

В.С. БЕЛЯЕВ

МЕТОДИКИ РАСЧЕТОВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ЗДАНИЙ



В.С. Беляев

**МЕТОДИКИ РАСЧЕТОВ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК
ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ЗДАНИЙ**

Рекомендовано Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» в качестве учебного пособия для студентов ВПО, обучающихся по программе бакалавриата по направлению 270800 «Строительство» (профиль «Промышленное и гражданское строительство»)



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2014

УДК 697.112
ББК 38.5.38
Б 44

Рецензенты:

заведующий лабораторией технического обследования зданий ОАО ЦНИИЭП жилых и общественных зданий, кандидат технических наук *Ю.В. Барков*;
заведующий кафедрой архитектуры МГАКХиС, профессор *А.Н. Белкин*;
заведующий кафедрой архитектуры МГСУ, профессор *А.К. Соловьев*.

Беляев В.С.

Методики расчетов теплотехнических характеристик энергоэкономичных зданий: учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. – 272 с.

ISBN 978-5-93093-960-6

Представлены современные методы теплотехнических расчетов энергоэкономичных энергоэффективных гражданских зданий.

Рассмотрены особенности технических решений и методы теплотехнических расчетов элементов энергоэкономичных наружных ограждений с рекуперацией как трансмиссионного, так и вентиляционного тепла. Даны результаты исследований и анализ теплового эффекта таких конструкций и систем.

Приведены основы теории, результаты и методы теплотехнических расчетов и исследований теплопередачи через элементы наружных стен при продольной и поперечной фильтрации воздуха, методы расчетов влажностного режима наружных стен с вентилируемым воздушным зазором.

Методы теплотехнических расчетов даны в соответствии с новыми нормативными требованиями, сопровождаются примерами.

Использование учебного пособия позволит правильно и более оперативно рассчитать и выбрать техническое решение, имеющее высокую степень энергоэффективности и теплозащиты.

Книга предназначена для широкого круга специалистов-инженеров, занимающихся вопросами проектирования зданий, а также преподавателей, аспирантов и студентов вузов строительного профиля.

Регистрационный № рецензии 2274 от 01.03.2013 г.

УДК 697.112
ББК 38.5.38

ISBN 978-5-93093-960-6

© Беляев В.С., 2014
© Издательство АСВ, 2014

Предисловие

Энергоэффективность проектных решений в нашей стране оценивается по степени их соответствия нормативным показателям удельного расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию (горячее водоснабжение, электроснабжение*) жилых и общественных зданий.

Пособие составлено так, чтобы инженерные теплотехнические расчеты выполнялись с пониманием физической сущности процессов теплопередачи, принципов современного нормирования теплозащиты и с учетом энергосбережения.

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования и строительства в данном учебном пособии приводятся рекомендации по расчетам наружных ограждений, вентиляционных систем, использующих вторичные энергоресурсы.

Представлены современные методы теплотехнических расчетов эффективных ограждающих конструкций нетрадиционными средствами экономии тепловой энергии.

Выполнение указанных расчетов позволит правильно и более оперативно выбрать техническое решение, имеющее высокую степень энергоэффективности и теплозащиты.

Книга предназначена для широкого круга специалистов-инженеров, занимающихся вопросами проектирования зданий, а также преподавателей, аспирантов и студентов вузов строительного профиля.

Автор выражает благодарность зав. кафедрой архитектуры МГСУ, доктору технических наук, профессору А.К. Соловьеву за ценные замечания, сделанные при редактировании книги.

* В скобках для Москвы.

Введение

Энергетическая политика России определяется разработанным в 1995 г. документом «Основные направления энергетической политики Российской Федерации на период до 2010 г.», утвержденным Указом Президента РФ от 7 мая 1995 г. № 472, где в качестве одной из основных задач указано на «реализацию потенциала энергосбережения за счет создания и внедрения высокоэффективного топливо- и энергопотребляющего оборудования, теплоизоляционных материалов и строительных конструкций».

