

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	6
Вопросы для самоконтроля	10
2. ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ	11
Вопросы для самоконтроля	14
3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ КЛИМАТИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ	15
3.1. Возможные направления энергосбережения и их сравнительная эффективность	15
3.2. Утилизаторы теплоты вытяжного воздуха	21
3.3. Расчет схемы утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем	26
3.4. Комбинированные схемы обработки воздуха с использованием теплоутилизации и рециркуляции	33
3.5. Использование теплонасосных установок для утилизации теплоты вытяжного воздуха	37
3.6. Автоматические терморегуляторы (термоклапаны) и балансировочные клапаны в системах водяного отопления	39
3.7. Оценка эффективности устройств регенерации теплоты и снижения энергопотребления	42
Вопросы для самоконтроля	48
4. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	49
4.1. Виды систем теплоснабжения	50
4.2. Классификация систем теплоснабжения и потребителей теплоты	51
4.3. Расчет тепловых нагрузок	54
4.4. Построение графика качественного регулирования отпуска теплоты на отопление	58
4.5. Теплообменные аппараты в системе теплоснабжения	63
4.6. Присоединение абонентов к тепловым сетям	67
4.7. Реконструкция системы теплоснабжения	70
Вопросы для самоконтроля	74
5. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	75
5.1. Основные свойства и состав газообразного топлива	75
5.2. Схема магистральных газопроводов	79
5.3. Системы газораспределения городов и населенных пунктов	81
5.4. Режим потребления газа	84
5.5. Определение расхода газа городом	88
5.6. Расход теплоты и расчет газопотребления на отопление, вентиляцию и централизованное горячее водоснабжение жилых и общественных зданий	90
5.7. Гидравлический расчет кольцевых распределительных газопроводов низкого давления	92
5.8. Гидравлический расчет магистральных газопроводов высокого или среднего давления	96
5.9. Газоиспользующее оборудование	99
Вопросы для самоконтроля	103
6. ЭКОНОМИКА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	104
6.1. Расчет составляющих затрат и выбор экономически целесообразного варианта	104
6.2. Примеры сравнения вариантов энергосберегающих технических решений	107
6.3. Понятие о технико-экономической оптимизации	112
6.4. Пример оформления теплотехнического и технико-экономического расчета вариантов конструкции наружных ограждений	115
Вопросы для самоконтроля	117
Библиографический список	118

ВВЕДЕНИЕ

Учебник по дисциплине «Энергоэффективность систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха» предназначен для подготовки бакалавров по направлению 08.03.01 Строительство (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция», ТГВ). Содержание учебника соответствует рабочей программе дисциплины и в значительной мере ориентировано на курс лекций, читаемых в НИУ МГСУ.

Цель курса — формирование компетенций обучающегося в области оценки энергоэффективности инженерных решений, разработки и использования энергосберегающих мероприятий для решения задач теплоснабжения, газоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности.

Курс базируется на результатах изучения предшествующих дисциплин профиля, в первую очередь таких, как: «Строительная теплофизика и микроклимат зданий», «Отопление», «Вентиляция и кондиционирование воздуха», «Теплоснабжение» и «Газоснабжение». В процессе освоения курса обучающиеся будут приобретать необходимые знания, умения и навыки по работе с действующей нормативной базой Российской Федерации в области энергосбережения и энергоэффективности, по энергоэффективному проектированию теплозащиты зданий, по современным конструкциям энергосберегающего оборудования и схемным решениям в области инженерных систем зданий и населенных мест, а также по методам технико-экономической оценки принимаемых решений и выбору их экономически оптимального варианта.

1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Важнейшим государственным программным документом в сфере энергосбережения в России является Федеральный закон № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [1]. Кроме того, к таким документам относится «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года» (далее — ЭС-2035) [2], утвержденная распоряжением Правительства РФ № 1523-р от 9 июня 2020 года. В ЭС-2035 предписывается необходимость снижения удельных показателей загрязнения окружающей среды предприятиями топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и минимизация негативного воздействия потребления энергоресурсов на окружающую среду, климат и здоровье людей, а энергосбережение является одним из ключевых направлений указанного процесса. В ее предыдущих вариантах констатировалось [3], что в стране сложилась крайне высокая энергоемкость экономики, в 3–4 раза превышающая удельную энергоемкость экономики развитых стран Запада. В условиях повышения экономических и экологических факторов в жизни общества это снижает конкурентоспособность отечественных товаров не только на мировом, но и на внутреннем рынке. Следует также иметь в виду, что для экономически развитых стран с 80-х годов вообще произошел переход к ресурсо- и энергосберегающему типу развития на новой технологической основе. В частности, увеличение за это время ВВП США на 38 % произошло практически без роста энергопотребления, а в целом для стран-членов ОЭСР коэффициент эластичности спроса на первичную энергию по ВВП составил к 1984 году лишь 0,15. При этом изменение цен на топливо (их стабилизация и даже снижение) уже не останавливает начавшегося процесса энергосбережения.

Поэтому коренное повышение энергоэффективности экономики является центральной задачей ЭС-2035. Для повышения действенности энергосберегающей политики ЭС-2035 предполагает осуществление целостной системы правовых, административных и экономических мер. В частности, имеется в виду пересмотр существующих норм в направлении ужесточения требований к энергосбережению, совершенствование правил учета и контроля энергопотребления, установление стандартов энергопотребления, проведение регулярного энергетического аудита, представление государственных гарантий и прямой финансовой поддержки энергосберегающих проектов.

