса обработки воздуха в крайних условиях работы СКВ (расчетные теплый и холодный периоды года [9, 3]) определяют потребность в тепле и влаге для наиболее холодного расчетного периода года и в холоде и тепле для наиболее теплого расчетного периода года. Такой подход позволяет подобрать тепломассообменное оборудование приточно-вытяжных установок, обеспечивающее подготовку воздуха с требуемыми параметрами и коэффициентом обеспеченности в течение года.

Процесс нагревания воздуха в поверхностном теплообменнике – калорифере в $I-d$ диаграмме (рис. 4.1) изображается вертикальной линией AB при $d=\text{const}$, так как влагосодержание воздуха при контакте с сухой горячей поверхностью не изменяется. Температура и энтальпия при нагревании возрастают, а относительная влажность убывает.

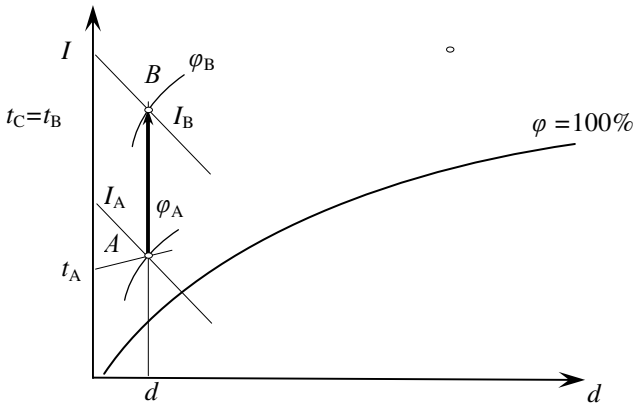


Рис. 4.1. Процессы нагревания воздуха на $I-d$ диаграмме

Расход тепла на нагрев воздуха определяется по формуле, кВт:

$$Q = G(I_B - I_A) \quad (4.1)$$

где G – расход нагреваемого воздуха, кг/с.

Процесс охлаждения воздуха в поверхностном теплообменнике – воздухоохладителе возможен или при постоянном влагосодержании или при уменьшении влагосодержания, т. е. при выпадении влаги из воздуха. Процесс при $d=\text{const}$ протекает в том случае, если температура поверхности воздухоохладителя будет выше температуры точки росы. Процесс пойдет по линии AB или в крайнем случае – по линии AB_1 (рис. 4.2).

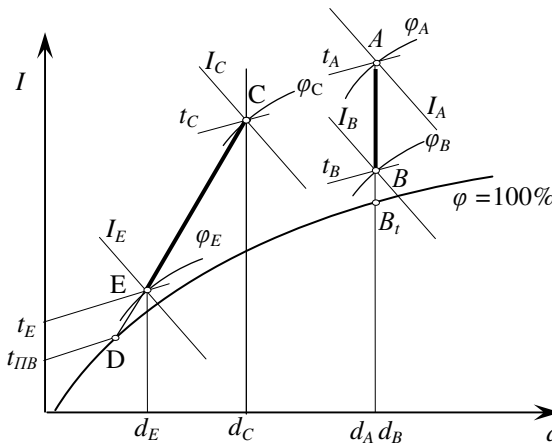


Рис. 4.2. Процессы охлаждения воздуха на I - d диаграмме

Если температура поверхности воздухоохладителя становится ниже температуры точки росы, то будет происходить конденсация водяного пара в воздухе и процесс охлаждения, что будет сопровождаться уменьшением влагосодержания воздуха. В I - d диаграмме этот процесс пойдет по линии CD , причем точка D соответствует температуре $t_{ПВ}$ поверхности воздухоохладителя. На практике процесс охлаждения может заканчиваться в точке E при температуре t_E .

Процессы тепловлажностной обработки воздуха в оросительных камерах кондиционеров водой с постоянной температурой изображаются в I - d диаграмме лучами, лежащими в пределах криволинейного треугольника ABB , у которого одной стороной является кривая насыщения $\phi = 100\%$, а двумя другими – касательные к этой кривой, проведенные из точки A (рис. 4.3). Обработка воздуха может

осуществляться по политропным и адиабатным (изоэнтальпийным) процессам.

