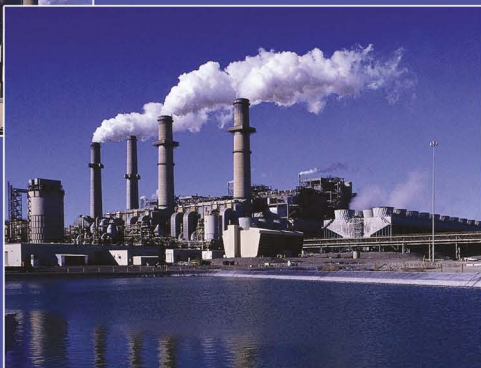


О.Д. Самарин

Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность



**Библиотека научных проектов
и разработок МГСУ**



О.Д. Самарин

**ТЕПЛОФИЗИКА.
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ**



Издательство АСВ
Москва
2014

УДК 699.86
ББК 31.3
С 17

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой отопления и вентиляции Московского государственного строительного университета (МГСУ) *Ю.Я. Кувшинов*;

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов Московского государственного строительного университета (МГСУ) *Д.В. Орешкин*;

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета (ВолГАСУ) *А.Г. Перехоженцев*.

Самарин О.Д.

Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность / Монография. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 296 с.

ISBN 978-5-93093-665-0

В книге рассмотрена современная ситуация с нормированием теплозащиты, оценкой энергоэффективности и реализацией энергосберегающих мероприятий для гражданских зданий в РФ и за рубежом. Дан анализ основных ошибок в действующих в РФ нормативных документах по теплозащите и предложена новая методика комплексной оценки энергоэффективности зданий и технико-экономического обоснования используемой совокупности энергосберегающих мероприятий в условиях рыночной экономики на этапе принятия основных инженерных решений.

Рассмотрены особенности теплопереноса в критических элементах наружных ограждений с повышенной теплозащитой и предложены рекомендации по оценке их тепло-технической безопасности в соответствии с Законом РФ «О техническом регулировании». Исследованы особенности реализации отдельных энергосберегающих мероприятий в гражданских зданиях и выявлены оптимальная глубина и наиболее целесообразные сочетания решений по снижению энергопотребления в зависимости от конструкции и назначения здания и технико-экономических факторов.

Изложение проиллюстрировано значительным количеством графического и табличного материала, а также имеющимися результатами экспериментальных исследований, подтверждающих выводы автора. Книга рассчитана на широкий круг специалистов и научно-педагогических работников в области энергосбережения, строительной теплофизики, теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также аспирантов, обучающихся по специальностям 05.23.03 и 05.23.01. Издание может быть также полезным для экономистов, энергетиков и других специалистов, работающих в сфере жилищно-коммунального хозяйства.

УДК 699.86
ББК 31.3
С 17

ISBN 978-5-93093-665-0

© Самарин О.Д., 2014
© Издательство АСВ, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Анализ современного уровня инженерных решений и задачи по совершенствованию нормативной базы в области энергосбережения в зданиях	8
1.1. Современное состояние нормирования теплозащиты и энергосбережения в РФ в свете требований Закона РФ «О техническом регулировании».....	8
1.2. Современные методы исследования процессов в ограждениях, помещениях и инженерном оборудовании.....	26
1.3. Современные способы энергосбережения и их эффективность.....	35
1.4. Задачи, решаемые в работе.....	48
Глава 2. Развитие методов исследования теплозащитных свойств ограждающих конструкций	53
2.1. Расчет температурного поля элементов современных ограждений и определение температуры в опасных зонах для оценки требуемой теплозащиты	53
2.2. Расчет теплотерь наружного угла и оконных откосов ограждений с современным уровнем теплозащиты.....	69
2.3. Расчет коэффициента теплотехнической однородности и теплотерь трехслойных стеновых панелей с гибкими связями....	75
2.4. Расчет температурного поля и повышение теплотехнической однородности вентилируемых фасадов со специальным покрытием кронштейнов	80
2.5. Расчет охлаждения и промерзания наружных ограждений	83
2.6. Пример использования полученных зависимостей для оценки теплозащитных свойств ограждений здания	93
Выводы по главе 2.....	101
Глава 3. Совершенствование методов нормирования энергосберегающих технических решений и методика оценки энергоэффективности зданий	103
3.1. Структура энергетического баланса зданий	103
3.2. Основные принципы нормирования энергосберегающих мероприятий.....	114
3.3. Методика оценки энергоэффективности зданий.....	119
3.4. Результаты расчета энергоэффективности зданий	124
3.5. Достоверность оценки энергетического баланса и эффективности энергосберегающих мероприятий	131
3.6. Влияние геометрических характеристик здания на его энергетические показатели	139
3.7. Влияние характеристик здания на возможность применения энергосберегающих мероприятий	143
Выводы по главе 3.....	150