Государственное регулирование энергоэффективности является одним из важнейших приоритетов высшего руководства развитых стран. В мире происходит непрерывный рост цен на энергоносители. Так, например, если в период разработки в России энергосберегающих норм в 1998 г., один баррель нефти стоил 7–8 долл. США, то в 2009 г. он стоил около 70 долл., т.е. в 10 раз дороже. Поэтому российский сценарий Энергетической стратегии на период до 2030 г. направлен на реализацию значительного потенциала энергосбережения и энергоэффективности, а также на защиту малообеспеченных слоев населения от роста стоимости энергии.

Во исполнение Указа Президента РФ Министерство экономического развития РФ в 2009 г. разработало проект Федерального закона «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», который был доработан и принят в ноябре 2009 г. в третьем окончательном чтении. После подписания Президентом РФ он получил номер 261-ФЗ. Прежний Закон «Об энергосбережении», принятый в 1996 г., был отменен. Новый Закон также содержит ряд изменений в отдельные законодательные акты РФ, в том числе в ФЗ «О техническом регулировании» и в Градостроительный кодекс РФ.

Энергосбережению и повышению энергоэффективности в строительном комплексе и ЖКХ в этом Законе посвящен целый ряд статей. В их числе:

– введение требований по энергоэффективности новых зданий, строений, сооружений с запретом на ввод их в эксплуатацию без соответствия установленным требованиям по энергетической эффективности, которые должны включать показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, и требования к архитектурным, конструктивным и инженерно-техническим решениям (ст. 11 ч. 2);

– каждые пять лет показатели энергоэффективности подлежат пересмотру в целях повышения энергетической эффективности зданий (ст. 11 ч. 4);

– введение энергетического паспорта здания с его заполнением по проектным данным и по данным энергетического обследования. Энергетический паспорт должен содержать информацию об объемах используемых энергетических ресурсах, о показателях энергоэффективности, о потенциале энергосбережения и перечне мероприятий по энергосбережению (ст. 15);

– введение классов энергоэффективности зданий с обязательным информированием о классе энергоэффективности;

– оснащение многоквартирных домов, зданий, строений, сооружений, как существующих, так и вводимых в эксплуатацию после строительства, реконструкции и капитального ремонта, приборами учета энергоресурсов с установлением сроков их введения, исполнителей и ответственности (ст. 11 ч. 6);

– проверка соответствия вводимых в эксплуатацию зданий требованиям по энергетической эффективности и оснащенности приборами учета и проектной документации осуществляется органами государственного строительного надзора (ст. 11 ч. 8);

– собственники зданий, ..., обязаны обеспечить соответствие установленным требованиям по энергетической эффективности и по оснащению приборами учета (ст. 11 ч. 9), ..., вправе требовать от застройщика безвозмездного устранения выявленных несоответствий либо возмещения произведенных ими расходов по их устранению (ст. 11 ч. 10);

– введение требований по обязательному и добровольному энергетическому обследованию зданий, строений, сооружений и организаций (ст. 15), причем обязательному обследованию подлежат организации государственной и муниципальной собственности; за бюджетной организацией сохраняются средства, сэкономленные благодаря проведению мероприятий по энергосбережению (ст. 16);

– основными целями энергетических обследований являются получение объективных данных о величинах ... потребляемых энергетических ресурсах, определение показателей энергетической эффективности, определение потенциала энергосбережения, разработка мероприятий по повышению энергетической эффективности (ст. 15 ч. 2);

– создание системы государственного информационного обеспечения в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, распространение рекламы, пропагандирующей правильное потребление энергоресурсов (ст. 9).

Президентом РФ в 2009 году было объявлено пять ключевых направлений развития российской экономики, среди которых на втором месте стоят энергоэффективность и энергосбережение. Понимая важность энергосбережения и повышения энергетической эффективности, Президент РФ подписал Указ от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики», где поставил задачу снижения к 2020 г. энергоемкости валового внутреннего продукта (ВВП) РФ не менее чем на 40 % по сравнению с 2007 г., в том числе принять меры по техническому регулированию, направленные на повышение энергетической и экологической эффективности таких отраслей экономики, как электроэнергетика, строительство, жилищно-коммунальное хозяйство, транспорт, а также подготовить и внести в Государственную Думу (ГД) проекты соответствующих федеральных законов.