В соответствии с Законом № 261-ФЗ, под *энергоэффективностью* понимается отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Если речь идет не о приборах и оборудовании, которые непосредственно потребляют энергию и создают конкретный продукт, а о пассивных системах и конструкциях (например об ограждениях здания), смысл энергоэффективности в этом случае целесообразно понимать несколько иначе — как степень приближения к минимально возможному для имеющихся условий расходу энергоресурсов, необходимых для функционирования здания и его инженерных систем. В таком случае энергоэффективность характеризуется коэффициентом снижения энергопотребления и коэффициентом полезного использования энергии зданием.

Коэффициент снижения энергопотребления — отношение снижения суммарного удельного годового энергопотребления здания за счет повышения теплозащиты ограждающих конструкций и применения энергосберегающих мероприятий при проектировании инженерных систем здания к величине суммарного удельного годового энергопотребления в базовом варианте.

Коэффициент полезного использования энергии зданием — отношение количества энергии, полезно использованной для функционирования здания и его инженерных систем в течение года, к расходу энергии, поданной за год в здание от внешнего источника, в пересчете на первичное топливо.

Необходимость комплексного подхода к осуществлению энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и в пер-

вую очередь систем обеспечения их микроклимата не подлежит сомнению и обусловлена главным образом сокращением запасов минерального сырья, ископаемого органического топлива и, как следствие, их постоянным удорожанием. Следовательно, с экономической точки зрения энергосбережение не является самоцелью, а лишь средством для снижения суммарных затрат на возведение и последующую эксплуатацию здания. Поэтому всегда представляет интерес вопрос о выборе оптимального сочетания инженерных решений, обеспечивающих экономически обоснованное снижение энергопотребления. Но для этого нужно представлять себе структуру энергетического баланса здания и связанные с ней возможности изменения энергозатрат по различным составляющим баланса. В таблице «Энергетический баланс зданий» представлена такая структура по данным разных источников [3] для зданий, построенных до 1995 года, но составляющих до сих пор большую часть имеющейся застройки.

Таблица

Энергетический баланс зданий (без учета электропотребления)

Здания	Доля в общих энергозатратах, %			
	Трансмиссионные теплопотери	Инфильтрация и подогрев воздуха для вентиляции	Всего на отопление и вентиляцию	Горячее водоснабжение (ГВС)
Жилые	28–42	30–48	70–78	22–30
Общественные	39–48	47–53	92–95	5–8

Таким образом, в жилых зданиях энергозатраты по всем составляющим сопоставимы, в общественных зданиях относительно меньше доля ГВС, но в обоих случаях наибольший вклад вносит подогрев инфильтрующегося или вентиляционного воздуха. Поэтому невозможно ограничиваться только одним повышением теплозащиты ограждающих конструкций — необходимы мероприятия, касающиеся и других направлений энергосбережения.

Для создания законодательной базы, позволяющей решать проблемы по оперативному внедрению новых инженерных решений и технологий, в том числе и в области энергосбережения, а также для устранения законодательных препятствий для бизнеса, реализующего инновационные проекты, был принят Федеральный закон № 184-ФЗ от 27 декабря 2002 года «О техническом регулировании» (далее — ЗТР) [4] с последующими изменениями.

Основное содержание ЗТР заключается в коренном изменении подхода к техническому регулированию и разделению всех нормативных документов на два типа [5]. Первый — обязательные документы (технические регламенты), содержащие исключительно требования безопасности, защиты жизни и здоровья людей, растений и животных, охраны окружающей среды и предотвращения введения потребителей в заблуждение и утверждаемые в виде федерального закона или постановления Правительства РФ. Такие документы «с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие безопасность» (промышленную, пожарную, механическую и т.д.), а также единство измерений (статья 7 ЗТР [4]). Второй тип — все остальные документы (национальные стандарты, утверждаемые национальным органом по стандартизации; своды правил, утверждаемые иными органами исполнительной власти при отсутствии национальных стандартов, а также стандарты организаций). Они являются документами добровольного применения. При этом «со дня вступления в силу настоящего Федерального закона впредь до вступления в силу соответствующих технических регламентов требования, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, подлежат обязательному исполнению только в части, соответствующей целям: защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного

или муниципального имущества; охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей» (статья 46 ЗТР [4]).

Таким образом, ЗТР допускает также и разработку стандартов организаций (коммерческих, общественных, научных и т.д.) добровольного применения.

В этой связи существенно расширяются возможности по разработке, принятию и использованию документов, соответствующих концепции оптимального нормирования, особенно если учесть, что согласно упомянутому закону добровольные нормы могут быть признаны обязательными для контрагентов по договору между заказчиком и подрядчиком. Основную концепцию ЗТР можно свести к тому, что главная задача технических норм — показать, как НЕЛЬЗЯ проектировать, строить и эксплуатировать здания (технические регламенты) и как МОЖНО это делать (все остальные документы). Но нельзя требовать от нормативов, чтобы они показывали, как НУЖНО строить, поскольку при современном уровне развития науки и техники достижение параметров, превышающих минимально допустимые значения, в большинстве случаев возможно несколькими способами, и фиксировать в нормах только один из них — означает давать необоснованные предпочтения одной определенной научной или практической школе и существенно ограничивать внедрение в широкое использование результатов научных исследований и практического опыта [6–7].