Глава 4. Некоторые аспекты оптимизации принимаемых решений по энергосбережению	152
4.1. Вероятностно-статистические соотношения между расчетными параметрами наружного климата.....	152
4.2. Определение оптимального уровня удельного энергопотребления зданий на отопление.....	156
4.3. Оптимальное распределение теплоизоляции в несветопрозрачных ограждениях	163
4.4. Оптимальная стоимость заполнений световых проемов с высокими теплозащитными качествами.....	168
4.5. Выбор оптимального коэффициента температурной эффективности утилизаторов теплоты вытяжного воздуха	173
4.6. Оценка фактической эффективности теплоутилизаторов и комбинированная обработка воздуха в системах вентиляции и кондиционирования.....	178
4.7. Снижение воздухообмена в помещениях, оборудованных автоматизированными системами вентиляции и кондиционирования воздуха	188
4.8. Особенности реализации энергосберегающих мероприятий в высотных зданиях	195
Выводы по главе 4	201
Глава 5. Техничко-экономическое обоснование принятого комплекса энергосберегающих мероприятий.....	203
5.1. Методика оценки экономической целесообразности энергосберегающих решений	203
5.2. Влияние параметров наружного климата на выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий в общественных зданиях	216
5.3. Предельная стоимость энергоэффективного остекления в общем комплексе энергосберегающих мероприятий	225
5.4. Обоснование целесообразности стоимости тепловой энергии в условиях когенерации по термодинамической эквивалентности.....	230
5.5. Обоснование предлагаемого сочетания инженерных решений для снижения энергопотребления по максимальной эффективности инвестиций	235
5.6. Техничко-экономическое сравнение принятого комплекса энергосберегающих мероприятий с нормативными решениями.....	241
5.7. Влияние изменения параметров наружного климата на окупаемость энергосберегающих мероприятий	246
5.8. Особенности реализации и технико-экономического обоснования комплекса энергосберегающих мероприятий для жилых зданий	252
Выводы по главе 5	258
Заключение	260
Приложение	262
Список литературы	280

ПРЕДИСЛОВИЕ

Необходимость комплексного подхода к осуществлению энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и в первую очередь систем обеспечения их микроклимата не подлежит сомнению и обусловлена главным образом сокращением запасов минерального сырья и ископаемого органического топлива и, как следствие, их постоянным удорожанием. В то же время современная ситуация с нормированием энергосбережения и теплозащиты в РФ ориентирует специалистов на применение весьма ограниченного набора таких мероприятий, не всегда отвечающих конкретным условиям строительства. В силу этого в предлагаемой работе обобщаются результаты научно-исследовательской деятельности автора в рамках Российского научно-технического общества (РНТО) строителей, а также самостоятельной в области разработки общей концепции энергосбережения с использованием комплексного подхода к выбору и реализации энергосберегающих мероприятий с учетом их сравнительной эффективности.

Целью предлагаемой работы является решение чрезвычайно важной научной и практической проблемы энергосбережения в гражданских зданиях за счет применения комплекса малозатратных и быстрокупаемых технических решений при обязательном обеспечении теплотехнической безопасности. Ее решение предполагает создание и обоснование нормативно-методической базы для комплексной оценки проекта на стадии ТЭО, позволяющей принимать оптимальные решения по устройству систем обеспечения микроклимата здания. Такие решения должны приниматься в их взаимной увязке и с обеспечением необходимой взаимозаменяемости в условиях реальной экономической конъюнктуры и соответствия Закону РФ «О техническом регулировании» (ЗТР), а также быть свободными от ошибок, присутствующих в действующих нормативах.

Для решения этой проблемы в работе предусматривается решение следующих основных задач: разработка методики оценки энергоэффективности зданий и ТЭО проекта, учитывающей использование всех типичных энергосберегающих мероприятий, а также выдвижение и обоснование целесообразного сочетания малозатратных и быстрокупаемых решений по снижению энергопотребления, основанных на простейших технологиях, доступных для массового строительства. Кроме того, предполагается построение критерия оптимальности выбранного сочетания таких мероприятий в условиях современной экономики, а также исследование их сравнительной эффективности, выявление области целесообразного применения и глубины реализации. Также предусматривается решение ряда сопутствующих вопросов в части, имеющей отношение к оценке энергопотребления и обеспечению теплотехнической безопасности здания, а также определению эффективности принимаемых инженерных решений. В частности, предполагается выявление критических элементов современных сложных ограждающих конструкций и изучение особенностей их теплового режима и теп-

лопередачи, в том числе с учетом фазовых превращений, нахождение вероятностно-статистических соотношений между параметрами наружного климата, исследование вопросов управления инженерными системами и др.

Научная новизна работы состоит в следующем:

– разработана методика комплексной оценки энергоэффективности зданий и технико-экономического обоснования принятой совокупности энергосберегающих мероприятий в условиях рыночной экономики на этапе принятия основных инженерных решений. Данная методика соответствует предложенным принципам нормирования энергопотребления и учитывает все основные энергосберегающие мероприятия;

– исследованы особенности теплопередачи в ряде современных ограждающих конструкций с учетом специфики свойств используемых материалов, их размещения и конфигурации, в том числе с учетом возможного охлаждения и промерзания в аварийных режимах, с акцентом на влияние рассматриваемых процессов на энергопотребление здания и безопасность его эксплуатации;

– предложены современные принципы нормирования энергопотребления в зданиях, основанные на комплексном подходе к энергосбережению и применении малозатратных энергосберегающих мероприятий, их взаимной увязке и взаимозаменяемости и свободные от ошибок, присутствующих в действующих нормативных документах;

– исследованы особенности применения наиболее типичных малозатратных энергосберегающих технических решений в различных зданиях, обоснован объем и границы их применимости, а также предложены оптимальные сочетания таких мероприятий, обеспечивающие максимальный энергосберегающий эффект при минимальных материальных и энергетических затратах в различных климатических условиях для разных значений цен на материалы и оборудование и тарифов на энергоносители.