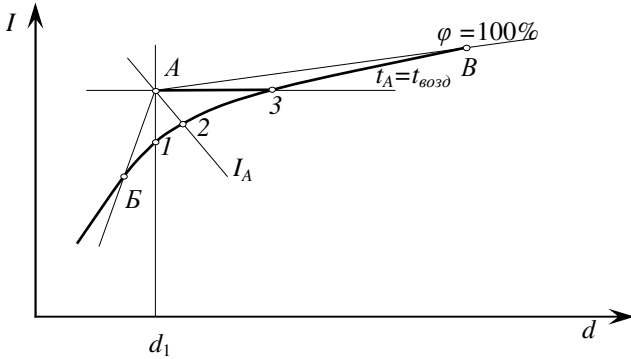


Рис. 4.3. Возможные изменения состояния воздуха при обработке его водой

Рассмотрим наиболее характерные случаи изменения состояния воздуха при обработке его водой. Луч процесса $A-1$ характеризуется постоянным влагосодержанием воздуха ($d_A = \text{const}$), т. е. происходит сухое охлаждение. Это бывает возможно, когда температура воды равна температуре точки росы (t_p) обрабатываемого воздуха: $t_e = t_p$. Лучи процесса, выходящие из точки A и пересекающие кривую $\phi = 100\%$ на участке $1-B$, характеризуют охлаждение и осушку воздуха, при этом температура воды должна быть ниже точки росы ($t_e < t_p$). Луч процесса $A-2$ протекает по линии $I_A = \text{const}$, воздух охлаждается до температуры мокрого термометра t_m и увлажняется. Энтальпия воздуха не меняется, так как теплота, теряемая воздухом при теплообмене с охлаждающей его водой, возвращается в воздух вместе с испарившейся влагой. Этот процесс называется адиабатным и практически осуществляется в камерах орошения рециркуляционной водой без подвода к ней или отвода от нее теплоты. Процессы, когда температура охлаждающей воды выше точки росы, но ниже температуры мокрого термометра, т.е. $t_p < t_e < t_m$ (участок $1-2$ кривой $\phi = 100\%$), протекают с увлажнением воздуха и понижением его энтальпии и температуры. Процессы, когда $t_m < t_e < t_A$ (участок $2-3$ на линии $\phi = 100\%$), характеризуются охлаждением и увлажнением воздуха при повышении его энтальпии. Процесс, протекающий по линии $t_e = \text{const}$ (луч $A-3$), называется изотермическим и характеризуется отсутствием явного теплообмена. Происходит увлажнение воздуха и повышение его энтальпии. Теплообмен за счет скры-

той теплоты происходит от воды к воздуху. Когда температура воды t_e выше температуры обрабатываемого воздуха t_a , последний повышает все свои параметры (температуру, энтальпию и влагосодержание).

При реальных процессах обработки воздуха в оросительных камерах конечная относительная влажность его не достигает значений $\varphi=100\%$. Причиной этому являются изменение температуры воды и кратковременный контакт воздуха с водой. В практических расчетах φ принимается равной 90 ... 95 %. Определим зависимость тепловлажностного коэффициента (углового коэффициента луча процесса) ε от температуры воды t_e , увлажняющей воздух.

Пусть G , кг, воздуха с параметрами I_1 d_1 поступает в оросительную камеру; туда же подается вода с температурой t_e и ассимилируется воздухом в количестве W , кг. Воздух, выходящий из камеры, имеет параметры I_2 , d_2 . Тепловой баланс камеры при отсутствии потерь теплоты в окружающую среду:

$$GI_1 + W \cdot c \cdot t_e = GI_2, \quad (4.2)$$

материальный баланс камеры:

$$G \frac{d_1}{1000} + W = G \frac{d_2}{1000} \quad (4.3)$$

где c – теплоемкость воды.