В развитие ЗТР 29 июня 2015 года был также принят Федеральный закон № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» [8]. Он относится в основном к национальным стандартам (ГОСТ), сводам правил и стандартам организаций, т.е. к добровольным документам в соответствии с ЗТР, и определяет их области применения, порядок разработки и утверждения, а также способы распространения.

Следует иметь, однако, в виду, что СНиП и ГОСТ, если они разработаны удачно и соответствуют современному уровню развития науки и техники, содержат надежные, апробированные решения и рекомендации, основанные на опыте производства и строительства. Но это не означает, что нельзя использовать и какие-либо другие методы расчетов и проектирования, если кому-то удастся предложить лучший вариант, разумеется, в рамках соблюдения требований безопасности. Другое дело, что это повышает ответственность разработчиков научных, проектных и производственных решений, а схема страхования рисков от такого рода деятельности у нас в стране еще должным образом не отработана.

Наконец, во исполнение правительственной программы по разработке технических регламентов был принят Федеральный закон № 384-ФЗ от 30 декабря 2009 года «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [9] (далее — ТР БЗС), вступивший в силу с 1 июля 2010 года. В соответствии с частью 3 статьи 42 ТР БЗС распоряжением Правительства РФ № 1047-р от 21 июня 2010 года (утратило силу с 1 июля 2015 года) был утвержден перечень действующих на тот момент национальных стандартов и сводов правил, а также их частей, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований ТР БЗС. Таким образом, указанное распоряжение фактически предусматривало «распаковку» существующих документов с выделением из них обязательных и добровольных составляющих. В настоящее время производится пересмотр нормативной базы в области строительства для приведения ее в соответствие с изменившимися требованиями законодательства, а именно во исполнение части 6 статьи 6 ТР БЗС, где указывается о необходимости такого пересмотра для документов, содержащих обязательные требования, не реже, чем раз в пять лет. Сейчас действуют следующие актуализированные редакции:

- СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий» [10] (предыдущие редакции: СП 50.13330.2012, СНиП 23-02-2003);

- СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [11] с изменениями № 1, 2 (предыдущие редакции: СП 131.13330.2018, СП 131.13330.2012, СНиП 23-01-99*);

– СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [12] с поправкой и изменениями № 1–4 (предыдущие редакции: СП 60.13330.2016, СП 60.13330.2012, СНиП 41-01-2003) и некоторые другие.

Кроме того, эта же статья предусматривает и возможность существования альтернативных документов, имеющих обязательный статус и регулирующих одну и ту же область нормирования, что является дальнейшим развитием идей, заложенных в ЗТР, хотя в настоящее время подобных нормативов пока не существует. Для обеспечения возможности применения актуализированных редакций СНиП и их частей на обязательной основе 26 декабря 2014 года Правительством РФ было принято следующее постановление № 1521, вступившее в силу с 1 июля 2015 года с последующими изменениями: № 1033 от 29 сентября 2015 года; № 1307 от 7 декабря 2016 года; № 985 от 4 июля 2020 года; № 815 от 28 мая 2021 года. В частности, для СП 50.13330.2012 обязательными являлись разделы 4 (пункты 4.3–4.4 — влажностный режим помещений в холодный период и условия эксплуатации ограждающих конструкций) и 5 (пункты 5.1–5.5, 5.7 — требования к теплозащите зданий). Сюда же входят и части разделов 7 (пункт 7.3 — нормируемая поперечная воздухопроницаемость), 8 (подпункты «а» и «б» пункта 8.1 — требуемое сопротивление паропрооницанию, пункты 8.5 и 8.7 — плоскость максимального увлажнения и сопротивление паропрооницанию), 9 (пункт 9.1 — нормируемое теплоусвоение полов), а также приложения Г и Е. Последняя редакция СП 50.13330 от 2024 года в такой перечень уже не вошла, поскольку сам перечень был отменен (см. ниже). Для СП 131.13330.2018 (утратил силу с 24 декабря 2020 года) в обязательные были включены разделы 1, 3–13, т.е. практически весь документ, кроме «Основных положений» и приложений, которые являются справочными.

В соответствии с положениями ЗТР 2 апреля 2020 года принят и вступил в силу приказ Росстандарта № 687 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"» (с изменениями), предписывающий применение на добровольной основе актуализированных нормативных документов:

– СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (последняя редакция — СП 50.13330.2024, несмотря на ее появление до введения изменений к рассматриваемому приказу, в него пока не вошла);

– СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»;

– СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»;

– СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» (с изменениями № 1 и 2) [13];

– СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» (с изменениями № 1 и 2) [14].