Практическая ценность работы заключается в создании принципиальной и методической основы для необходимых нормативных документов в области энергосбережения с учетом ЗТР и обосновании идеологии энергосбережения, содействующей развитию отечественного производства и строительства. Кроме того, ценность состоит в рекомендациях по обеспечению теплотехнической безопасности зданий, выбору целесообразного сочетания и необходимой глубины реализации энергосберегающих мероприятий, а также энергетической и технико-экономической оценке их совокупности в зависимости от назначения здания, климатических характеристик района строительства и уровня цен и тарифов. Представляют ценность также полученные инженерные формулы для частной оценки отдельных инженерных решений в случае их отсутствия в имеющихся источниках или если имеющиеся не отвечают особенностям современных конструкций и оборудования.

Предложенная в работе методика нормирования энергопотребления и комплексной оценки энергоэффективности зданий использована в Стандарте организации – Российского научно-технического общества строителей

СТО 17532043-001-2005 (Изд. ГУП ЦПП, 2006) «Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий» (далее – Стандарт РНТО).

Основные результаты работы докладывались на ежегодных (№ 6–9) научно-технических конференциях РНТО строителей (РНТОС) в 2001–2004 г., на Первой и Второй Международных научно-технических конференциях «Теоретические основы теплогасоснабжения и вентиляции» (МГСУ-РНТОС-АВОК) в 2005 и 2007 гг., а также на 5-й, 6-й и 7-й конференциях ВГТУ «Energy for buildings» (Вильнюс, 2002, 2004 и 2008 гг.). Кроме того, результаты были представлены на 6-м Московском международном форуме «Heat&Vent2004», на семинарах МГСУ «Актуальные проблемы строительства высотных зданий» (2004), «Высотные и большепролетные здания. Технологии инженерной безопасности и надежности» (2005), конференциях МГСУ «Фундаментальные науки в современном строительстве» (2008), «Современные фасадные системы: эффективность и долговечность» (2008) и на Межрегиональной конференции «Энергосбережение в ЖКХ и строительстве» в КДЦ «Гостиный Двор» (2006), а также на конференции НИИСФ «Строительная физика в XXI веке» (2006), научно-практической конференции «Алюминиевые фасадные системы: аспекты безопасности, надежности, долговечности» (2007) и Всероссийской специализированной выставке-форуме «Стройтехмашиндустрия России-2008» в МВЦ «Крокус-Экспо».

Основное содержание исследования опубликовано автором в статьях и докладах в период с 2000 по 2009 г. (всего около 80 печатных работ). При написании разделов 2.1, 3.4 и 4.8 были частично использованы материалы публикаций автора в журнале «Строительная инженерия»: «Теплозащита зданий. Предотвращение конденсации влаги на внутренней поверхности наружных стен» (№ 5/2006, с.74–78), «Эффективность энергосберегающих мер в общественных зданиях» (№ 9/2005, с. 72–76) и «Особенности воздушного режима и инженерных систем высотных зданий» (№ 8/2005, с. 32–36).

Автор благодарит профессоров, д-ров техн. наук Ю.Я. Кувшинова, В.Г. Гагарина, Д.В. Орешкина и А.Г. Перехоженцева за ценные замечания, сделанные в процессе работы над рукописью, а также кандидатов техн. наук Н.Л. Гаврилова-Кремичева и Е.Г. Гашо, а также инж. Р.Н. Разоренова и К.И. Лушина за предоставленные справочные материалы, результаты экспериментальных исследований и другую полезную информацию, использованную автором в процессе работы над изданием.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО УРОВНЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ И ЗАДАЧИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЗДАНИЯХ

1.1. Современное состояние нормирования теплозащиты и энергосбережения в РФ в свете требований Закона РФ «О техническом регулировании»

Важнейшими государственными программными документами в сфере энергосбережения в России являются Закон РФ от 24 ноября 1995 г. «Об энергосбережении» и Указ Президента РФ от 7 мая 1995 г. № 472 «Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройке топливно-энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года». Кроме того, к таким документам относятся одобренная постановлением Правительства Российской Федерации № 1006 от 13 октября 1995 г. Энергетическая стратегия России и федеральные целевые программы «Топливо и энергия», а также «Энергосбережение России», принятые в январе 1998 г. Новая редакция Энергетической стратегии на период до 2020 г. [91] была утверждена Правительством РФ 23 ноября 2000 г. протоколом № 39, раздел 3, во исполнение распоряжения Правительства РФ № 389-р от 16 марта 2000 г.