Из совместного решения уравнений (2.40) и (2.41) получаем:

$$1000 \frac{I_2 - I_1}{d_2 - d_1} = \varepsilon = c \cdot t_e \quad (4.4)$$

Таким образом, тепловлажностный коэффициент (угловой коэффициент) прямо пропорционален температуре воды. В зимнем режиме работы в оросительные камеры вода подается по рециркуляционной схеме и становится равной температуре мокрого термометра t_m , весьма низкой и мало отличающейся от нулевой. Поэтому в практических расчетах принимают $\varepsilon \rightarrow 0$, или $I_2 = I_1 = \text{const}$, а протекающий процесс – адиабатным.

Расход холода на охлаждение воздуха определяется по формуле, кВт:

$$Q = G \cdot \Delta I, \quad (4.5)$$

где G – расход охлаждаемого воздуха, кг/с;

ΔI – уменьшение энтальпии охлаждаемого воздуха, кДж/кг;

a количество сконденсировавшейся влаги, г/с:

$$W = G \cdot \Delta d, \quad (4.6)$$

где Δd – уменьшение влагосодержания охлаждаемого воздуха, г/с.

Увлажнение воздуха «перегретой» водой. Воздушный поток можно охладить, используя «перегретую» воду, т. е. воду, имеющую температуру выше 100°C . При выпуске в атмосферу «перегретой» воды часть ее испарится, однако расход теплоты на парообразование значительно больше, чем расход теплоты, выделяемой разбрызгиваемой водой. Недостающая теплота отнимается от воздуха, и температура его понижается. Из теплового и влажностного балансов камеры определяется угловой коэффициент луча процесса:

$$\varepsilon = \frac{t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}(1-m)}{m}c \quad (4.7)$$

где $t_{\text{нач}}$, $t_{\text{кон}}$ – соответственно начальная и конечная температура «перегретой» воды, $^{\circ}\text{C}$; $m = W_{\text{исп}}/W_{\text{раз}}$ – отношение испарившейся воды к разбрызгиваемой в камере; c – теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

По опытным данным коэффициент $m = 0,5$ для воды с начальной температурой 130°C . Увлажнение «перегретой» водой применяется сравнительно редко.

Увлажнение воздуха паром применяется в ряде случаев в технологическом кондиционировании для увлажнения воздуха и в производственных помещениях.

Построение процесса увлажнения воздуха паром в $I-d$ диаграмме показано на рис. 4.4. На диаграмму по заданным параметрам I_1 d_1 наносят точку 1 и далее проводят луч процесса с угловым коэффициентом, соответствующим числовому значению энтальпии увлажняющего пара $i_{\text{п}}$. Точка 2 пересечения луча процесса с линиями d_2 и φ_2 характеризует конечное состояние пара после его увлажнения.

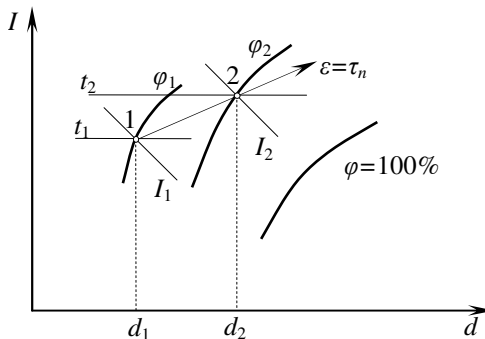


Рис 4.4. Увлажнение воздуха паром

Расход пара D_{II} , кг, необходимый для увлажнения воздуха, составляет:

$$D_{II} = G(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3} \quad (4.8)$$

Составив тепловой и влажностный балансы для установки увлажнения воздуха паром, можно определить величину углового коэффициента луча процесса. Пусть начальное состояние G , кг, воздуха отвечает параметрам I_1 , кДж/кг, d_1 , г/кг, а после увлажнения паром в количестве D_{II} кг, с энтальпией i_{II} , кДж/кг, параметры воздуха становятся I_2 , d_2 . Тогда уравнения теплового и материального балансов могут быть записаны так:

$$GI_1 + D_{II}i_{II} = GI_2 + Gd_1 \cdot 10^{-3} + D_{II} = Gd_2 \cdot 10^{-3} \quad (4.9)$$

Из совместного решения уравнений получаем:

$$\varepsilon = \frac{I_2 - I_1}{d_2 - d_1} 1000 = i_{II} \quad (4.10)$$

Подмешивание пара к воздуху осуществляют или в кондиционерах, или непосредственно в помещении через перфорированные трубы.

Исходными данными для определения тепловлажностных параметров обработки воздуха в центральном кондиционере без рециркуляции являются:

- расчетные параметры наружного воздуха в теплый (ТП) и холодный (ХП) периоды года: температура и влажность $t_{ext}^{ТП}, t_{ext}^{ХП}, \varphi_{ext}^{ТП}, \varphi_{ext}^{ХП}$;
- расчетные параметры приточного воздуха в теплый (ТП) и холодный (ХП) периоды года: температура и влажность $t_n^{ТП}, t_n^{ХП}, \varphi_n^{ТП}, \varphi_n^{ХП}$;
- массовый расход приточного воздуха в теплый (ТП) и холодный (ХП) периоды года $G_n^{ТП}, G_n^{ХП}$.

Для выполнения расчета тепловлажностного режима СКВ принимаем данные, полученные в ходе выполнения курсовой работы по дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» на примере общественного здания в г. Белгороде:

$$t_{ext}^{ТП} = 27,4^\circ\text{C}, \varphi_{ext}^{ТП} = 66\%, \quad t_{ext}^{ХП} = -23^\circ\text{C}, \varphi_{ext}^{ХП} = 84\%,$$

$$t_n^{ТП} = 22^\circ\text{C}, \varphi_n^{ТП} = 30\%, t_n^{ХП} = 18^\circ\text{C}, \varphi_n^{ХП} = 40\%, G_n^{ТП} = G_n^{ХП} = 1,764 \text{ кг/с}.$$

Построим по приведенным выше данным процессы обработки воздуха в холодный и теплый периоды года (рис. 4.5):

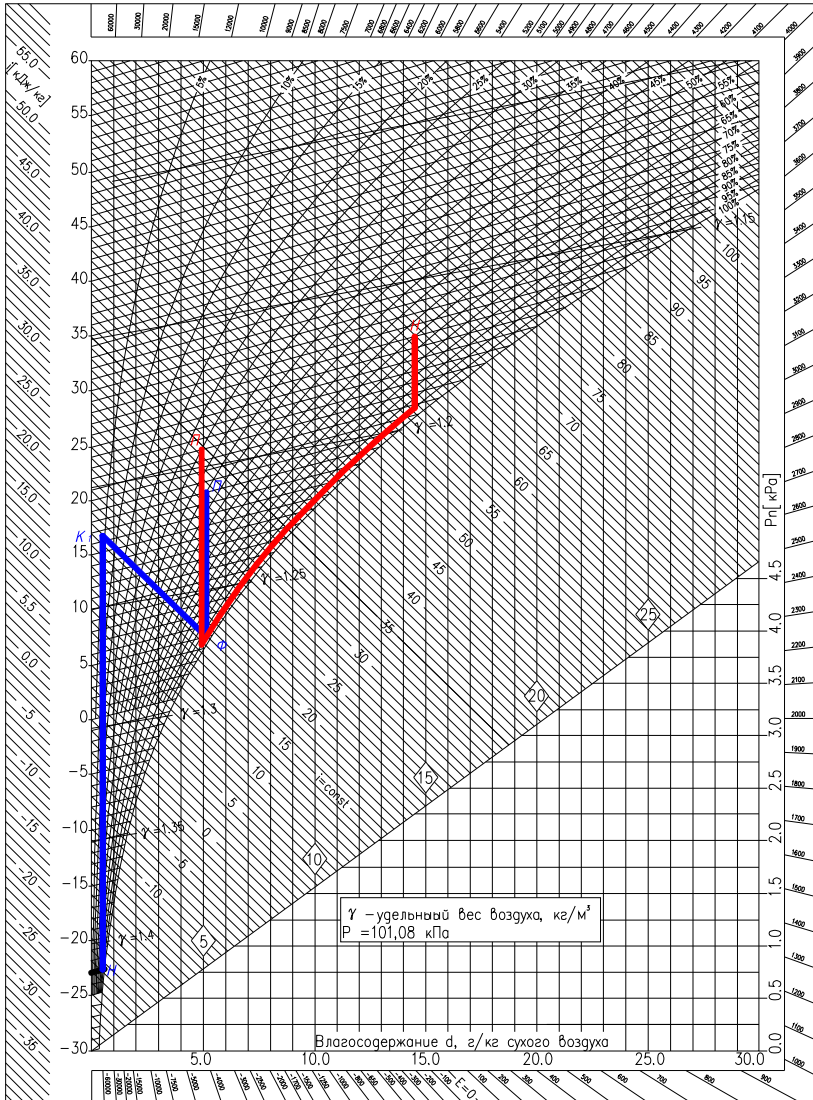


Рис. 4.5. Процессы обработки воздуха в теплый и холодный периоды года

Определим режимные показатели работы установки КВ в холодный период года: изменение энтальпии при первом подогреве приточного воздуха составляет $\Delta I_I^{хл} = 18 - (-22) = 40$ кДж/кг, изменение

[illegible]

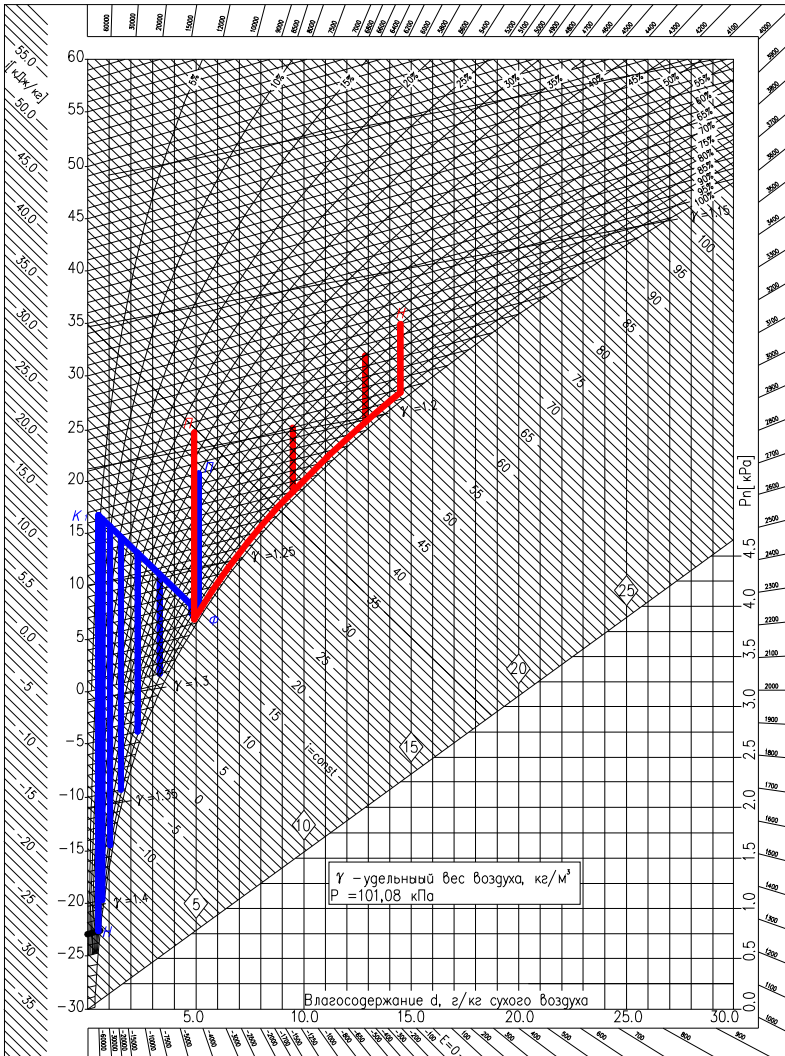


Рис. 4.6. Процессы обработки воздуха при промежуточных значениях температуры наружного воздуха

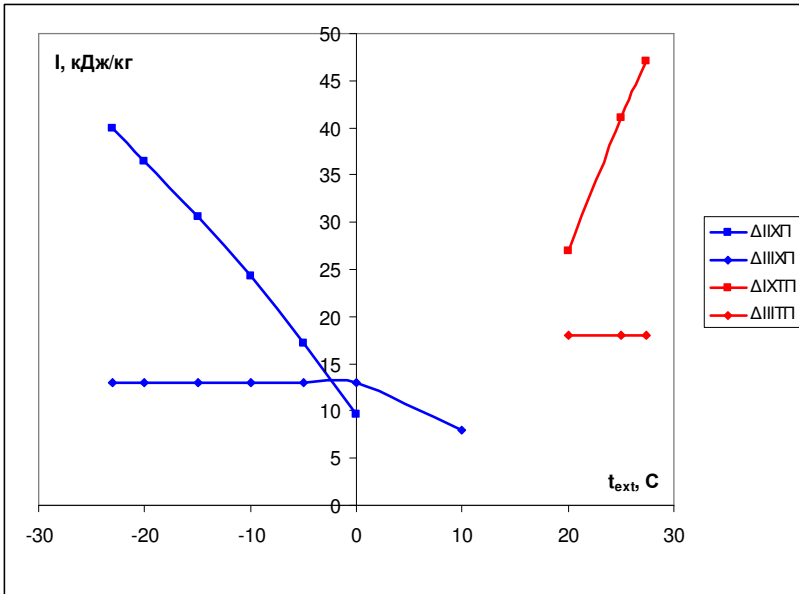


Рис. 4.7. Изменение энтальпий воздуха при обработке его в течение года

На основании известных (табл. 4.1) изменений энтальпий воздуха определим требуемые температуры нагрева и охлаждения воздуха в холодный и теплый периоды года и расходы теплоты и холода, сведем их в табл. 4.2 и построим графики (рис. 4.8)

Таблица 4.2

Изменение характерных температур и тепловых потоков при обработке воздуха в течение года

Параметр	Значение параметра при температуре наружного воздуха, °C									
	-23	-20	-15	-10	-5	0	10	20	25	27,4
t_I^{XII}	16,5	16	15	14	12	9,5	-	-	-	-
Q_I^{XII}	71	64	54	43	30	17	-	-	-	-
Q_{II}^{XII}	23	23	23	23	23	23	14	-	-	-
t_X^{III}	-	-	-	-	-	-	-	4,5	4,5	4,5
Q_X^{III}	-	-	-	-	-	-	-	48	72	83
Q_{II}^{III}	-	-	-	-	-	-	-	32	32	32

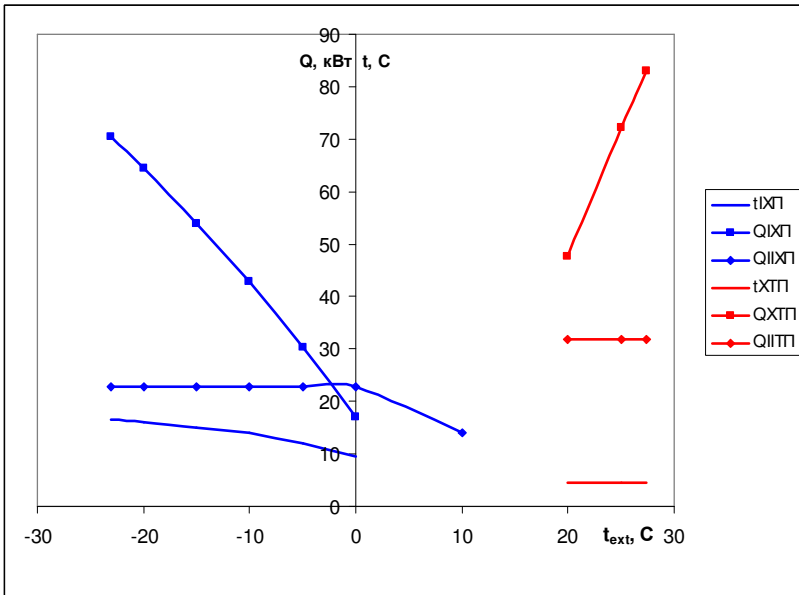


Рис. 4.8. Изменение характерных температур и тепловых потоков при обработке воздуха в течение года

Таким образом, получены режимные характеристики процесса обработки воздуха в СКВ и расходы тепла и холода в течение года. Из полученных графиков можно сделать вывод о нелинейном процессе нагрева воздуха в калорифере первого подогрева в холодный период года и отсутствии потребности в первом подогреве воздуха при энтальпии наружного воздуха выше расчетной энтальпии воздуха после оросительной камеры.

Контрольные вопросы к главе 4

1. Температура, влажность, влагосодержание и энтальпия влажного воздуха.
2. Определение расчетных параметров наружного воздуха для СКВ.
3. Определение параметров подаваемого воздуха для систем СКВ.
4. Классификация процессов тепловлажностной обработки воздуха в СКВ.
5. Построение процессов нагревания воздуха на I-d диаграмме.

6. Построение процессов увлажнения воздуха на I-d диаграмме.
7. Построение процессов осушения воздуха на I-d диаграмме.
8. Расчет потребности в тепле и холоде для процессов обработки воздуха.
9. Построение процесса обработки воздуха в СКВ в теплый период года.
10. Построение процесса обработки воздуха в СКВ в холодный период года.
11. Регулирование режимных параметров обработки воздуха в СКВ в теплый период года.
12. Регулирование режимных параметров обработки воздуха в СКВ в холодный период года.
13. Изменение потребности в тепле СКВ в холодный период.
14. Изменение потребности в тепле и холоде СКВ в теплый период.
15. Особенности регулирования СКВ в переходный период.

Заключение

Климатическое регулирование инженерных систем позволяет поддерживать нормируемые параметры микроклимата в помещениях в условиях изменяющихся параметров наружного воздуха в оптимальных (допустимых) пределах, установленных [5]. Поддержание параметров микроклимата возможно путем применения современных средств автоматического регулирования тепловлажностных параметров работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха с помощью соответствующих режимы работы оборудования алгоритмов регулирования.

Снижение пиковых и годовых тепловых нагрузок климатических систем является важной задачей повышения энергоэффективности зданий. Пути повышения энергоэффективности являются: применение современных систем автоматического регулирования теплового режима систем отопления, теплоотдачи отопительных приборов, повышение степени тепловой защиты зданий, климатическое регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха, применение рециркуляции воздуха и рекуперации тепла и холода в климатических системах.

Библиографический список

1. СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения
2. СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные
3. СНиП 23-01-99* Строительная климатология
4. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий
5. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях
6. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
7. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий
8. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003
9. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование
10. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003
11. Малявина Е.Г. Теплотери здания. Справочное издание. - М.: АВОК-Пресс, 2007. - 235 с.
12. СНиП 31-05-2003 Общественные здания административного назначения
13. Кувшинов Ю.Я. Расчет годовых расходов энергии системами вентиляции и кондиционирования воздуха // АВОК. 2006. №7. с.
14. Пособие 9.91 к СНиП 2.04.05-91 Годовой расход энергии системами отопления, вентиляции и кондиционирования. – М.: Промстройпроект, 1993. – 32 с.
15. Рекомендации по применению чугунных секционных двухколонных радиаторов 2КП60П и 2К60. – ООО «Витатерм», 2000. – 43 с.

Учебное издание

Феоктистов Алексей Юрьевич

ТЕПЛОВОЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ ЗДАНИЙ

Учебное пособие

Подписано в печать _____ Формат _____. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____.

Тираж экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46