Впоследствии 20 мая 2022 года было принято постановление Правительства РФ № 914 (введено с 1 сентября 2022 года и утратило силу с 1 сентября 2024 года), в котором был радикально сокращен перечень обязательных документов и их частей, в сфере ТГВ остались лишь разделы СП 20.13330.2016 («Нагрузки и воздействия») и СП 131.13330.2020 (разделы 3–13). Таким образом, использование СП 131.13330.2020 является обязательным, а остальных документов — добровольным (с подтверждением соответствия требованиям ТР БЗС). Наконец, 6 мая 2024 года постановлением Правительства РФ «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» № 589 [15] данный перечень полностью отменен и оставлено лишь требование о необходимости обоснования проектных решений одним из следующих способов в соответствии с частью 6 статьи 15 ТР БЗС (в том числе и с помощью документов, входящих в добровольный перечень по приказу Росстандарта № 687):

– результаты исследований;

- расчеты и (или) испытания;
- моделирование сценариев возникновения опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий, в том числе при неблагоприятном сочетании опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий;
- оценка риска возникновения опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий [9].

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называется энергоэффективностью?
2. Какими показателями характеризуется энергоэффективность?
3. Приведите и проанализируйте структуру энергетического баланса жилых и общественных зданий.
4. Каковы основные положения Федерального закона «О техническом регулировании»?
5. Каковы основные положения Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации»?
6. Каковы основные положения статьи 6 ТР БЗС?
7. Какие документы в соответствии с приказом Росстандарта № 687 и его последующими изменениями относятся к документам добровольного применения?
8. Перечислите возможные способы обоснования проектных решений в соответствии с частью 6 статьи 15 ТР БЗС.

2. ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

Особенностью СП 50.13330.2012 и всех последующих его изданий, вплоть до 2024 г. включительно [5], по сравнению с редакцией СНиП 23-02-2003 является введение понятия *удельной теплозащитной характеристики здания* $k_{об}$, Вт/(м³·К). По определению она равна отношению суммарных теплопотерь за счет теплопередачи через наружные ограждающие конструкции $Q_{т/п}$, Вт, к отапливаемому объему здания $V_{от}$, м³, и к расчетной разности температур внутреннего и наружного воздуха $(t_b - t_{н5})$, °С (формулы (Д.1)–(Д.3) в СП 50.13330.2024 [10]):

$$k_{об} = \frac{Q_{т/п}}{V_{от}(t_b - t_{н5})} = \frac{\sum \left(\frac{n_i A_i}{R_i} \right) (t_b - t_{н5})}{V_{от}(t_b - t_{н5})} = \frac{\sum \left(\frac{n_i A_i}{R_i} \right)}{V_{от}} = \frac{\sum A_i}{V_{от}} \frac{\sum \left(\frac{n_i A_i}{R_i} \right)}{\sum A_i} = K_{комп} K_{общ}, \quad (2.1)$$

где $K_{общ}$, Вт/(м²·К) — общий коэффициент теплопередачи оболочки здания; $K_{комп}$ — коэффициент компактности здания, м^{−1}; A_i и R_i — соответственно площадь, м², и сопротивление теплопередаче, м²·К/Вт, i -го наружного ограждения (наружных стен, окон, покрытий, перекрытий над техподпольем, полов по грунту и т.д.); n_i — коэффициент положения i -го ограждения по отношению к наружному воздуху. Для основных ограждений можно использовать значения: наружные стены, окна, бесчердачные покрытия, полы по грунту — 1,0; чердачные перекрытия — 0,9; полы над неотапливаемыми подвалами — 0,6. Разность температур $(t_b - t_{н5})$ в выражение для $k_{об}$ уже не входит, поскольку сокращается при делении числителя на знаменатель. Следовательно, при использовании величины $k_{об}$ теплозащитные свойства оболочки можно охарактеризовать более полно, потому что она сочетает сразу два показателя: $K_{комп}$ и $K_{общ}$. Расчет $k_{об}$ описан в прил. Д СП 50.13330.2024 [10].

Предельный уровень этой характеристики ограничивается нормируемой величиной $k_{об}^{тр}$ в зависимости от значения $V_{от}$ и градусо-суток отопительного периода в районе строительства ГСОП, °С·сут/год (формула (5.5) СП 50.13330.2024 [10]):

$$k_{об}^{тр} = \frac{4,74}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} \quad \text{для } V_{от} \leq 960 \text{ м}^3;$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \quad \text{для } V_{от} > 960 \text{ м}^3. \quad (2.2)$$

Значения R_i принимаются по выражению

$$R_o^{\text{норм}} = R_o^{\text{тр}} m_p,$$

где $R_o^{\text{тр}}$ — базовое значение, определяемое через ГСОП по табл. 3 СП 50.13330.2024 [10]; m_p — региональный коэффициент, минимальный уровень которого составляет: 0,63 — для наружных стен; 1,0 — для светопрозрачных конструкций, а также покрытий и перекрытий для зданий второй и третьей категорий (по табл. 3 СП 50.13330.2024 [10]); 0,8 — для всех остальных. Затем проверяется условие $k_{об} \leq k_{об}^{тр}$. Если оно не выполняется, необходимо брать $m_p > 1$. Снижение показателя m_p до указанных выше пределов в соответствии с СП 50.13330.2024 допускается в случае выполнения требований по расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике прил. Б СП 50.13330.2024 [10]. Одновременно при необходимости определяют, насколько можно уменьшить одно из значений m_p при увеличении другого, чтобы сохранить при этом значение $k_{об}$ на необходимом уровне. Допускается снижение показателя m_p при строгом выполнении условия $k_{об} < k_{об}^{тр}$.