В документе [91], в частности, констатируется, 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 г. XX в. вообще произошел переход к ресурсо- (в том числе энерго-) сберегающему 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 г. лишь 0,15 [5]. 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 [91]. Для повышения действенности энергосберегающей политики Стратегия предполагает осуществление целостной системы правовых, административных и экономических мер. В частности, имеются в виду пересмотр существующих норм в направлении ужесточе-

ния требований к энергосбережению, совершенствование правил учета и контроля энергопотребления, установление стандартов энергопотребления, проведение регулярного энергетического аудита, предоставление государственных гарантий и прямой финансовой поддержки энергосберегающих проектов. При этом указывается, что только за счет малозатратных мер, окупаемых уже при нынешней цене на топливо, можно уменьшить энергопотребление в теплоснабжении на 67–76 млн Гкал в год, а общий потенциал энергосбережения оценивается в 345–410 млн Гкал в год, или 15–20% от общего энергопотребления в 2000 г. Об этом же говорится в посвященном энергосбережению разделе документа [92], но, кроме того, здесь речь идет и о более конкретных мероприятиях. В частности, это модернизация существующего оборудования для теплоснабжения, в первую очередь котельных и тепловых сетей, снижение теплопотребления за счет дополнительной теплоизоляции зданий и установки автоматических терморегуляторов и теплосчетчиков, прежде всего в жилом секторе и т.д.

Разумеется, следует учитывать, что для возможности осуществления данных мероприятий в современных условиях усилий одного государства недостаточно и необходимо частно-государственное партнерство [90]. В этом случае государство занимается вопросами, которые не в состоянии решить частный бизнес: в первую очередь подготовкой технической документации, доработкой и испытанием технологий, т.е. всем тем, что связано с повышенным риском капиталовложений. Кроме того, государство должно сосредоточить функции по управлению энергосбережением на уровне Федерального центра, поскольку в настоящее время данным вопросом в значительной степени вынуждены заниматься регионы, которые, как правило, не располагают для этого достаточными средствами и научно-технологическими возможностями. Задача же бизнеса в данном случае – на условиях софинансирования реализовать соответствующий проект, т.е. осуществить коммерциализацию энергосберегающих разработок, в первую очередь выполненных непосредственно по заказу или по инициативе бизнеса.

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, 27 декабря 2002 г. Президентом РФ был утвержден Федеральный закон № 184-ФЗ (ЗТР). Основное его содержание заключается в коренном изменении подхода к техническому регулированию и разделению всех нормативных документов на два типа. Первый – обязательные (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. Второй – все остальные, в том числе национальные стандарты, принимаемые федеральными ведомствами и носящие добровольный характер. Этот закон допускает также и разработку стандартов организаций (коммерческих, обще-

ственных, 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 в соответствии с упомянутым законом добровольные нормы могут быть признаны обязательными для контрагентов по договору между заказчиком и подрядчиком. Далее основные положения ЗТР будут существенно использоваться при разработке и определении условий применения предлагаемых рекомендаций по оценке энергоэффективности и устройству энергосберегающих мероприятий в зданиях, а также при оценке действующих нормативных документов в данной области.

Однако законодательные и организационные меры, принимаемые для практической реализации энергосберегающей политики, в ряде случаев представляются недостаточными. Как известно, до 1995 г. сопротивление теплопередаче наружных ограждений определялись главным образом по санитарно-гигиеническим требованиям – из условия предотвращения конденсации водяных паров на внутренних поверхностях и по допустимой разнице температур между этими поверхностями и воздухом помещения. Существовала, правда, формула для расчета сопротивления по технико-экономическим соображениям, но на практике она почти не использовалась из-за явно завышенных результатов, которые она давала. Подробно рассматриваемые ниже Изменения № 3 и № 4 к [66] формально были приняты для реализации перечисленных законов и программ. Их основная сущность – в резком (до трех раз) повышении теплозащитных свойств несветопрозрачных ограждений как будто бы на основании технико-экономических расчетов, а на деле – из желания, как будет более подробно показано ниже, снизить теплотраты на отопление директивным порядком на 40%.

Но о принципиальных недостатках этих новшеств и последствиях их реализации подробно рассказывают авторы весьма концептуальной работы [39]. В частности, по их мнению, ограниченность данных изменений в плане ориентации только на одно из возможных энергосберегающих мероприятий не позволила добиться заявленного эффекта по снижению общего энергопотребления. В то же время несоответствие возможностям существующей строительной индустрии вызвало очень сложную и многозатратную процедуру по переоснастке домостроительных комбинатов на выпуск трехслойных панелей с эффективным утеплителем, завершленную практически только в Москве и некоторых других крупных городах, поскольку только такие конструкции удовлетворяли новым требованиям. Однако данные ограждения имеют низкую теплотехническую однородность и неэффективное использование теплоизоляционного материала и к тому же весьма дороги, поскольку основная часть подобных материалов ввозится из-за рубежа или производится на предприятиях с иностранными владельцами.

Нечто подобное можно обнаружить и в работах специалистов из других регионов РФ. Так, авторы [82] на основе данных, полученных ими для условий г. Орла, утверждают, что по результатам измерения расхода при-

родного газа на отопление индивидуального жилого дома, построенного в 50-х гг. XX века, за период с 1999 по 2006 г. можно сделать вывод, что действующие тарифы на оплату отопления практически соответствуют реальному объему потребления газа с учетом его стоимости, но сам это объем примерно в 3 раза выше, чем для зданий с теплозащитой по требованиям [68]. Поэтому при существующем соотношении тарифов на энергоносители и цен на теплоизоляционные материалы расчетный бездисконтный срок окупаемости мероприятий по повышению теплозащиты существующих зданий до требований [68] составит порядка 10 лет, т.е. это мероприятие никак нельзя отнести к малозатратным и быстроокупаемым.