Законом повышена ответственность субъектов РФ за мероприятия по энергосбережению (ст. 14). В том числе:

- в составе показателей оценки эффективности деятельности исполнительной власти субъектов РФ должны быть утверждены показатели энергосбережения и повышения энергоэффективности;

- региональные, муниципальные программы в области энергосбережения и повышения энергоэффективности должны содержать: значения целевых показателей, перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности и источники финансирования;

- значения целевых показателей энергосбережения и повышения энергоэффективности должны отражать: изменения в фонде ЖКХ и коммунальной инфраструктуре, степень оснащенности приборами учета, увеличение количества случаев объектов, имеющих высокий класс энергетической эффективности, и объектов, использующих вторичные или возобновляемые энергетические ресурсы.

К этому Закону подготовлен комплекс нормативных правовых законодательных актов правительства, устанавливающих обязательные требования к энергетической эффективности, включая требования к зданиям и сооружениям и меры повышения энергоэффективности в новом жилом фонде.

Требования по энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений, устанавливаемые Министерством регионального развития Российской Федерации, включают:

- 1) нормируемые показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении, в том числе:

показатели, отражающие удельный расход тепловой энергии, используемой на отопление здания, строения, сооружения за отопительный период (на 1 м² площади или на 1 м³ объема);

показатели, отражающие удельный расход тепловой энергии на горячее водоснабжение;

показатели, отражающие удельный расход электрической энергии на электроснабжение здания, строения, сооружения (в многоквартирных домах, включая общедомовые нужды (освещение помещений общего пользования, обеспечение работы лифтов и проч.));

показатели, отражающие удельный расход газа, воды, затрачиваемых на газоснабжение и водоснабжение здания, строения, сооружения;

2) требования к влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям;

3) требования к отдельным элементам и конструкциям зданий, строений, сооружений и к их свойствам, к используемым в зданиях, строениях, сооружениях устройствам и технологиям, а также требования к применяемым при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий, строений, сооружений технологиям и материалам, обеспечивающие экологическую безопасность и позволяющие исключить нерациональный расход энергетических ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта, так и в процессе эксплуатации.

В ст. 6 Федерального закона РФ от 3 апреля 1996 г. № 28-ФЗ «Об энергосбережении» изложено требование о включении в строительные нормы и правила показателей расхода энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и освещение зданий.

Отмечено, что природные топливно-энергетические ресурсы и созданный производственный, научно-технический и кадровый потенциал энергетического сектора экономики – национальное достояние России. Эффективное его использование является необходимой основой выхода страны из кризиса и перехода на траекторию устойчивого развития, обеспечивающего рост благосостояния народа. Энергетическая политика России реализуется на федеральном и региональном уровнях путем «сосредоточения основной работы по использованию потенциала энергосбережения в регионах».

Учитывая, что экономически нецелесообразно утеплять стены больше определенной величины, следует изыскивать пути получения энергоэкономичных нетрадиционных конструкций, например,

используя их как накопители тепла (массивные), гелиовоздухонагреватели, утилизаторы уходящего тепла и т.п.

Энергосбережение в зданиях при решении практических задач сокращения общего расхода невозобновляемых энергоресурсов (угля, газа, нефти и др.) реализуется путем применения эффективных теплоизоляционных материалов, энергоэкономичных конструкций наружных стен, существенного увеличения теплозащиты эксплуатируемого фонда и т.п.

Здание как энергетическая система формирует тепловой и воздушный режим (ТВР) помещений. При этом система отопления и вентиляции наряду с наружными ограждениями играет решающую роль. Оптимизация ТВР должна иметь целью как экономию топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), так и улучшение комфорта в помещении. При этом возрастает роль систем вентиляции помещений, которая в жилых зданиях осуществляется, как правило, через окна.

При установке герметичных окон со стеклопакетами из-за отсутствия в них щелей баланс между притоком и вытяжкой воздуха нарушается, вся эта система естественной вентиляции практически перестает работать. Результат известен: духота, дискомфорт, повышенная влажность, зимой конденсат на окнах и стенах вплоть до появления грибков и плесени.

Улучшению воздушного режима помещений и экономии тепла отвечает способ вентиляции помещений через наружные ограждения с выводом воздуха в помещение. Эффект такой вентиляции заключается в том, что холодный воздух, проходя через наружное ограждение, нагревается и входит в помещение, возвращая часть теряемого тепла.

Такая система вентиляции имеет в своей основе принцип рекуперации (возвращение, экономайзерный эффект теплового потока при фильтрации воздуха через наружную ограждающую конструкцию).

Значительно возрастает эффект рекуперации при помещении в наружной вентилируемой прослойке теплоотражающего слоя (покрытия).

Кроме указанного теплового эффекта имеется эффект шумопоглощения и гигиенический за счет подачи прогретого свежего воздуха в верхнюю зону помещения и сохранения и поступления новых, необходимых человеку отрицательно заряженных ионов, в отличие от используемых в настоящее время шумозащитных клапанов с применением металла, где отрицательные ионы теряются.

Анализируя количество воздуха, поступающего в помещение при обычном проветривании, и требуемого, определив дефицит свежего воздуха (около 40 кг/ч на человека) и рассчитав количество воз-

духа, поступающего при вентиляции окна, можно сделать вывод, что вентилируемое окно $\sim 1,5 \text{ м} \times 1,5 \text{ м}$ способно обеспечить поступление требуемого количества воздуха, необходимого для естественной вентиляции помещения площадью 10 м^2 , расположенного в зоне инфильтрации жилого дома.

Актуальность перехода от неуправляемой инфильтрации наружного воздуха к организованной регулируемой подаче его через специальные приточные устройства при условии сохранения теплового комфорта в помещении диктуется экономическими (перерасход тепла, вызванный избыточной инфильтрацией, сопровождающей залповое проветривание через форточки и узкие створки) и гигиеническими (постоянное обеспечение свежим воздухом в соответствии с нормами) соображениями и подтверждается соответствующими положениями СНиП.

В ряде случаев, в частности в окнах, возможно применение вентиляции с многократным как попутным, так и встречным движением воздуха. При этом утилизируется не только тепло, передаваемое материалом (так называемое трансмиссионное), но и вентиляционное, теряемое с вытяжным воздухом. Тепловой эффект при этом заметно повышается.

Суть таких конструкций заключается в том, что воздух движется по двум смежным, разделенным перегородкой каналам: по одному – приточный, по другому – вытяжной. Могут быть конструкции, имеющие и более сложный характер движения воздуха. Сложность этих решений заключается в необходимости обеспечения мер по борьбе с конденсатом и инееобразованием.

На все вышеуказанные решения в учебном пособии приводятся соответствующие методики расчетов.

Наружные ограждающие конструкции совместно с системой инженерного оборудования должны обеспечивать нормируемые значения температуры и относительной влажности воздуха в помещениях при минимальном энергопотреблении.

Для повышения энергетической эффективности зданий следует разрабатывать новые энергоэффективные конструкции.

При проектировании сооружений при соответствующем обосновании следует применять наружные вентилируемые ограждения с рекуперацией тепла, механическую вентиляцию, вентиляцию с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов, теплонасосных систем теплоснабжения, систем аккумулирования тепловой энергии, эффективные отопительные приборы с регулируемой теплоотдачей, сис-

темы автоматизированного учета потребления энергоресурсов и управления микроклиматом.

В зданиях, находящихся в условиях эксплуатации при отрицательных температурах наружного воздуха, как правило, имеет место фильтрация воздуха через наружные ограждения. Ее влияние через различные элементы наружных ограждений различно и зависит от их воздухопроницаемости.

Общим для них является понижение температуры ограждения при фильтрации холодного воздуха снаружи в помещения и повышение температуры ограждения при фильтрации воздуха из помещения наружу.

Для исключения дефектов наружных ограждений в теплотехнических расчетах следует учитывать влияние фильтрации воздуха на теплопередачу.

В настоящее время в нормах строительной теплотехники теплозащитные качества окон нормируются величинами приведенного сопротивления теплопередаче $R^{req} (R_0^{трпр}) \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Так, для Москвы эта величина составляет $0,54 (0,8-1,0)^* \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ без учета влияния условий эксплуатации, в частности воздухопроницаемости, тогда как ГОСТ 26254 требует оценивать теплозащиту окон в условиях эксплуатации, т.е. при наличии, как правило, проникания воздуха через окна.

Аналогично и при сравнении расчетных и эксплуатационных показателей на поверхности стыков.

Аналитические расчеты теплопередачи через стыки и окна, как правило, не учитывают фильтрацию наружного воздуха. Имеющиеся данные показывают, что проведенные некоторыми исследователями работы, если и учитывают фильтрацию, учитывают только величину общей воздухопроницаемости, которая условно принимается одномерной. Однако входящие в общую воздухопроницаемость величины сквозной (поперечной) и продольной воздухопроницаемости в различной степени влияют на теплопередачу. Сквозная или поперечная воздухопроницаемость характеризует фильтрацию воздуха поперек конструкции, а продольная – вдоль нее.

Сказанное подтверждает важность теории теплопередачи через стык при двухмерной фильтрации, соответствующей физической сущности этого процесса, представленных в книге.

* В скобках в соответствии с постановлением Правительства Москвы № 900 ПП.

В условиях периода внедрения положений новых нормативных документов важно понимать принцип нормирования тепловых потерь зданий, уметь разбираться в физических понятиях их основных теплотехнических параметров. Не менее важно научиться выполнять инженерный анализ теплового и воздушного режима зданий при разных климатических условиях с учетом энергосбережения.

С 01.10.2003 г. введен в действие новый СНиП «Тепловая защита зданий» [1].

В СНиП [1] дан новый подход к оценке теплозащиты зданий. Он заключается в том, что теплозащита зданий оценивается как поэлементно, так и в целом путем определения удельного расхода тепловой энергии q_h^{des} и сравнения его с требуемым q_h^{req} за отопительный период. То есть вводится новый подход – «потребительский», наряду с действующим поэлементным – предписывающим.

В актуализированной редакции СНиП 23.02 (СП.50.13330.2012), также направленной на решение проблем энергосбережения, вводятся такие понятия, как удельная тепловая защитная характеристика и удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, по сути, являющиеся такими же критериями энергосбережения, как и предыдущие.

Критерием оценки энергоэффективности здания является энергетический паспорт, входящий в раздел проектов «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов» проектной и рабочей документации жилых и общественных зданий.

В данной работе даны как основные положения теплотехнических расчетов в соответствии с действующими нормативными документами, так и методики расчетов в развитие указанных теплотехнических норм.

Учебное пособие поможет овладеть основными принципами теплотехнических расчетов при проектировании современных (энергоэкономичных) зданий, что направлено на решение проблемы энергосбережения.

Глава 1. Критерии энергоэффективности жилых и общественных зданий

1.1. Требования к теплозащите зданий

Принципы энергетической политики и обеспечения энергетической безопасности страны установлены в документе «Энергетическая стратегия России на период до 2020 г.», одобренном Правительством РФ 23.10.2000 г.

В разделе «Энергоэффективность и энергоёмкость. Формирование перспективного спроса на энергоресурсы» приведен прогноз роста развития производства энергоресурсов и роста потребности ТЭР с учетом повышения энергоэффективности и без нее при умеренном экономическом росте (рис. 1.1).

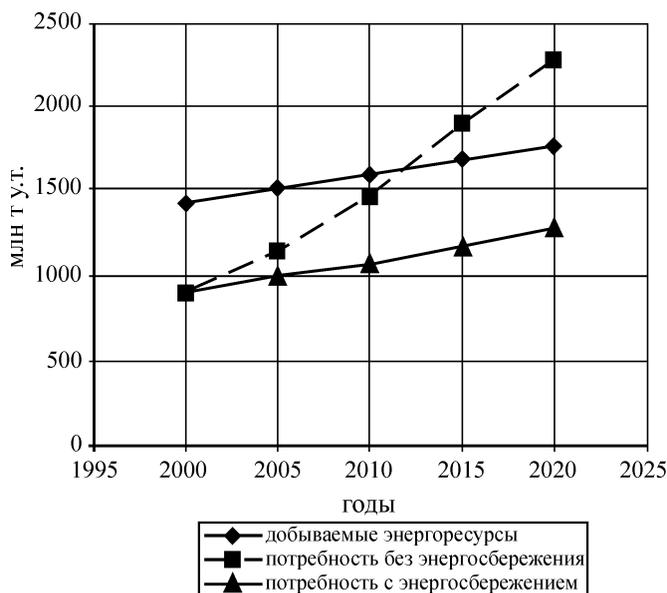


Рис. 1.1. Прогноз развития первичных энергоресурсов и энергопотребления России

Распределение потенциала энергосбережения за счет технических средств по данным Министерства экономического развития РФ (МЭР РФ) промышленность и строительство могут обеспечить по одной третьей части энергосбережения и около одной четверти ЖКХ (табл. 1.1).

Распределение потенциала энергосбережения по секторам экономики к 2020 г. за счет технических средств

Сектор экономики	Потенциал энергосбережения	
	млн т у.т	%
Топливо-энергетический комплекс (ТЭК)	120–135	32
Промышленность и строительство	110–140	31
Транспорт	23–30	7
Сельское хозяйство	12–15	3
Жилищно-коммунальное хозяйство	95–110	26
Прочие	3–5	1

Создание нового поколения норм теплозащиты, стандартов и методов энергетических и теплотехнических расчетов зданий с эффективным использованием энергии явилось ключевым в энергосбережении строительного комплекса.

Следует отметить, что при росте фонда жилых зданий неизбежен рост энергетических затрат на их отопление. Своевременная разработка нового поколения энергосберегающих норм и введение их в действие затормозили этот рост. Расчетное увеличение по топливу, затраченному на выработку тепловой энергии в систему теплоснабжения этих зданий за 2002–2008 гг., приведено на *рис. 1.2* (сплошная линия). Годовые расходы по топливу, затраченному на выработку тепловой энергии в систему теплоснабжения к концу 2008 г., возросли только на 322 ПДж по сравнению с 538 ПДж, если бы не были введены эти нормы (пунктирная линия). Разница площадей, ограниченных этими двумя линиями, показывает энергосберегающий эффект около 771 ПДж (*рис. 1.2*).

Введенные в действие в 2003 г. СНиП 23.02.2003 «Теплозащита зданий» существенно повысили требования к теплозащите зданий. Логическим продолжением этой тенденции является введение актуализированной редакции СНиП 23-02.

В связи с тем, что до выпуска настоящего пособия действовал неактуализированный СНиП 23-02, в данной книге приводятся методы расчета и требования к теплозащите зданий для обоих упомянутых вариантов.

В неактуализированных нормах СНиП 23-02 «Тепловая защита зданий» были установлены две группы обязательных к исполнению

взаимосвязанных критериев тепловой защиты здания и способы проверки на соответствие этим критериям, основанные на:

а) нормируемых значениях сопротивления теплопередаче для отдельных ограждающих конструкций тепловой защиты здания, рассчитанных на основе нормируемых значений удельного расхода тепловой энергии на отопление и сохраненных от прежнего СНиПа;

б) нормируемом удельном расходе тепловой энергии на отопление здания, позволяющем варьировать теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий (за исключением производственных зданий) с учетом выбора систем поддержания микроклимата и теплоснабжения для достижения нормируемого значения этого показателя.

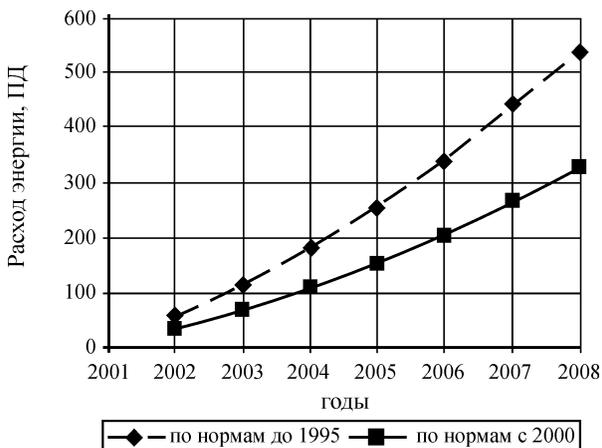


Рис. 1.2. Рост расходов первичной энергии (по топливу) на отопление вновь построенных зданий, ПДж

В актуализированном СНиП 23-02 установлены следующие группы обязательных к исполнению показателей тепловой защиты зданий:

а) приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должны быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований п.а, б и в).

В отличие от неактуализированной редакции СНиП 23-02 в актуализированном СНиП 23-02 для оценки теплозащиты зданий введен показатель удельной теплозащитной характеристики (см. гл. 3).

Следующим требуемым параметром оценки энергоэффективности здания согласно актуализированной редакции СНиП 23-02, является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление $q_{от}^{тр}$, Вт/(м³·°С) (см. гл. 3).

Выбор способа, по которому будет вестись проектирование, относится к компетенции проектной организации или заказчика. Методы и пути достижения этих нормативов выбираются при проектировании.

В табл. 1.2 представлена классификация зданий по степени отклонения расчетных или измеренных нормализованных значений удельных расходов тепловой энергии на отопление здания от нормируемого значения.

Таблица 1.2

Классы энергетической эффективности гражданских зданий

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
1	2	3	4
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
A++ A+ A	Очень высокий	Ниже –60 От –50 до –60 включительно От –40 до –50 включительно	Экономическое стимулирование
B+ B	Высокий	От –30 до –40 включительно От –15 до –30 включительно	Экономическое стимулирование
C+ C C-	Нормальный	От –5 до –15 включительно От +5 до –5 включительно От +15 до +5 включительно	Мероприятия не разрабатываются

1	2	3	4
При эксплуатации существующих зданий			
<i>D</i>	Пони- женный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
<i>E</i>	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании

Эта классификация относится как к вновь возводимым и реконструируемым зданиям, проекты которых разработаны в соответствии с требованиями описанных выше норм, так и к эксплуатируемым зданиям, построенным по нормам до 1995 г.

К классам ***A***, ***B*** и ***C*** могут быть отнесены здания, проекты которых разработаны по новым нормам. Класс ***C*** является базовым и минимально допустимым.

В процессе реальной эксплуатации энергетическая эффективность таких зданий может отличаться от данных проекта в лучшую сторону (классы ***A*** и ***B***) в пределах, указанных в таблице. В случае выявления классов ***A*** и ***B*** рекомендуется применение органами местного самоуправления или инвесторами мероприятий по экономическому стимулированию.

Классы ***D*** и ***E*** относятся к эксплуатируемым зданиям, возведенным по действующим в период строительства нормам. Класс ***D*** соответствует нормам до 1995 г.

Следует обратить внимание, что в классификации зданий по энергетической эффективности нового поколения норм теплозащиты заложена возможность повышения уровня энергоэффективности без изменения нормативных требований. В этом случае в задании на проектирование следует указать более высокий (***A*** или ***B***), чем «нормальный» базовый класс (***C***) энергетической эффективности с соответствующим процентом снижения нормируемого удельного расхода тепловой энергии на отопление. Так, например, высотные здания по московским нормам должны проектироваться по классу ***B***, т.е. должны обеспечиваться их более высокий уровень энергоэффективности и сниженные удельные расходы на отопление.

Нормирование теплозащитных качеств зданий, в соответствии с теплотехническими неактуализированными нормами, выполнялось по удельному расходу тепла на отопление, а также по требуемому приведенному сопротивлению теплопередаче элементов оболочки зданий (поэлементный подход).

При расчете здания по показателю удельного расхода тепловой энергии в качестве начальных значений теплозащитных свойств ограждающих конструкций задавались нормируемые значения сопротивления теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций R_{req} , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ (табл. 1.3). Для высотных зданий в г. Москве – см. табл. 1.4.

Таблица 1.3

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий высотой до 75 м

Здания и помещения, коэффициенты a и b	Граду-со-сутки отопительного периода D_d^* , $^\circ C \cdot сут$	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче R , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, 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	2	3	4	5	6	7
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2 000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4 000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6 000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8 000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10 000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12 000	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

* – формулу для определения ГСОП D_d см. СП 50.13330.2012.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
Глава 1. Критерии энергоэффективности жилых и общественных зданий	12
1.1. Требования к теплозащите зданий	12
1.2. «Пассивные» и «зеленые» здания	25
Глава 2. Исходные данные для теплотехнического проектирования зданий	35
Глава 3. Проектирование теплозащиты зданий	46
3.1. На основе поэлементных требований	46
3.2. Методика расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление жилых и общественных зданий	50
3.3. Пример расчета энергоэффективности и теплозащиты здания в соответствии с актуализированными СНиП 23-02	54
Глава 4. Теплотехнические показатели зданий	58
Глава 5. Методики и примеры теплотехнических расчетов энергоэкономичных зданий	62
5.1. Методика определения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций	62
5.2. Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче	67
5.3. Методика теплотехнического расчета навесных вентилируемых фасадных систем	69
5.3.1. Расчет влажностного режима	69
5.4. Пример теплотехнического расчета навесных фасадных систем	74
5.5. Расчет температуры вентилируемых фасадных систем	82
5.5.1. Методика теплотехнического расчета	82

5.5.2. Пример расчета температуры вентилируемых фасадных систем	84
5.6. Расчет температур участков стен за остеклением	86
5.6.1. Методика теплотехнического расчета	86
5.6.2. Пример теплотехнического расчета	87
Глава 6. Наружные ограждающие конструкции с рекуперацией тепла	90
6.1. Рекуперация трансмиссионного тепла	90
6.2. Наружные ограждения с рекуперацией трансмиссионного и вентиляционного тепла	110
6.2.1. Теплотехнический расчет (НОРТ-2, НОРТ-п)	114
6.2.2. Экспериментальные исследования	122
6.3. Теоретические положения расчетов вентилируемых наружных ограждений с рекуперацией тепла	130
Глава 7. Влияние фильтрации воздуха на теплозащиту зданий	150
7.1. Методика расчетов наружных ограждений с учетом воздухопроницаемости	150
7.2. Пример расчета наружных ограждений с учетом фильтрации воздуха	154
7.3. Методика расчета «теплого» чердака	161
7.4. Пример расчета «теплого» чердака	163
7.5. Методика расчета «теплого» техподполья	166
7.6. Пример расчета «теплого» техподполья	168
7.7. Теплотехнический расчет «открытого» чердака	173
Глава 8. Методика заполнения энергетического паспорта	180
8.1. Методика расчета теплотехнических показателей	180
8.2. Энергетическая эффективность здания	185
8.3. Эксплуатационная энергоемкость здания (за год)	188
Глава 9. Пример расчета параметров энергетического паспорта	192
9.1. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения	192
9.2. Теплозащита здания	192

9.2.1. Теплотехнические расчеты элементов зданий.....	193
9.2.2. Окна, балконные и входные двери	199
9.2.3. Сопротивление воздухопроницанию (Требуемые сопротивления воздухопроницанию наружных ограждающих конструкций)	200
9.2.4. Определение расчетного температурного перепада	202
9.3. Расчет коэффициента теплопередачи и воздухообмена здания	203
Приложение А. Перечень нормативных документов	209
Приложение Б. Основные термины и их определения.....	211
Приложение В. Справочные таблицы	221
Приложение Г. Заполнение энергетического паспорта здания.....	232
Приложение Д. Основы теории теплопередачи в стыках наружных стеновых панелей при двухмерной фильтрации воздуха	238
Приложение Е. Формулы для определения коэффициентов воздухопроницаемости крупнопористых материалов	252
Приложение Ж. Таблицы коэффициентов теплотехнической однородности r наружных стен	255
Приложение З. Коэффициенты	259
Библиографический список	260

Учебное пособие

Владимир Сергеевич **Беляев**

**МЕТОДИКИ РАСЧЕТОВ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК
ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ЗДАНИЙ**

Компьютерная верстка: *Е.В. Орлов*
Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*
Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.
Подписано к печати 24.03.14. Формат 60х90/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 17 п.л. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>