Оценка энергоэффективности здания в соответствии с требованиями действующего СП 50.13330.2024 в основном сводится к расчету удельной характеристики расхода тепло-

вой энергии на отопление и вентиляцию $q_{от}^p$, Вт/(м³·К), по методике прил. Б данного документа (формула (Б.1) [10]):

$$q_{от}^p = k_{об} + k_{вент} - \beta_{КПИ} (k_{быт} + k_{рад}), \quad (2.3)$$

где параметры $k_{об}$, $k_{вент}$, $k_{быт}$ и $k_{рад}$, Вт/(м³·К), представляют собой соответственно удельную теплозащитную характеристику здания, удельную вентиляционную характеристику здания, удельную характеристику бытовых тепловыделений здания и удельную характеристику теплопоступлений в здание от солнечной радиации; $\beta_{КПИ}$ — коэффициент полезного использования теплопоступлений.

Величина $k_{об}$ рассчитывается по формуле (2.1); $k_{вент}$ — по нижеследующему равенству (формула (Б.3) [10]):

$$k_{вент} = \frac{0,28c (L_{вент} \rho_{вент}^{вент} n_{вент} (1 - k_{эф}) + G_{инф} n_{инф})}{168V_{от}}, \quad (2.4)$$

где c — удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·К); $L_{вент}$ — расчетный расход приточного воздуха в здание, м³/ч; $\rho_{вент}^{вент}$ — средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³, равная 353/(273 + $t_{от}$), где $t_{от}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный период; $n_{вент}$ — продолжительность работы механической вентиляции за неделю, выраженная в часах; $k_{эф}$ — коэффициент эффективности рекуператора (подробнее см. раздел 3 данного курса); $G_{инф}$ — общий массовый расход инфильтрующегося воздуха в здание, кг/ч; $n_{инф}$ — число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 — для зданий со сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией и (168 – $n_{вент}$) — для зданий, в помещениях которых поддерживается подпор воздуха во время действия приточной механической вентиляции; $V_{от}$ — отапливаемый объем здания.

Таким образом, здесь уже учитывается на уровне расчетных формул возможность использования утилизации теплоты вытяжного воздуха.

Характеристика $k_{быт}$ вычисляется по нижеследующему равенству (формулы (Б.7) – (Б.8) [10]):

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} A_{ж}}{V_{от} (t_{в} - t_{от})}, \quad (2.5)$$

где $q_{быт}$ — величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений $A_{ж}$, принимаемая от 10 до 17 Вт/м² в зависимости от заселенности (соответственно более 45 и менее 20 м² общей площади на человека), или расчетной площади A_p общественного здания.

Характеристика $k_{рад}$ вычисляется по следующему выражению (формула (Б.9) [10]):

$$k_{рад} = \frac{11,6Q_{рад}^{год}}{V_{от} \cdot \text{ГСОП}}, \quad (2.6)$$

где $Q_{рад}^{год}$ — теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации за отопительный период, МДж/год.

Множитель $\beta_{КПИ}$ определяется по выражению (формула (Б.2) [10])

$$\beta_{КПИ} = \frac{K_{рег}}{(1 + 0,5n_{в})}, \quad (2.7)$$

где $K_{рег}$ — коэффициент эффективности регулирования подачи теплоты в системах отопления; $n_{в}$ — средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч^{–1}.

Полученное значение $q_{от}^p$ используется для вычисления фактического удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, кВт·ч/(м³·год):

$$q = 0,024 \cdot \text{ГСОП} \cdot q_{от}^p, \quad (2.8)$$

или в качестве варианта для получения результата в размерности кВт·ч/(м³·год) значение нужно домножить на h — высоту этажа, м.

Величина $q_{от}^p$ затем сравнивается с требуемым уровнем $q_{от}^{тр}$ приведенным в табл. 13 и 14 СП 50.13330.2024 [10], после чего делается вывод о соответствии здания нормам удельного энергопотребления. При этом для многоквартирных жилых домов следует учитывать правила определения класса энергетической эффективности в соответствии с приказом Минстроя России «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» № 399/пр от 6 июня 2016 года, где устанавливается базовый уровень удельного годового расхода энергетических ресурсов в многоквартирном доме (на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и общедомовые нужды) в кВт·ч/м². В редакциях СП 50.13330.2018 и более ранних существовало понятие класса энергетической эффективности (или энергосбережения) здания, который определялся сравнением значений $q_{от}^p$ и $q_{от}^{тр}$. Для нового строительства рекомендовался один из трех следующих классов: *A* (очень высокий) с $q_{от}^p$ ниже, чем $q_{от}^{тр}$ на 40 % и более; *B* (высокий), для которого $q_{от}^p$ ниже, чем $q_{от}^{тр}$ на величину от 15 до 40 %; *C* (нормальный), с отклонением $q_{от}^p$ от $q_{от}^{тр}$ в пределах от +15 % до –15 %.

Расчет завершается составлением энергетического паспорта здания (прил. В СП 50.13330.2024 [10]).

В качестве примера приведем результаты расчетов $k_{об}$, $k_{об}^{тр}$, а также $q_{от}^p$ и $q_{от}^{тр}$ (в размерности Вт/(м³·К)) для характерного здания-представителя — средней школы по типовому проекту 221-1-25-387 в трех регионах России с различными климатическими условиями [5].