Аналогичные исследования в настоящее время имеются и за рубежом. Так, в работе [113] на основе сопоставления энергозатрат в течение всего жизненного цикла здания от строительства до окончания срока эксплуатации делается вывод, что начиная с определенной степени повышения теплозащиты суммарное энергопотребление, включая затраты на строительство, сначала замедляет снижение, а потом даже начинает возрастать. При этом технико-экономическая оценка для современного характера изменения цен и тарифов приводит авторов к выводу, что срок окупаемости принимаемого варианта должен лежать в пределах 0,9–4,2 года, и с этой точки зрения целесообразное повышение теплозащиты существенно меньше, чем по минимуму суммарного энергопотребления, примерно в 3,5–4 раза.

Альтернативный подход к повышению теплозащитных свойств и долговечности наружных ограждений за счет использования штучных материалов был подробно разработан в исследовании [3]. Как показывает автор, при современном технологическом уровне производства изделий типа эффективных керамических камней, в первую очередь из пористой керамики с неравномерным распределением пор по толщине, вполне возможно создание самонесущих наружных стен приемлемой толщины (2,5 кирпича) за счет достижения коэффициента теплопроводности порядка 0,22 Вт/(м·К) при экономически обоснованном сопротивлении теплопередаче. В отличие от трехслойных панелей, такие ограждения имеют теплотехническую однородность вплоть до 0,9 из-за отсутствия теплопроводных включений и к тому же намного более долговечны, поскольку в данном случае утеплитель и конструктивный слой представляют собой единое целое. В то же время в трехслойных панелях так называемый эффективный утеплитель деградирует с повышением теплопроводности и начинает разрушаться уже через 10–12 лет. К тому же такие материалы могут выделять вредные органические вещества, что вынуждает увеличивать воздухообмен и теплозатраты на вентиляцию. Подробно об этом рассказывается в работе шведского исследователя [93]. В этом смысле авторы [3] и [93] фактически утверждают одну и ту же концепцию устройства ограждений, хотя и с несколько различным обоснованием.

Кроме того, после принятия Изменений № 3 и № 4 к [66] возросла разница между требуемыми теплозащитными свойствами светопрозрачных и нестепрозрачных ограждений. В частности, ранее коэффициенты тепло-

передачи окон превышали таковые у стен примерно в 2–2.4 раза, а в настоящее время – примерно в 6 раз, причем практически независимо от района строительства. В то же время сохранилось имевшееся противоречие между требованиями к коэффициенту остекления по соображениям теплозащиты [66] и естественной освещенности [65]. Это проявляется в том, что заполнения светопроемов с более высокими сопротивлениями теплопередаче, как правило, обладают более низким светопропусканием. Поэтому после выбора остекления по [66] расчет требуемой площади остекления по условию необходимого коэффициента естественной освещенности (КЕО) в расчетной точке [65] может дать большее значение, чем допускает [66] по условию ограничения теплопотерь, что особенно существенно именно теперь, после увеличения разницы в теплозащите между прозрачными и непрозрачными ограждениями.

Выход из данной ситуации автор работ [62], [63] предлагает на пути использования окон, обладающих одновременно высокими теплозащитными и светотехническими свойствами, например оконных блоков с двухслойным вакуумным стеклопакетом с нанесением на одно стекло теплоотражающего покрытия. В качестве основного показателя при этом выдвигается критерий энергетической эффективности, обратно пропорциональный произведению коэффициента светопропускания и сопротивления теплопередаче окна. Однако при этом не учитывается, что главное энергосберегающее качество новых энергоэффективных конструкций окон заключено не столько в повышенном уровне теплозащиты, сколько в их герметичности, что позволяет снизить энергозатраты здания на подогрев холодного инфильтрующегося воздуха и тем самым отказаться от ограничений на коэффициент остекления [25].

Более подробно методика выбора теплотехнических качеств ограждений, причем не только светопрозрачных, по критерию энергетической эффективности приведена в монографии [63]. Ее суть заключается в минимизации суммарных затрат энергии, потраченной на изготовление ограждения и теряющейся через него в процессе эксплуатации здания. Однако результаты ее применения существенно зависят от используемых данных по удельному энергопотреблению на производство строительных материалов, и при недостоверных значениях можно получить уровень теплозащиты даже выше, чем в таблице 1Б [66]. Это подтверждают и авторы похожего по смыслу независимого зарубежного исследования [100], хотя здесь для оптимизации используются численные методы. Кроме того, в [63] весьма некорректно объединены плотность теплового потока через ограждение и энергия, аккумулированная в материале при его изготовлении, т.е. параметры, имеющие различный физический смысл, в связи с чем предлагаемая методика представляется весьма сомнительной [26].