Величина $V_{от}$ для данного здания равна 10 100 м³, а коэффициент компактности $K_{комп}$, м⁻¹, представляющий собой отношение суммарной площади наружных ограждений $\sum A_i$, м², к $V_{от}$, м³, для данного объекта равен 0,423. Средняя кратность воздухообмена механической вентиляции в рабочее время $n_{раб} = 1,5$ ч⁻¹, продолжительность рабочего времени — 10 часов в сутки, тогда $n_b = 1,5 \cdot 10/24 = 0,625$ ч⁻¹. Значение $q_{быт}$ принято по расчету [3] равным 14,9 Вт/м². Если взять для примера, скажем, Краснодар (ГСОП = 2682 по СП 131.13330.2012), Москву (ГСОП = 4944) и Воркуту (ГСОП = 8905), получается следующая картина. В табл. «Теплоэнергетические показатели зданий образовательных учреждений» приведены значения $k_{об}$ и $q_{от}^p$ для двух вариантов: 1 — требуемое сопротивление теплопередаче ограждений $R_o^{тр}$, м²·К/Вт, непосредственно по табл. 3 СП 50.13330.2024 [10], т.е. при $m_p = 1,0$; 2 — с минимально допустимыми значениями m_p (0,63 — для наружных стен, 1,0 — для светопрозрачных конструкций и 0,8 — для полов, потолков и т.д.). Коэффициент эффективности рекуператора k был принят равным нулю, чтобы получить максимально возможную величину $q_{от}^p$. В этом случае, если даже при $k = 0$ окажется, что $q_{от}^p < q_{от}^{тр}$, то при $k > 0$ это условие будет соблюдаться еще лучше. Требуемый по табл. 14 СП 50.13330.2024 [10] уровень энергопотребления $q_{от}^{тр}$, Вт/(м³·К), указан в третьей колонке, а вычисленные по выражению (2.2) (формула (5.5) СП 50.13330.2024 [10]) значения $k_{об}^{тр}$ — в шестой. В двух последних колонках таблицы «Теплоэнергетические показатели зданий образовательных учреждений» для наглядности приведены характеристика $k_{вент}$, Вт/(м³·К), и сумма характеристик ($k_{быт} + k_{рад}$) в той же размерности.

Таблица

Теплоэнергетические показатели зданий образовательных учреждений

Регион	ГСОП	$q_{от}^{тр}$	$q_{от}^p$		$k_{об}^{тр}$	$k_{об}$		$k_{вент}$	$k_{быт} + k_{рад}$
			Вариант 1	Вариант 2		Вариант 1	Вариант 2		
Краснодар	2682	0,440	0,262	0,314	0,271	0,238	0,284	0,189	0,244
Москва	4944	0,440	0,243	0,282	0,207	0,169	0,203	0,195	0,186
Воркута	8905	0,418	0,226	0,253	0,147	0,12	0,143	0,198	0,147

Таким образом, оказывается, что даже после допустимого снижения теплозащиты величина $q_{от}^p$ будет ниже, чем $q_{от}^{тр}$ и довольно существенно, особенно в северных районах, даже при

отсутствии утилизации теплоты в системах вентиляции. Условие $k_{об} \leq k_{об}^{тр}$ тоже при этом соблюдается практически всегда, и только в самых южных районах во втором варианте наблюдается небольшое превышение. Это означает, что значения m_p при этом следует брать не на минимально допустимом уровне, а несколько выше его, но в любом случае меньше единицы, так как в первом варианте $k_{об}$ и здесь существенно меньше, чем $k_{об}^{тр}$. Таким образом, m_p можно принимать меньше единицы практически всегда.

Следует отметить, что значения R_i для светопрозрачных конструкций значительно зависят от температуры наружного воздуха. Поэтому при расчете $k_{об}$ для последующего вычисления $q_{от}^p$ и оценки ее соответствия нормам удельного энергопотребления здания, в отличие от расчета для проверки условия $k_{об} \leq k_{об}^{тр}$, величину R_i для окон, строго говоря, необходимо принимать для средних условий отопительного периода. Авторами некоторых работ [16–17] показывается, что для современных заполнений светопроемов в виде стеклопакетов повышающий коэффициент к расчетному значению R_i должен составлять около 1,13.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите основные положения по выбору теплозащиты зданий в соответствии с СП 50.13330.2024.
2. Что такое удельная теплозащитная характеристика здания и как она вычисляется?
3. Что такое удельная вентиляционная характеристика здания и как она вычисляется?
4. Что такое удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации и как они вычисляются?
5. Что такое удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию и как она вычисляется?
6. Покажите на примере возможность снижения теплозащиты ограждений при выполнении требований СП 50.13330.2024 по суммарному удельному энергопотреблению здания.
7. Как можно учесть изменение сопротивления теплопередаче окон в течение отопительного периода при оценке класса энергосбережения здания?

3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ КЛИМАТИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ

3.1. ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

В соответствии с различными источниками [3] в РФ принята следующая классификация энергосберегающих мероприятий:

- малозатратные и безынвестиционные, которые сводятся к наведению порядка при использовании топлива и энергии, т.е. устранение потерь энергоносителей, соблюдение энергоэкономичных технологических режимов, оснащение потребителей счетчиками энергоносителей, замена оборудования избыточной мощности и т.д.;
- капиталоемкие, требующие значительных целевых инвестиций и осуществляемые, только если эффект от энергосбережения в приемлемые сроки окупит затраты на их реализацию;
- сопутствующие, выполняемые в процессе технического перевооружения отрасли, в том числе при изменении структуры материалов, технологий и конечных продуктов.

Дополнительно также отмечаются:

- быстроокупаемые мероприятия (бездисконтная окупаемость до двух лет): утилизация сбросной теплоты и низкопотенциальных энергоресурсов, автоматизация и др.;
- мероприятия со сроками окупаемости 3–4 года, в том числе снижение потерь теплоты, внедрение регулируемых электроприводов насосов, вентиляторов и др.

В качестве основных малозатратных, быстроокупаемых и наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий в гражданских зданиях можно рассматривать следующие [3]:

- утепление несветопрозрачных наружных ограждений до оптимального уровня;
- замена остекления на более энергоэффективное;
- утилизация теплоты вытяжного воздуха. Наименее затратным является применение схемы с промежуточным теплоносителем;
- установка в системах ГВС индивидуальных водосчетчиков, смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором, а также применение ТНУ для подогрева воды;
- установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, дающая возможность учесть бытовые тепловыделения, а также теплопоступления от солнечной радиации через окна;
- другие мероприятия, возможные в конкретном проекте.

Для оценки сравнительной эффективности решений по снижению энергопотребления удобно использовать альтернативную методику, разработанную О.Д. Самариным для общественного стандарта РНТО строителей «Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий» СТО 17532043-001-2005 (далее — Стандарт РНТО). Стандарт РНТО был создан в соответствии с ЗТР и введен в действие с 1 января 2006 года постановлением расширенного заседания Бюро совета РНТО строителей от 28 октября 2005 года. Оценка энергоэффективности здания согласно этому документу основывается на сравнении двух вариантов устройства здания и его инженерных систем. Здесь и далее изложение дается по [3] с незначительными изменениями. За базисный вариант (далее — Вар. 1) принимаем здание без энергосберегающих мероприятий и с наружными ограждениями по санитарно-гигиеническим нормам, действовавшим до 1995 года, т.е. до начала повышения требований к теплозащите ограждений, но с использованием в качестве расчетной температуры наиболее холодных суток $t_{н1}$, °С, обеспеченностью 0,92 по данным СНиП 23-01-99* или, в настоящее время, СП 131.13330.2020 [11]:

$$R_1 = \frac{(t_{в.от} - t_{н1})n}{\alpha_b \Delta t^H}, \quad (3.1)$$

где $t_{в.от}$ — средняя температура внутреннего воздуха в здании для расчета системы отопления; α_b — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции, $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; Δt^H — нормируемый перепад температур между воздухом помещения и внутренней поверх-

ностью, принимаемый для зданий 1-й категории в размере 6 °С, а для зданий 2-й категории — 7 °С для наружных стен; для потолков соответственно 4 и 5,5 °С; для полов — 2 и 2,5 °С.

За альтернативный вариант (далее — Вар. 2) принимаем использование возможных энергосберегающих мероприятий, перечисленных выше.

Расчет сопротивлений теплопередаче по Вар. 2 производится по методике Стандарта РНТО (автор Г.С. Иванов), основанной на технико-экономической оптимизации теплозащитных свойств несветопрзрачных ограждений, исходя из текущей стоимости теплоизоляционных материалов и единовременных затрат на устройство теплоизоляции. Соответствующая формула выглядит так:

$$R_2 = m_0 R_1,$$

$$m_0 = n \left[1 + \sqrt{\frac{1 + (B - 1)}{n}} \right], \quad (3.2)$$

$$B = \frac{C_p}{R_1 \lambda_{yt} C_{yt}},$$

где R_1 и R_2 — сопротивления теплопередаче по Вар. 1 и Вар. 2, (м²·К)/Вт; $n = r_1/r_2$ — отношение коэффициентов теплотехнической однородности ограждающих конструкций соответственно до и после утепления, поэтому при $n = 1$ значение $m_0 \approx 1 + \sqrt{B}$; C_p — стоимость дополнительных единовременных затрат сверх стоимости материала утеплителя, руб./м²; C_{yt} и λ_{yt} — соответственно стоимость утеплителя, руб./м³, и его теплопроводность, Вт/(м·К).

Оценка энергоэффективности зданий по Стандарту РНТО сводится к определению их энергетической эксплуатационной характеристики. Она равна удельным суммарным затратам $\sum Q_i$ тепловой и электрической энергии, кВт·ч/(м²·год), на 1 м² отапливаемой площади здания за один отопительный период в годовом цикле эксплуатации за вычетом теплопоступлений $Q_{т/п}$ от людей, электробытовых приборов и солнечной радиации через световые проемы:

$$q = 10^3 (\sum Q_i - Q_{т/п}) / F_{от} \quad (3.3)$$

Составляющие энергозатрат и теплопоступления вычисляются следующим образом [3].