Между прочим, между требованиями к выбору заполнения светопроемов имеется и еще одно противоречие. По условию обеспечения КЕО отношение площади остекления к площади пола в жилых зданиях обычно получается в пределах 1/5–1/7. Такое условие было в свое время закреплено в

нормах [67]: рекомендуемое отношение 1/5,5, но не менее 1/8. И хотя в настоящее время документ [67] отменен, требования по КЕО [65] остаются и в соответствии с ЗТР являются обязательными, поскольку относятся к безопасности жизнедеятельности. В то же время в Изменениях № 3 и № 4 к [66] максимально допустимая удельная воздухопроницаемость окон в жилых зданиях была снижена с 10 до 6 кг/(ч·м²), в значительной степени как раз для компенсации упомянутого выше резкого увеличения разрыва между сопротивлениями теплопередаче окон и стен. Тогда, если даже принять среднюю величину соотношения 1/5,5, получается, что на 1 м² жилой площади поступление свежего наружного воздуха составит 6/5,5 = 1,09 кг/(ч·м²), или всего 0,91 м³/(ч·м²). В то же время по санитарно-гигиеническим соображениям необходимый минимальный воздухообмен должен составлять 3 м³/(ч·м²), или 30 м³/(ч·чел) [69], что при норме заселенности в 12 м²/чел жилой площади для муниципальных зданий составляет 2,5 м³/(ч·м²), т.е. примерно столько же. Иначе говоря, требование по воздухопроницаемости, связанное с требованиями по теплозащите, несовместимо с требованиями по воздухообмену, хотя в принципе все эти требования относятся к безопасности жизнедеятельности и не могут быть проигнорированы. В работах [9], [51] выход из этой ситуации был предложен на пути перехода на механическую вентиляцию даже в жилом здании и, главное, устройства утилизации теплоты вытяжного воздуха, в данном случае для подогрева воды в системе горячего водоснабжения (ГВС).

Формально часть рассмотренных претензий к нормам по теплозащите была впоследствии учтена. Как известно, постановлением Госстроя России № 113 от 26 июня 2003 г. принят и введен в действие с 1 октября 2003 г. новый нормативный документ [68]. Главной его особенностью по сравнению с предыдущей версией [66] является возможность использования потребительского подхода к нормированию тепловой защиты, при котором устанавливается предельное значение удельного энергопотребления здания в целом. Такой подход был перенесен из ранее принятых территориальных строительных норм, типичными примерами которых могут служить документы [43], [79], [81]. Основное преимущество его в том, что это позволяет проектировщику и заказчику достигать одного и того же уровня энергопотребления различными способами за счет выбора наиболее предпочтительных в каждом конкретном случае энергосберегающих мероприятий. Сюда входят, например, объемно-планировочные решения, автоматизация инженерных систем, учет внутренних тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации и т.д. Это обычно дает возможность снизить сопротивление теплопередаче несветопрозрачных ограждений по сравнению с требованиями таблицы 1Б [66].

Тем не менее приведенные в приложении Г [68] правила вычисления энергопотребления за отопительный период не учитывают многих возможных энергосберегающих мероприятий, например утилизацию теплоты вытяжного воздуха, применение теплонасосных установок (ТНУ) и так далее. Кроме того, допустимое снижение сопротивления теплопередаче невелико

(для наружных стен – до 37%, а для полов и потолков – всего 20%) и не достигает значений, достаточных по санитарно-гигиеническим требованиям. Например, в условиях Москвы для наружных стен жилых зданий по санитарно-гигиеническим требованиям достаточно сопротивления теплопередаче, равного 1,35 (м²·К)/Вт, а в соответствии с [68] допускается его снижение только до 1,98 (м²·К)/Вт. Избыточность допускаемого в [68] уровня теплозащиты вытекает, в частности, из следующего обстоятельства. Можно провести расчеты по методике приложения Г для значительной группы зданий, например, из [73]. И тогда оказывается, что фактическое удельное энергопотребление для большинства районов России, кроме самых южных, заметно ниже, чем нормируемое по таблице 9 [68].

Покажем, как это получается. Проведем расчет удельного энергопотребления q_h^{des} , кДж/(м³·°С·сут), по методике приложения Г [68] для характерного здания-представителя – средней школы по типовому проекту 221-1-25-387 [73] – в трех регионах России с различными климатическими условиями. Коэффициент компактности k_e^{des} , м⁻¹, представляющий собой отношение суммарной площади наружных ограждений A_e^{sum} , м², к V_h , для данного объекта равен 0,423. Если взять для примера, скажем, Краснодар (градусо-сутки отопительного периода $D_d = 2682$ [70]), Москву ($D_d = 4944$) и Воркуту ($D_d = 8905$), получается весьма любопытная картина. В табл. 1.1.1 приведены значения q_h^{des} для трех вариантов: 1 – R_{req} для ограждений непосредственно по таблице 4 [68]; 2 – после допустимого снижения по п. 5.13 [68], 3 – несветопрозрачные ограждения по формуле (3) [68], т.е. по санитарно-гигиенической норме. Требуемый по таблице 9 [68] уровень энергопотребления q_h^{req} , кДж/(м³·°С·сут), указан в последней колонке. Соответствующие расчетные формулы приложения Г [68] выглядят так:

$$q_h^{des} = 10^3 Q_h^y / (V_h D_d); \quad (1.1.1)$$

$$Q_h^y = [Q_h - (Q_{im} + Q_s) \nu \xi] \beta_h. \quad (1.1.2)$$

Здесь V_h , м³ – отапливаемый объем здания; Q_h^y , МДж/год – годовой расход теплоты на отопление и вентиляцию здания. Параметры Q_h , Q_{im} , Q_s , МДж/год, представляют собой соответственно годовой расход теплоты на компенсацию трансмиссионных и вентиляционных (инфильтрационных) теплопотерь, теплопоступления бытовые и от солнечной радиации. Параметр $\nu = 0,8$ – это коэффициент, учитывающий способность ограждающих конструкций помещений зданий аккумулировать или отдавать теплоту, ξ – коэффициент степени автоматизации регулирования системы отопления в здании. Множитель β_h – это коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системой отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, с их дополнительными теплопотерями через заприборные участки ограждений, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения.

Теплоэнергетические показатели зданий образовательных учреждений

Регион	D_d	q_h^{des}			q_h^{req}	Для варианта 1:		
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3		q'_h	K_m	K_{int}
Краснодар	2682	29,71	34,45	43,56	38	0,53	1,089	0,369
Москва	4944	22,75	26,26	34,56	38	0,50	0,808	0,257
Воркута	8905	21,70	24,16	31,69	36,1	0,42	0,691	0,166

Таким образом, оказывается, что даже после допустимого снижения теплозащиты величина q_h^{des} будет ниже, чем q_h^{req} , и довольно существенно, особенно в северных районах. В скрытом виде это означает, что R_{req} по сравнению с таблицей 4 [68] можно снизить практически всегда. Данное обстоятельство лишний раз свидетельствует об избыточности и необоснованности этих значений. Кроме того, отсюда видно, что доля трансмиссионных теплопотерь в энергетическом балансе здания отнюдь не так велика, как это представляют авторы документа [68]. В таблице эта доля показана в виде отношения q'_h теплопотерь через ограждения к общей отопительно-вентиляционной нагрузке. Более подробно об этом будет еще сказано в разделе 3. Если учитывать и другие энергозатраты, q'_h будет еще ниже. Более того, при требуемом уровне q_h^{req} снижение теплозащиты в ряде случаев возможно вплоть до допустимого по санитарно-гигиеническим соображениям, на что авторы вопреки всякой логике так и не пошли. Исключение составляют только самые южные районы (вариант 3). Это связано с тем, что с уменьшением D_d общий коэффициент теплопередачи здания K_m , Вт/(м²·К), при нормировании теплозащиты по таблице 4 [68], а тем более при ее снижении, по абсолютной величине растет существенно быстрее, чем увеличиваются удельные тепlopоступления K_{int} в той же размерности, полученные соответствующим пересчетом из формул (Г.6) и (Г.7) [68]. Все это говорит о том, что документ [68] является половинчатым и непоследовательным с точки зрения реализации потребительского подхода.

Рассмотрим далее более подробно вопрос обоснованности принятых в рецензируемом документе значений требуемого удельного энергопотребления q_h^{req} , кДж/(м³·°С·сут), особенно в соотношении с конструктивными и объемно-планировочными решениями зданий и климатическими характеристиками района строительства, а также отметим некоторые другие ошибки, о которых не упоминалось выше. Основная задача автора состоит здесь в том, чтобы показать, в какой степени реализации данных нормативов позволяет (или не позволяет) достичь заявленной их разработчиками цели, т.е. предоставить проектировщикам более широкие возможности по реализации энергосберегающих мероприятий по сравнению с предыдущей версией норм по теплозащите [66].

Во-первых, как и при введении Изменений № 3 и № 4 к [66], отсутствует всякое обоснование этих величин, и остается только догадываться, что они получены на базе некоторой статистики и требуемого снижения энергопотребления. Хотя последнее тоже неочевидно, и ниже это будет наглядно показано.

Для этого проведем расчет фактического удельного энергопотребления q_h^{des} , кДж/(м³·°С·сут), по методике приложения Г [68] для группы из 23 зданий средних образовательных учреждений по данным [73], в т.ч. 14 двухэтажных и 9 трехэтажных, в уже упомянутых трех регионах России – в Краснодаре, Москве и Воркуте, получается следующая картина. На *Рис. 1.1.1* и *1.1.2* показаны результаты расчетов в зависимости от коэффициента компактности k_e^{des} . При этом для построения *рис. 1.1.1* использовано допустимое по п. 5.13 [68] уменьшение значений требуемого сопротивления ограждений теплопередаче R_{req} , (м²·К)/Вт, а для *рис. 1.1.2* взят уровень R_{req} непосредственно по таблице 4 [68], без снижения.

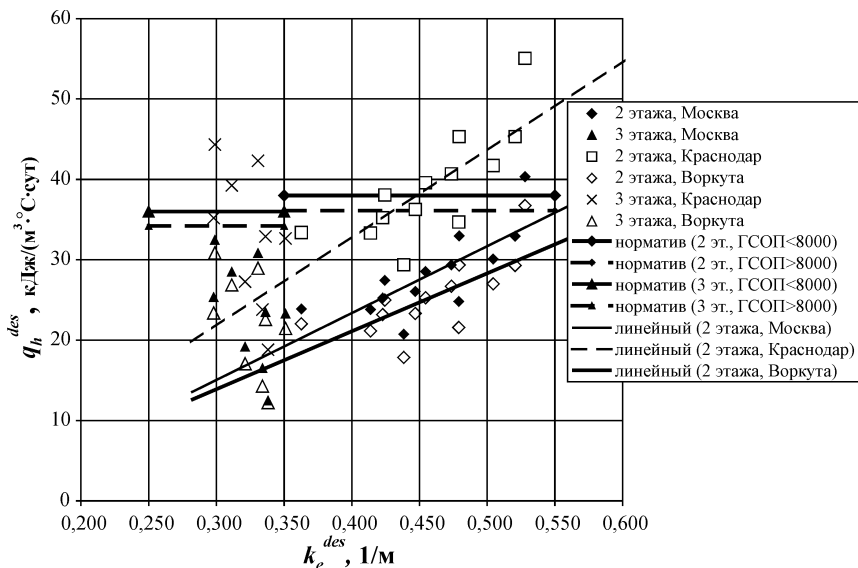


Рис. 1.1.1. Зависимость фактического удельного энергопотребления школьных зданий q_h^{des} от компактности и района строительства. Сопротивления теплопередаче с допустимым уменьшением

Как и следовало ожидать, с ростом k_e^{des} величина q_h^{des} тоже увеличивается из-за относительного повышения площади теплоотражающих поверхностей, хотя эта тенденция в данном случае в силу конструктивных особенностей четко прослеживается только для двухэтажных зданий. При этом показанная на рисунках линия тренда при некотором значении компактности может пересекать горизонтальную прямую, соответствующую нормируемому значению удельного энергопотребления q_h^{req} , указанному в таблице 9 [68]. Это означает, что при дальнейшем повышении k_e^{des} снижать теплозащитные свойства ограждений уже нельзя, и, более того, как показывает *рис. 1.1.2*, для достижения заданного q_h^{req} может потребоваться даже дополнительное увеличение R_{req} по сравнению с указанным в таблице 4 [68].

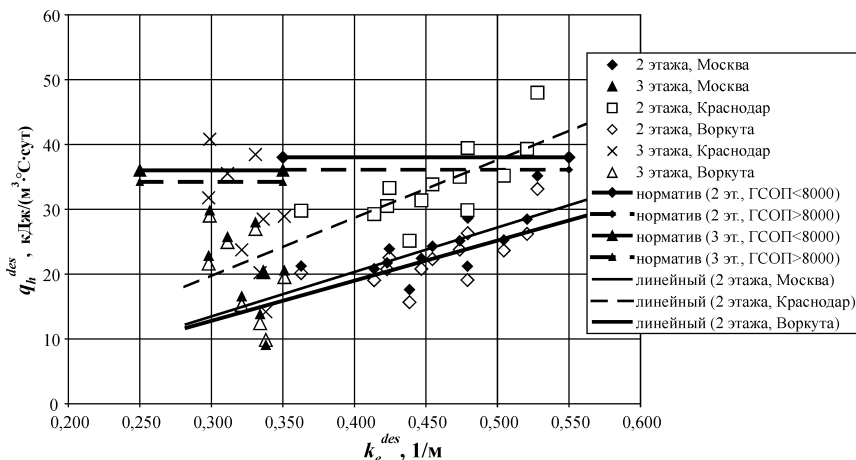


Рис. 1.1.2. Зависимость фактического удельного энергопотребления школьных зданий q_h^{des} от компактности и района строительства. Сопротивления теплопередаче по табл. 4 [68]

Казалось бы, это полностью соответствует заявленной цели – возможности учета объемно-планировочных решений здания, которые как раз и характеризует k_e^{des} , при выборе теплозащиты ограждений. Но весь эффект от этой возможности сводится на нет одним-единственным, зато принципиальным дефектом, а именно: нормируемые значения q_h^{req} в таблице 9 [68] приняты практически независимыми от D_d , и только при $D_d > 8000$ допускается их снижение, но всего на 5%. В то же время рекомендуемые значения R_{req} существенно возрастают с увеличением D_d . В результате этого фактическое удельное энергопотребление зданий в северных районах будет ниже, чем в южных. Это хорошо видно по расположению точек на рис. 1.1.1 и 1.1.2. Следовательно, как показывают вышеприведенные расчеты, в этом случае здания в южных регионах оказываются в значительно худшем положении (q_h^{des} гораздо выше) вследствие затруднений с использованием внутренних тепловыделений. Это связано с тем, что с уменьшением D_d общий коэффициент теплопередачи здания K_m , Вт/(м²·К), при нормировании теплозащиты по таблице 4, а тем более при ее снижении, по абсолютной величине растет существенно быстрее, чем увеличиваются удельные тепlopоступления K_{int} в той же размерности, полученные соответствующим пересчетом из формул (Г.6) и (Г.7) [68] (см. табл. 1.1.1), в первую очередь из-за сокращения продолжительности отопительного сезона. Но тогда выясняется, что при малых D_d требования к теплозащите будут более жесткими, что противоестественно и противоречит всей практике проектирования.

Вследствие указанных причин для зданий в южных районах снижение теплозащиты оказывается существенно сложнее. В частности, из рис. 1.1.1 видно, что такое снижение в пределах рассматриваемой группы зданий все-

Научное издание

Олег Дмитриевич Самарин

**ТЕПЛОФИЗИКА.
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ**

Компьютерная верстка: *Е.В. Орлов*

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано к печати 03.03.14. Формат 60x90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 18,5 п.л. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – КМК, оф. 348
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>