А. Трансмиссионные теплотери, МВт·ч/год, за счет теплопередачи через ограждающие конструкции оболочки зданий следует определять по формуле

$$Q_1 = \beta_1 \beta_2 M \sum (n_i F_i / R_i) 10^{-3}, \quad (3.4)$$

где β_1 — коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты через ограждения, для жилых зданий $\beta_1 = 1,13$, для общественных $\beta_1 = 1,10$; β_2 — коэффициент учета округления тепловой мощности отопительных приборов, для протяженных зданий $\beta_2 = 1,13$, для зданий башенного типа $\beta_2 = 1,11$; $M = 0,024 \cdot \text{ГСОП}$ — характеристика отопительного периода, тыс. градусо-часов, $\text{ГСОП} = (t_b - t_{от}) z_{от}$, $t_{от}$, $z_{от}$ — средняя температура, °С, и продолжительность, сут, периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С по СП 131.13330.2020; n_i — коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, для наружных стен, окон, дверей, полов по грунту и бесчердачных покрытий $n_i = 1,0$; для чердачных покрытий — 0,9; для полов над неотапливаемыми подвалами — 0,6; F_i и R_i — площадь, м², и сопротивление теплопередаче, м²·К/Вт, ограждающих конструкций оболочки зданий: соответственно наружных стен, окон, балконных дверей, перекрытия над неотапливаемым подвалом или техническим подпольем, пола по грунту, чердачного перекрытия или покрытия и др. Значения R_i принимаются в зависимости от варианта энергосберегающих мероприятий.

Б. Энергозатраты, МВт·ч/год, на подогрев инфильтрующегося холодного воздуха или воздуха для вентиляции помещений здания следует определять по формуле

$$Q_2 = 10^{-3} \cdot 0,33 MVK_p, \quad (3.5)$$

где 0,33 — коэффициент, вычисляемый как $\rho c/3600$ (ρ — плотность, c — удельная теплоемкость воздуха), $\rho c/3600 = 1,29 \cdot 1006/3600$; V — отапливаемый объем здания, м³; K_p — эффективная кратность воздухообмена, ч⁻¹,

$$K_p = [(1 - k_{\text{эф}}) z_p K_{\text{праб}} + k(24 - z_p) K_{\text{рн}}]/24,$$

где $k_{\text{эф}}$ — коэффициент температурной эффективности устройств утилизации теплоты при наличии механической вентиляции, принимаемый равным нулю в случае отсутствия утилизации теплоты вытяжного воздуха. При наличии утилизации коэффициент принимается по проектным данным, а при их отсутствии — в размере 0,4–0,5 — при использовании утилизаторов с промежуточным теплоносителем; 0,5–0,55 — при использовании рекуперативных утилизаторов; 0,6–0,85 — при использовании вращающихся регенераторов; при использовании ТНУ — до 1,0;

z_p — продолжительность рабочего времени в учреждении;

$K_{\text{праб}}$ — кратность воздухообмена в рабочее время, ч⁻¹, $K_{\text{праб}} = L_{\text{расч}}/V$ ($L_{\text{расч}}$ — расчетный воздухообмен, м³/ч, определяемый по данным проекта или при отсутствии данных — по укрупненным показателям);

k — коэффициент учета встречного теплового потока при естественном воздухообмене здания; принимается равным: 0,7 — для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами; 0,8 — для окон и балконных дверей с раздельными переплетами; 1,0 — для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и для открытых проемов;

$K_{\text{рн}}$ — кратность воздухообмена в нерабочее время (при отсутствии данных может быть принята равной 0,5 ч⁻¹).

Примечание. Для жилых зданий вместо произведения VK_p следует применять произведение $3F_{\text{жил}}$, где $F_{\text{жил}}$ — суммарная жилая площадь здания, м², исходя из нормативного воздухообмена 3 м³/ч на 1 м² жилой площади.

В. Энергозатраты на ГВС, МВт·ч/год:

$$Q_3 = 1,163 \cdot 10^{-6} q_{u,m}^h \Delta t z_{\text{от}} k_h, \quad (3.6)$$

где $1,163 \cdot 10^{-6} = (4,19/3,6) 10^{-6}$ МВт·ч/(кг·К) — удельная теплоемкость воды;

$q_{u,m}^h$ — норма расхода горячей воды в средние сутки, л/сут, принимаемая для жилых зданий в 12 этажей и ниже из расчета 105 л/сут на человека, выше 12 этажей — 115 л/сут на человека (в настоящее время в соответствии с СП 30.13330.2020 данный расход в жилых зданиях принимается не более 70 л/сут на человека);

Δt — разность температур, К, холодной и нагретой воды в системе горячего водоснабжения, при отсутствии использования ВЭР для подогрева воды принимается равной 55; при использовании ВЭР принимается $t_{\text{вэр}} = 60$ ($t_{\text{вэр}}$ — температура нагреваемой воды после устройства, использующего ВЭР (ТНУ и др.)). В нашем примере величина Δt во всех случаях принималась равной 55 °С;

k_h — коэффициент снижения расхода горячей воды за счет применения мероприятий по снижению водопотребления. При отсутствии данных его допускается принимать равным $1 - \Delta k_{h,i}$, где $\Delta k_{h,i}$ — относительное снижение расхода воды за счет того или иного мероприятия, в том числе: 0,05 — при установке поквартирных водосчетчиков; 0,03 — при использовании смесителей с левым расположением крана горячей воды или кранов с регулируемым напором воды [3]; при отсутствии специальных мероприятий k_h принимается равным единице.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru