

Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А.

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ –
СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ
И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

УДК 69.001.76:699.86

Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с.

Книга посвящена важному и актуальному направлению развития современной строительства – энергоэффективным зданиям. Авторы освещают историю появления энергоэффективных зданий в России и за рубежом, исследуют современное состояние вопроса. Выявляют проблемы, препятствующие активному появлению энергоэффективных зданий. Предлагается авторский подход в решении выявленных проблем, заключающийся в формировании научных основ методологии процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий. При этом жизненный цикл энергоэффективного здания рассмотрен авторами как жизненный цикл сложной энергетической системы, находящейся в постоянном развитии и взаимодействии с внешней средой.

Излагается метод расчёта энергетической эффективности зданий на основе интегрирования затрат энергетических ресурсов на протяжении жизненного цикла здания и получения интегрального показателя энергоэффективности зданий. Предложенный интегральный показатель коррелирует с принятыми показателями энергетической эффективности зданий, получаемыми по теплотехническому расчёту согласно СНиП 23-02-2003 и СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Книга содержит много нового материала, который не рассматривался в литературе по строительству. Она предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся проблемами энергетической эффективности зданий, а также представляет интерес для преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Печатается в авторской редакции

Рецензенты:

© Ивановский государственный
Политехнический университет, 2016

© Р.М. Алоян, С.В. Федосов, Л.А. Опарина, 2016

ISBN

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ – ОТ ПОЯВЛЕНИЯ ДО НАШИХ ДНЕЙ	7
1.1. Эволюция понятия «Энергоэффективное здание»	7
1.2. История появления и развития энергоэффективных зданий за рубежом.....	11
1.3. История появления и развития энергоэффективных зданий в России	31
1.4. Принципиальная схема энергоэффективного здания.....	42
1.5. Классификация показателей энергетической эффективности зданий	45
1.6. Обоснование и формализация интегрального показателя энергетической эффективности зданий	49
РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ.....	61
2.1. Энергосбережение при производстве, строительстве и эксплуатации основных строительных материалов.....	61
2.3. Энергосберегающие синтетические геоматериалы.....	73
2.4. Современные конструкционно-теплоизоляционные строительные материалы.....	78
2.5. Энергосберегающие строительные конструкции и системы	89
2.5.1. Навесные вентилируемые фасады.....	89
2.5.2. Система штукатурных фасадов	93
2.5.3. Энергосберегающие полы	97
2.5.4. Энергосберегающие окна	99
РАЗДЕЛ 3. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ	102
3.1. Рекуперация тепловой энергии.....	102

3.2. Использование возобновляемых источников энергии. Тепловые насосы.....	105
3.3. Приборы для учета расхода энергии. Компьютерное управление энергетическими системами здания. «Умные дома»	109
РАЗДЕЛ 4. МИКРОКЛИМАТ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ	114
4.1. Параметры комфортного микроклимата	114
4.3. Учёт параметров комфортного микроклимата при определении энергоэффективности зданий.....	127
РАЗДЕЛ 5. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ В РОССИИ	134
5.1. Проблемы обеспечения энергоэффективности зданий на уровне нормативно-правовых документов.....	134
5.2. Проблемы обеспечения энергоэффективности зданий на уровне организации строительного производства и процессов строительства	161
5.3. Проблемы обеспечения энергоэффективности зданий на уровне методологии процессов организации жизненного цикла	171
РАЗДЕЛ 6. ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОЯЩИХСЯ И СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ	179
6.1. Внедрение системотехнических принципов энергоэффективности зданий	179
6.2. Внедрение методологии системного и процессного подходов к организации жизненного цикла энергоэффективных зданий	187
6.3. Имитационное моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий	193
6.4. Создание базы данных энергоёмкости строительных материалов...	233
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	249
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	252
Об авторах	274

ВВЕДЕНИЕ

Роль энерго- и ресурсосбережения в современном мире огромна: энергоэффективность и энергосбережение стоят в числе приоритетных направлений развития науки и техники Российской Федерации; принятая ООН 1 января 2016 года всемирная Повестка дня в области устойчивого развития основана на разумном и эффективном потреблении энергии и ресурсов. Огромная доля в потреблении энергоресурсов принадлежит зданиям; общий технологический потенциал энергосбережения в РФ консервативно оценивается в 350 млн. тонн условного топлива, из которых около 130 млн. тонн условного топлива – за счет снижения непроизводительных энергопотерь в зданиях. Таким образом, актуальным направлением и одной из главных задач современного строительного производства является рациональное использование энергоресурсов и повышение энергетической эффективности зданий.

Энергоэффективные здания являются реальностью нашего времени, одним из неотъемлемых факторов устойчивого развития среды обитания человека. С конца 70-х годов прошлого века из единичных пилотных проектов они превратились в реальные объекты: энергоактивные, энергопассивные, нулевые, энергоэффективные здания, представляющие собой синтез архитектурно-планировочных, конструкторских, инженерных решений, направленных на снижение потребляемых зданиями энергоресурсов без потери их надёжности и комфортности. Накопленный опыт проектирования и строительства энергоэффективных зданий свидетельствует о том, что эффективность является

не статической характеристикой, задаваемой на стадии проектирования, а динамической, формирующейся в течение всего жизненного цикла зданий. Именно в этом ключе авторы рассматривают эту важнейшую характеристику. Ведущая роль в формировании энергоэффективности принадлежит организационным процессам жизненного цикла зданий, так как организационные процессы в жизнедеятельности любой системы являются важнейшим условием успешного её прохождения от начала до конца – от замысла к достижению цели. Эффективная, продуманная организационная подготовка всех стадий жизненного цикла здания от инвестиционного замысла до вывода из эксплуатации имеет решающее влияние на эффективность взаимодействия многочисленных участников инвестиционно-строительного процесса, всё более усложняющегося с ужесточением требований к энергетической эффективности зданий, которая, по мнению авторов, формируется в течение всего жизненного цикла здания как сложной энергетической системы.

Книга ориентирована на создание научных основ организационных процессов на разных стадиях жизненного цикла энергоэффективных зданий с целью последующего их исследования и внедрения в практической деятельности.

От авторов: ваши замечания, предложения и вопросы отправляйте по адресу электронной почты L.A.Oparina@gmail.com.

Мы будем рады узнать Ваше мнение!

РАЗДЕЛ 1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ – ОТ ПОЯВЛЕНИЯ ДО НАШИХ ДНЕЙ

1.1. Эволюция понятия «Энергоэффективное здание»

Понятие «Энергоэффективное здание» существует в отечественной и зарубежной строительной науке около 50 лет, и на протяжении всего этого периода времени не теряется интерес к данным зданиям, а проблема обеспечения энергетической эффективности является современной и актуальной. За это время кроме термина «энергоэффективное здание» появились такие как «пассивные здания», «энергоактивные здания», «нулевые здания», «зелёные здания» и многие другие, при этом часто происходит подмена понятий и путаница, о каком здании в каком контексте идёт речь.

Проведённое авторами исследование научной и нормативно-правовой литературы по вопросам энергетической эффективности зданий [8, 9, 10, 103] выявило необходимость уточнения терминологии энергоэффективности применительно к зданиям и определение понятия «энергоэффективное здание», так как развитие терминологии, определяющей энергоэффективность здания, и появление различных терминов требует определения понятия, носителем которого они являются.

Термин «энергоэффективность» введён СНиП 23-02-03 «Тепловая защита зданий», сменивший СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника». Нормы данного СНиПа предусматривают введение нового показателя энергоэффективности зданий, а именно, удельная потребность в тепловой энергии на отопление, а также устанавливают классы энергоэффективности зданий, показатели энергоэффективности и их правила оценки как при проектировании и строительстве, так и при эксплуатации [86].

СНиП, СП и другие нормативно-правовые акты установили нормативные требования к зданиям по теплопроводности, в основе которых нормируется удельная потребность в тепловой энергии на отопление, охлаждение и вентиляцию зданий. Здания, удовлетворяющие данным требованиям, получили название «энергоэффективные здания».

Разработчики нормативно-правовой документации, посвящённой энергетической эффективности зданий определяют энергетическую эффективность здания как свойство объекта и его инженерных систем обеспечивать заданный уровень расхода тепловой энергии для поддержания оптимальных параметров микроклимата помещений [46].

В научной литературе также можно встретить определение понятия «энергоэффективное здание» как здание с показателями энергопотребления ниже, чем установленные нормативами. В МГСН 2.01-99 Энергетическая эффективность здания определена как свойство объекта и его инженерных систем обеспечивать заданный уровень расхода тепловой энергии для поддержания оптимальных параметров микроклимата помещений [86].

В процессе формирования и развития понятия «энергоэффективное здание» произошло расширение его содержания от требований низкой теплопроводности ограждающих конструкций к минимизации первичной энергии на обеспечение необходимого микроклимата внутри здания. Таким образом, энергоэффективность – это эффективное использование не только тепловой энергии, но и других видов энергии и энергетических ресурсов, о чём сказано и в федеральном законе № 261-ФЗ [73].

Авторы методических основ проектирования энергоэффективных зданий определяют энергоэффективное здание как совокупность архитектурных и инженерных решений, наилучшим образом отвечающих целям минимизации расхода энергии на обеспечение микроклимата в помещениях здания, то есть результат выбора определенными научными методами совокупности технических решений, наилучшим образом отвечающих поставленной цели [139]. Дан-

ное определение содержит основные признаки понятия «энергоэффективное здание», однако оно не учитывает особенности современной энергетической экономики, а именно, необходимость минимизации финансовых ресурсов на обеспечение энергоэффективности.

Разработанная в 2003 году РААСН Стратегия устойчивого развития строительного комплекса России содержит направление нахождения путей создания комфортного энерго-ресурсо-минимизирующего жилого дома (КЭРМ-хаус), основной характеристикой которого является сниженное в 2-4 раза первичное энергопотребление по сравнению с 2001 годом и действующими нормами. Таким образом, КЭРМ-хаус по характеристикам и требованиям также можно определить как «энергоэффективное здание». Определение понятия «энергоэффективное здание» требует уточнения понятия не только «энергоэффективность», но и понятия «здание», так как существует родовое понятие «строение» и видовые понятия «здание» и «сооружение», нередко употребляемые как синонимы, так СНиП 23-02-03 устанавливает нормы и правила энергетической эффективности для зданий и сооружений, отождествляя их. Общероссийский классификатор основных фондов определяет здание как архитектурно-строительный объект, предназначенный для населения, а также хранения материальных ценностей, в целом для создания условий защиты от воздействий окружающей среды. Здание выполняет данные функции при помощи конструктивных частей: наружных ограждающих конструкций и крыши. Здание включает в себя также подземные части, коммуникации, которые необходимы для нормальной эксплуатации, инженерные системы отопления, газификации, водоснабжения и водоотведения, электрообеспечения, освещения, силовые установки, сети телефонизации, радиофикации, устройства вентиляции, лифты и подъёмники и так далее. При этом все названные устройства должны находиться внутри здания. Отличительной особенностью сооружений по сопоставлению со зданиями является то, что функциональное назначение сооружений заключается в создании условий для осуществления производственных процессов, технологических процессов, непроизводственных функций, которые не связаны с изменением предмета труда [86]. Таким образом,

указано разделение на здания и сооружения по их функциональному назначению. В Строительных нормах и правилах номер 10-01-94 понятия «здание» и «сооружение» практически не разделяются, даже отождествляются, причём зданием признаётся наземное сооружение с помещениями, функционально предназначенными и для людей, и для хранения материальных ценностей, и для осуществления производственных процессов, т.е. для определённых потребительских функций.

Процесс образования понятия «энергоэффективное здание» рассмотрен в работе [86] при помощи диалектической логики, применение которой позволяет исследовать процесс формирования понятия, который происходит постепенно, по мере накопления научных знаний об объекте. Рассматривая понятие «энергоэффективное здание» как целостную совокупность суждений, т.е. мыслей, в которых что-либо утверждается об отличительных признаках исследуемого объекта, в первую очередь необходимо определить его ядро, которым являются суждения о наиболее общих и в то же время существенных признаках этого объекта. Ядром понятия «энергоэффективное здание» служат такие признаки как «здание», «планировочные, конструктивные и инженерные решения», «уровень комфортности», «затраты на энергоресурсы». На основании вышеизложенного автором [86] предлагается следующее определение: **«энергоэффективное здание – это строение, отвечающее нормативным требованиям безопасности и надёжности, совокупность планировочных, конструктивных и инженерных решений которого обеспечивает необходимый потребительский уровень комфортности при нормативных или меньших затратах на энергоресурсы на протяжении всего жизненного цикла»**. Предлагаемое определение построено в соответствии с правилами определения понятий диалектической логики, а именно:

- Понятие «энергоэффективное здание» определено через ближайший род – строение и видовое отличие – соответствие нормативам энергопотребления.

- Определение соразмерно, т.е. объём определяемого понятия и понятия, посредством которого определено искомое понятие, одинаковы, соответственны.
- Видовым отличием является признак или группа признаков, свойственных только данному понятию и отсутствующих в других понятиях, относящихся к тому же роду, т.е. признак соответствия нормативам энергопотребления при обеспечении необходимого уровня комфортности отсутствует в других понятиях, относящихся к строениям.
- Определяемое понятие не содержит круга, т.е. энергоэффективное здание не определено посредством такого понятия, которое само становится ясным только посредством определяемого понятия.
- Определение не отрицательно и соответствует цели определения, которая заключается в том, чтобы ответить на вопрос, чем же является энергоэффективное здание, отображаемое в понятии, а для этого перечислены в утвердительной форме его существенные признаки.
- Определение логически непротиворечиво.
- Определение чёткое, ясное, не содержит двусмысленностей [86].

Таким образом, предлагаемое определение отличается от существующих более полным содержанием, учитывающим безопасность, надёжность и комфортность здания, все виды потребляемых зданием энергоресурсов и его жизненный цикл.

1.2. История появления и развития энергоэффективных зданий за рубежом

Исследование историю появления энергоэффективных зданий за рубежом, по мнению авторов, следует начать с анализа нормативно-правовых и методологических источников, появившихся в 70-х годах двадцатого века. Именно к этому периоду относятся исследования, посвящённые первым принципам энер-

госбережения и энергоэффективности в том числе и в строительстве, а также исследования, посвящённые мировому энергетическому кризису и созданию стратегии устойчивого развития. Ведущие зарубежные учёные и политики признали взаимосвязь между техническими, экономическими, экологическими и социальными мерами по достижению обозначенных принципов. С этого времени ведущими учёными началась глобальная научно-исследовательская работа по повышению энергоэффективности как строительных объектов, так и организации и технологии строительного производства.

Наиболее известные энергоэффективные здания, построенные в период с 1972 по 2003 г. подробно описаны в монографии Табунщикова Ю.А., Бродач М.М. и Шилкина Н.В. [139]. Первые энергоэффективные здания являлись демонстрационными, пилотными проектами, объединяющими архитектурно-планировочные и инженерные решения, направленные на достижение одной цели – экономии энергетических ресурсов на их отопление, вентиляцию и поддержание комфортного микроклимата.

Первое зарубежное энергоэффективное здание было построено в США в штате Нью-Хэмпшир в 1972 году (рисунок 1). Его функциональное назначение – административное, площадь 15600 кв.м, количество этажей – 6, сопротивление теплопередачи наружных ограждающих конструкций $0,53 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, покрытия $1,17 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, окон $0,16 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Энергетическую эффективность данного здания формировали следующие факторы:

- минимальная площадь поверхности здания (куб);
- небольшая площадь остекления (10%);
- светлоокрашенная кровля (низкий коэффициент поглощения солнечной радиации);
- неостеклённая северная сторона;
- вертикальные и горизонтальные солнцезащитные устройства для окон.

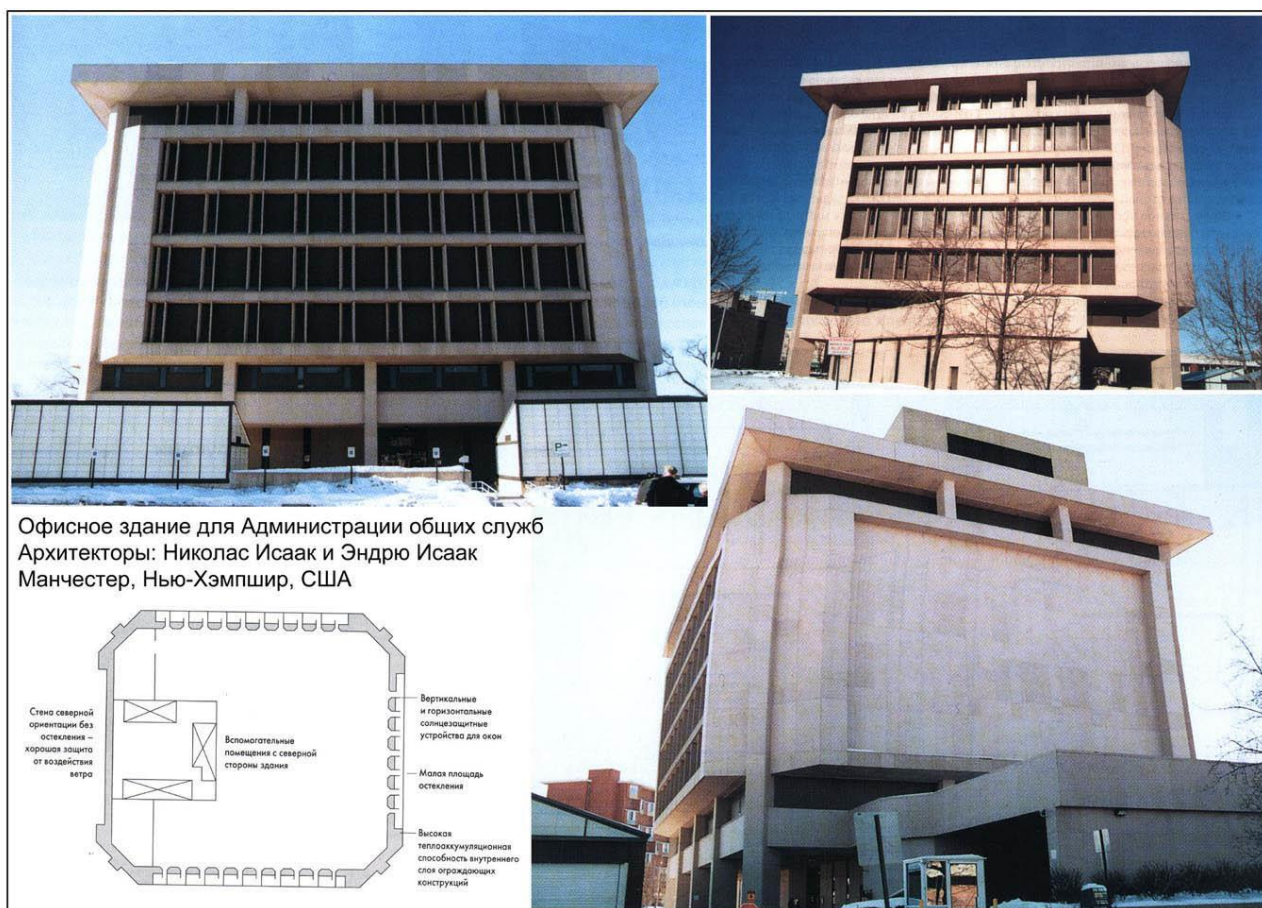


Рисунок 1 – Энергоэффективное здание (США Нью-Хэмпшир, 1972г.) [160]

Необходимо отметить, что первые успешные плотные проекты энергоэффективных зданий были успешно реализованы в основном, в странах с холодным климатом, где вопрос отопления зданий, сохранения накопленного тепла стоит остро в течение длительного отапливаемого периода. Так, инновационное энергосберегающее здание «EKONO-house» было построено в Финляндии в Отани-еми (около Хельсинки) в 1973 г. (рисунок 2). Его функциональное назначение – административное, здание состоит из двух секций (вторая построена в 1979 г.), общая площадь 36990 кв.м, количество этажей – 6, ежегодное удельное теплотребление первой секции здания составило $124 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, электропотребление $79 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, ежегодное удельное теплотребление первой секции здания составило $70 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, электропотребление $57 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, что ниже подобных зданий в Финляндии и США [139].



Рисунок 2 – Энергоэффективное здание «EKOONO-house»
(Финляндия, Отаниеми, 1973 г.) [112]

Энергетическую эффективность данного здания формировали следующие факторы:

- эффективное использование внутреннего объёма здания, заключающееся в модульной системе конструирования (расположение лифтов, санузлов и вентканалов в центре здания в качестве опорного узла, использование пустот в плитах перекрытия для прокладки вентканалов и электропроводки);
- ограждающие конструкции с повышенной теплоёмкостью за счёт устройства цилиндрических коаксиальных воздухопроводов и уплотнением притворов для уменьшения инфльтрационных теплопотерь;
- использование тепловыделений от находящихся в здании людей, бытовых приборов и оборудования;
- полые плиты перекрытия, обеспечивающие дополнительные поверхности для передачи ограждающим конструкциям тепла от рециркуляционного воздуха;
- вентилируемые окна: устройство щелей для прохождения воздуха, нагревания им стекол зимой и охлаждения их летом;

- солнечные коллекторы, собирающие тепло от солнечной радиации и передающие его посредством жидкого теплоносителя в теплообменник с последующим аккумулированием его в основании здания, служащим аккумулятором тепла;
- система воздушного отопления, совмещённого с вентиляцией, имеющей датчики контроля углекислого газа, срабатывание которых позволяет автоматически добавлять необходимое количество наружного воздуха к рециркуляционному;
- энергосберегающая система освещения с автоматическим регулированием уровня освещённости с учётом естественной инсоляции;
- система автоматического управления оборудованием климатизации и освещением.

Энергетическая эффективность зданий может быть достигнута не только во вновь строящихся зданиях в процессе проектирования и строительства, но и в процессе реконструкции. Примером является реконструкция многоквартирного жилого здания в Дании в г. Копенгаген (рисунок 3).



Рисунок 3 – Энергоэффективное здание после реконструкции
(Дания, Копенгаген 1995 г.) [161]

Год строительства здания 1950, год реконструкции 1994, общая площадь здания 11047 м², жилая площадь 9896 м². Целью реконструкции здания являлось снижение потребления энергоресурсов до 50%.

Энергетическую эффективность данного здания формировали следующие факторы:

- замена старых окон на окна новой конструкции с повышенными теплозащитными свойствами;
- дополнительная теплоизоляция наружных ограждающих конструкций и чердака;
- устройство механической системы вентиляции с рекуперацией тепла удаляемого воздуха, основанное на использовании противоточных теплообменных установок с коэффициентом эффективности 80% и низким потреблением энергии (30-35 Вт на квартиру) для снижения затрат энергии на подогрев приточного воздуха и улучшения качества микроклимата квартир;
- применение конструкции так называемых «солнечных стен» на выходящем во двор южном фасаде здания площадью 178 м² для предварительного подогрева приточного воздуха системы вентиляции;
- использование солнечных коллекторов для горячего водоснабжения, вмонтированных в крышу общей площадью 238 м²: 138 м² с ориентацией на юг, 50 м² с ориентацией на восток и 50 м² с ориентацией на запад;
- использование низкотемпературных радиаторов для отопления помещений как возможность использования низкотемпературной обратной воды системы централизованного теплоснабжения;
- остекление балконов;
- использование контроля и управления [139].

Реализация перечисленных факторов позволила инженерам-строителям достичь снижения затрат энергии на отопление и горячее водоснабжение здания на 54% и 37,5% соответственно.

Другой интересный проект реконструкции здания с целью повышения энергоэффективности реализован также в Дании в Фредериксберге. Отличительной особенностью данного здания является устройство «солнечных вентиляционных башен»: шахт, пристроенных с внешней стороны наружных стен с обеих сторон лестничных клеток. Поверхность этих шахт выполнена из перфорированных алюминиевых пластин с тёмно-зелёным покрытием, имеющим высокий коэффициент поглощения тепла солнечной радиации. Такая конструкция обеспечивает предварительный нагрев воздуха, проходящего через шахту и используемого как приточный вентиляционный воздух. В некоторых «солнечных вентиляционных башнях» дополнительно применяются конструкции PV-VENT, в которых встроенные в здание фотоэлектрические модули с PV-панелями устанавливаются в верхней части «солнечной вентиляционной башни» для электрообеспечения вентиляторов системы вентиляции [139].

По мере появления опыта проектирования, строительства, эксплуатации и реконструкции зданий до достижения определённого уровня энергоэффективности появлялся опыт, который стало возможно тиражировать от отдельных зданий до целых микрорайонов. Примером может служить строительство демонстрационного энергоэффективного района EKOVIKKI в Хельсинки (Финляндия) общей площадью территории 1132 га. В этом микрорайоне энергоэффективность объединила в себе также и социальные, экологические и энергетические требования, что говорит об осознании необходимости устойчивого развития среды жизнедеятельности. Современное общество должно развиваться в соответствии с принципами устойчивого развития (sustainable development), основными из которых являются:

- улучшение условий жизни человека в условиях воздействия на окружающую среду в пределах хозяйственной ёмкости биосферы;
- удовлетворение потребностей в настоящем без ущерба для будущих поколений.

Некоторые здания микрорайона представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Фасады зданий энергоэффективного микрорайона
VHKKI (Финляндия) [169]

Энергетическую эффективность данного микрорайона формировал следующий комплекс факторов:

- учёт местных климатических особенностей (ориентация здания на южную сторону для максимального использования солнечной радиации, конфигурация с уменьшением воздействия ветровых потоков);
- использование тепла «серых стоков» для напольной системы теплоснабжения и низкотемпературных отопительных систем;

- индивидуальная механическая вентиляция с утилизацией тепла отдельно для каждой квартиры;
- повышение эффективности систем естественной вентиляции за счёт специальной конструкции дефлекторов, вентиляция помещений предварительно нагретым воздухом;
- использование солнечных коллекторов, подключённых к магистралям горячей воды;
- индивидуальный контроль температуры в каждом помещении;
- повышенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций за счёт применения деревянных элементов в стенах и слоистой фасадной облицовки, выполненной с использованием бумаги, сделанной из бумажных отходов;
- установка фотоэлектрических панелей;
- сбор дождевой воды, отдельный учёт горячей и холодной воды;
- удаление и повторное использование отходов.

Исследование истории появления и развития энергоэффективных зданий за рубежом показало, что энергетическая эффективность развивалась как неотъемлемая характеристика современных зданий различного типа: от одноэтажных до небоскрёбов. Ярким примером энергоэффективного небоскрёба является высотное здание «MAIN TOWER» во Франкфурте-на-Майне (рисунок 5). Общая площадь помещений здания составляет 101705 м² [139]. В настоящее время здание является четвёртым по высоте зданием в Германии. Отличительной инженерной особенностью этого небоскрёба является использование тепла земли для энергоснабжения здания: в сваях фундамента проложена сеть трубок, по которым циркулирует теплоноситель (вода). Всего для опоры здания используется 112 свай диаметром от 1,5 до 1,8 м, достигающих глубины 50 м. Общая длина трубок, по которым циркулирует теплоноситель, составляет более 80 км. Посредством теплоносителя тепло или холод земли через теплообменник передаётся в систему климатизации. В фундаментной плите здания толщиной 3,8 м сделаны

полости, по которым также циркулирует теплоноситель. В зимнее время теплоноситель охлаждается наружным воздухом в установке, расположенной на крыше здания. Холод аккумулируется в фундаментной плите и затем используется для охлаждения офисных помещений в летнее время [139].



Рисунок 5 – Фасад здания «MAIN TOWER» (Германия) [106]

Наряду с системой теплоснабжения энергетическую эффективность небоскрёба «MAIN TOWER» формируют следующие факторы:

- система климатизации здания с утилизацией тепла удаляемого воздуха;
- охлаждаемые теплоёмкие покрытия с замоноличенными трубопроводами;
- конвекторы для обогрева помещений офисов;

- светопрозрачные ограждающие конструкции с высокими тепло- и солнцезащитными характеристиками;
- двойные окна с заполнением криптоном и покрытием металлоксидной плёнкой, выполняющей солнцезащитные функции (термическое сопротивление стеклопакета $0,88 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$);
- автономные источники энергоснабжения, работающие на природном газе;
- охлаждаемые потолки и панельно-лучистое отопление для снижения затрат энергии на охлаждение и отопление, а также для улучшения комфорта;
- «интеллектуальная» система автоматического управления инженерным оборудованием для обеспечения комфортных параметров микроклимата помещений и снижения затрат энергии;
- автоматическое регулирование уровня искусственного освещения и использование осветительных ламп нового типа, обеспечивающих снижение затрат энергии на 20-25%.

Современные зарубежные энергоэффективные здания являются настоящими символами достижения научной мысли, объединяющей достижения многих наук. Выдающимся архитектором – проектировщиком уникальных энергоэффективных зданий является Норман Фостер: британский архитектор, лауреат Императорской и Притцкеровской премий, зарубежный почётный член Российской академии художеств, удостоен королевой Великобритании дворянского титула. Фостер открыл собственную компанию в 32 года, создав несколько десятков уникальных зданий по всему миру [106]. Его здания основаны на принципах устойчивого развития среды жизнедеятельности человека, когда потребляемые из окружающей среды ресурсы расходуются разумно, сохраняя планету для будущих поколений.

Так в Германии в 1997 году завершено строительство спроектированное Норманом Фостером здание небоскрёба «Commerzbank» высотой 254 метра общей площадью 85000 м^2 . Здание построено по принципам синтеза экологии и энергосбережения (рисунки 6-7).



Рисунок 6 – Внутреннее озеленение здания «Commerzbank» [25]

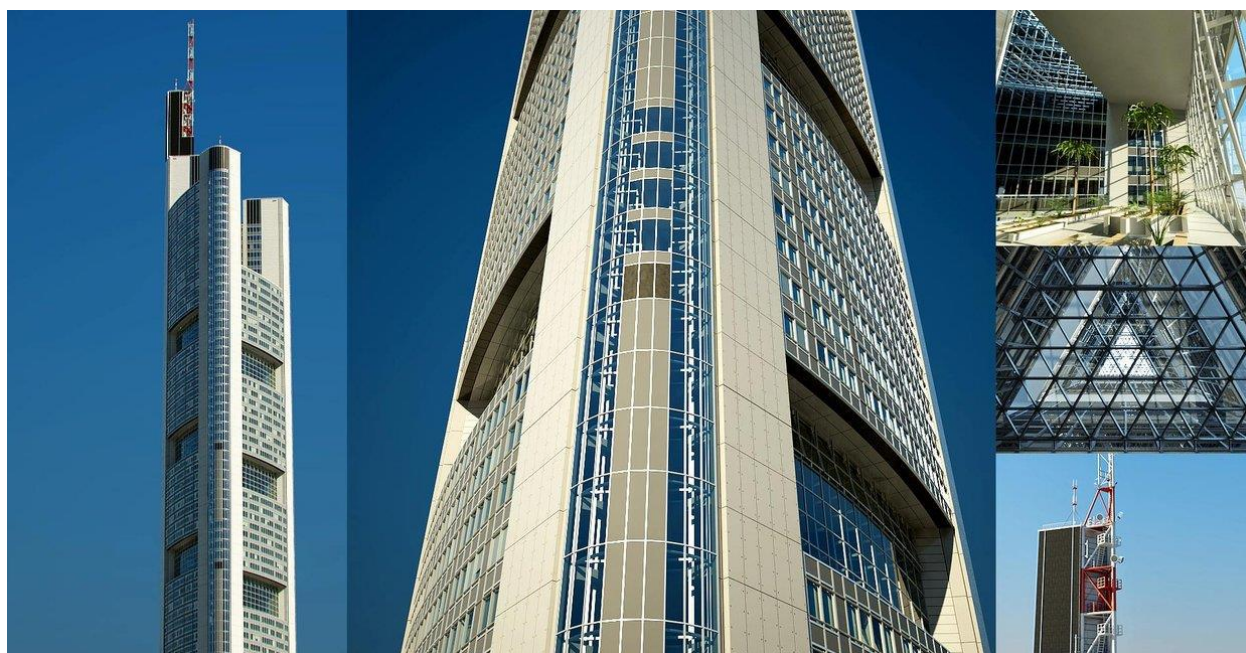


Рисунок 7 – Здание «Commerzbank» (Германия) [106]

Энергетическую эффективность небоскрёба «Commerzbank» формировал следующий комплекс факторов:

- архитектурно-планировочная концепция – форма здания, представляющая собой треугольник со скруглёнными вершинами и выпуклыми сторонами с атриумом в центральной части, который является частью внутренней системы вентиляции;
- система зимних садов, окаймляющих здание по спирали и отображающие географическую направленность растений, также являющуюся системой вентиляции и экологии;

- двухслойные светопрозрачные ограждающие конструкции здания с герметичными двойными стеклопакетами, заполненными инертным газом;
- естественная вентиляция здания, создающая комфортный микроклимат зимой и летом путём проветривателей, тепловой буферной зоны из растений, дополняемая, при необходимости, механической вентиляцией;
- система климатизации здания с утилизацией тепла удаляемого воздуха;
- охлаждаемые теплоёмкие покрытия с замоноличенными трубопроводами;
- конвекторы для обогрева помещений офисов;
- энергосберегающее санитарное оборудование.

Авторы считают необходимым показать другие энергоэффективные здания Нормана Фостера. В Лондоне построена 180-метровая башня «Мэри-Экс», которая стала первым экологическим небоскребом: благодаря солнечным батареям, она потребляет вдвое меньше энергии, чем другие подобные здания.



Рисунок 8 – Башня Мэри-Экс, Лондон [106]

В Лондоне также построено энергоэффективное здание аэропорта «Станстед», главной особенностью которого является «плавающая» крыша. Она основана на каркасе из труб в форме перевернутых пирамид, создавая образ летящего лебедя. Помимо эстетической функции, конструкция имеет практическое предназначение. Внутри каждой трубы проложены коммуникации, необходимые для работы здания. По задумке Фостера, крыша защищает терминал от снега и дождя. При этом открытая конструкция позволяет солнечным лучам свободно проникать внутрь здания, выполненное в форме огромного куба [106].



Рисунок 9 – Аэропорт «Станстед», Лондон [106]

В Лондоне построено ещё одно уникальное энергоэффективное здание по проекту Нормана Фостера: здание администрации Большого Лондона (Сити-Холл). Здание имеет необычную форму, которую горожане называют шлемом Дарта Вейдера, луковицей или нарезанным яйцом. Сам Фостер необычную форму здания объяснял стремлением уменьшить площадь поверхности небоскреба и сэкономить потребляемую им электроэнергию.



Рисунок 10 – Сити-Холл, Лондон [106]

В столице Казахстана Норман Фостер создал проект, который представляет собой самый большой в мире шатер площадью 127 тыс. м². Гигантская крыша сконструирована из стальных вант и покрыта материалом, благодаря которому внутри комплекса создан особый микроклимат. Сейчас в «Хан Шатыре» размещены сотни магазинов, офисы, рестораны, спа-центр, огромный паркинг. Здесь есть даже искусственный пляжный курорт, куда завозился песок с мальдивских островов. «Хан Шатыр» стал единственным проектом на территории СНГ, попавшим в десятку лучших экозданий мира по версии журнала Forbes Style [106].

В Нью-Йорке Норман Фостер построил Башню Херста внутри старого фасада здания, стоявшего с 30-х годов прошлого столетия. Треугольная башня «опутана» сетчатой оболочкой. Гигантские окна покрыты панелями из бронированного стекла — каждая высотой в четыре этажа.



Рисунок 11 – «Хан Шатыр», Казахстан [106]



Рисунок 12 – Башня Херста, Нью-Йорк [106]

Как и остальные проекты Нормана Фостера, башню Херста отличает высокая экологичность. На строительстве 46-этажного небоскреба было задействовано 85% переработанной стали, системы отопления здания используют наружный воздух для вентиляции, дождевая вода, подающая в центральный резервуар, применяется для полива растений, а огромные окна позволяют потреблять меньше электроэнергии [106].

Таким образом, энергоэффективные здания за рубежом за полувековую историю своего появления прошли значительную эволюцию от появления первых принципов утепления наружных ограждающих конструкций до полного синтеза с окружающей средой, осознанию необходимости устойчивого развития, гармонии с человеком, экономии и эффективного использования не только энергетических, но и других видов ресурсов. Становится очевидным, что энергоэффективные здания должны отвечать требованиям минимального расхода энергоресурсов не только на этапе проектирования, но и в целом на всем протяжении жизненного цикла, который включает в себя процессы проектирования, осуществления строительного контроля, эксплуатации и утилизации (демонтажа). При этом энергоэффективные здания должны отвечать нормативным требованиям безопасности и надёжности, а также обеспечивать необходимый потребительский уровень комфортности при нормативных или меньших затратах на энергоресурсы на протяжении всего жизненного цикла.

Завершая обзор наиболее выдающихся зарубежных энергоэффективных зданий, можно сделать вывод о том, что в нормативных требованиях с момента появления первого принципа экономии энергии до настоящего времени как в зарубежной, так и в отечественной науке произошёл эволюционный рост, коснувшийся всех сфер, в том числе строительной, основой которого стало принятие многочисленных нормативно-технических и законодательных документов, регламентирующих и нормирующих уровень энергетической эффективности строительных объектов. Схема развития требований к повышению энергоэффективности зданий и представлена на рисунке 13.

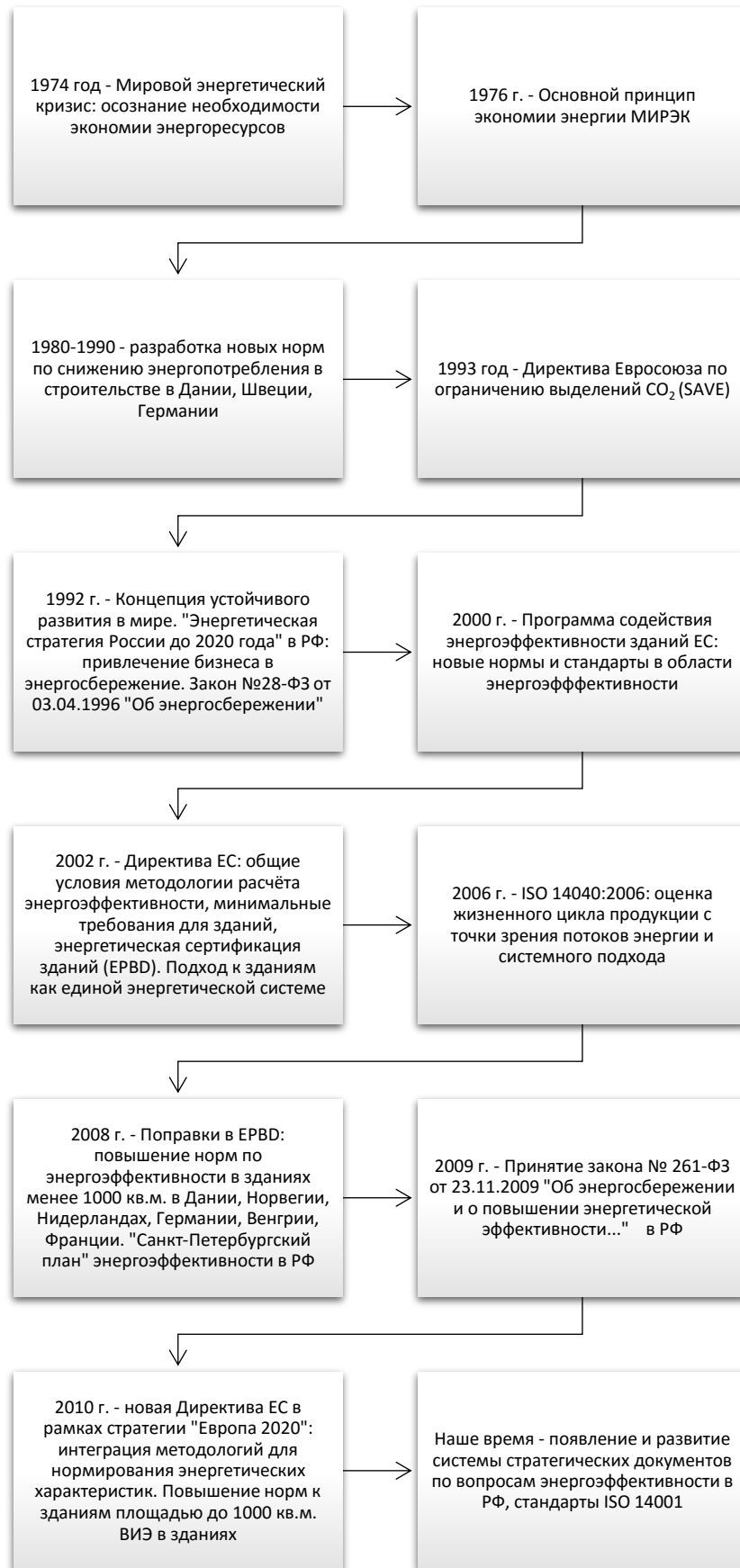


Рисунок 13 – Развитие нормативных требований к энергоэффективности зданий

Таким образом, за обозначенный период (с 70-х годов XX века по настоящее время) изменились как требования к энергоэффективности зданий, так и научная основа их достижения. Основными из них можно обозначить:

- требования по снижению потребления тепловой энергии на нужды отопления зданий на 28%-50%;
- требования по снижению до 30% потребления первичной энергии в жилых зданиях;
- требования использования для нужды отопления преимущественно внутренних тепловых ресурсов здания;
- требования по использованию возобновляемых энергетических ресурсов в зданиях;
- требования к минимизации теплообмена зданий с окружающей средой за счёт высококачественной теплоизоляции;
- требования по ограничению выделений парниковых газов путем повышения энергоэффективности зданий;
- требования по разработке энергетических паспортов зданий;
- требования по проведению регулярного мониторинга расхода энергетических ресурсов при эксплуатации зданий;
- создание механизмов государственного субсидирования мероприятий по снижению уровня расхода энергоресурсов;
- обязательное принятие программ содействия энергоэффективности зданий.

По мнению авторов, реализация поставленных требований к повышению энергетической эффективности зданий развивалась и продолжает развиваться в настоящее время в европейских странах поступательно, путём пересмотра и международной интеграции нормативных требований к теплозащитным и другим характеристикам зданий и принятия европейских директив. Основные требования к энергетическим характеристикам зданий современной Европы представлены на рисунке 14.

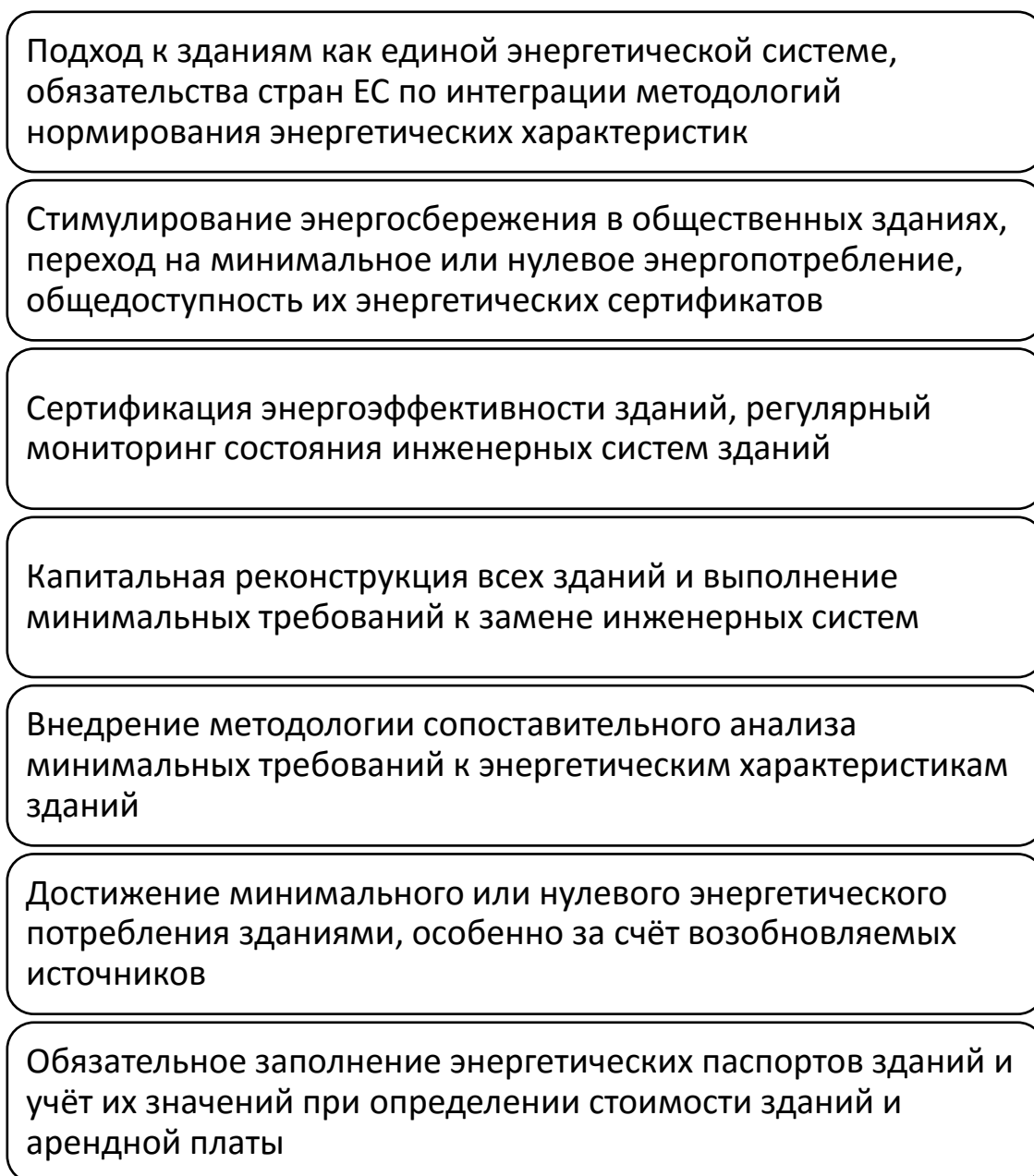


Рисунок 14 – Современные европейские требования к энергетическим характеристикам зданий

Анализируя современные европейские требования к энергетическим характеристикам зданий, можно сделать вывод о том, что их разработка и внедрение в европейских странах вызвано не только осознанием проблемы необходимости повышения энергоэффективности и экологических проблем, но и ростом

зависимости экономики от импорта энергоресурсов, которое, согласно прогнозным значениям, может достигнуть 70% к 2030 году (в настоящее время этот показатель равен 50%). В принятой Парламентом ЕС «Зелёной декларации» указано, что около 84% энергетических ресурсов от общего бытового и хозяйственного потребления расходуется на отопление и горячее водоснабжение зданий. Кроме этого, необходимо подчеркнуть, что 75% европейского жилищного фонда нуждаются в санации с целью снижения потребления энергоресурсов и повышения энергетической эффективности. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в развитых европейских странах происходит эволюционное развитие науки от осознания необходимости экономии энергоресурсов до системного подхода к решению проблемы повышения энергетической эффективности зданий.

1.3. История появления и развития энергоэффективных зданий в России

Российская наука также пошла по эволюционному пути развития требований к энергоэффективности зданий: от осознания необходимости повышения тепловой защиты зданий до принятия энергетической эффективности в строительстве и строительном производстве в качестве одного из приоритетных направлений. Огромное значение в этом вопросе имеет опыт развитых стран, так как зарубежные нормативные документы являются основой для создания нормативно-правовой базы энергосбережения и повышения энергетической эффективности в России. Целевым ориентиром строительной науки в советское время являлась экономия как сроков, так и стоимости строительства, таким образом, вопросам энергетической эффективности зданий особого внимания не уделялось, ограничивалась лишь тепловая защита зданий. Это было обусловлено необходимостью срочного решения жилищной проблем и доступностью энергетических ресурсов. По разным источникам, здания потребляли до трети энергоресурсов страны. Только в период общих реформ 90-х годов двадцатого века началось постепенное пересмотрение норм по тепловой защите зданий и, затем, по требованиям к их энергопотреблению. Необходимо отметить, что первые нормативные

документы регламентировали энергопотребление только тепловой энергии и только на этапе проектирования зданий. Таким образом, отсутствовал системный подход как к зданиям, так и к организации их жизненного цикла в целом и строительного производства в частности.

Первым проектом энергоэффективного здания, реализующим принципы системного подхода, является многоквартирный жилой дом, построенный в 2002 году в микрорайоне Никулино-2 в г. Москва. Проект выполнен под научным руководством доктора технических наук, член-корреспондента РААСН Ю.А. Табунщикова и под общим руководством доктора технических наук, генерал-лейтенанта В.Ф. Аистова [139]. На рисунке 15 представлены внешний вид и часть инженерного оборудования этого дома.



Рисунок 15 – Энергоэффективный многоквартирный дом в Никулино-2
(Москва, 1995 г.) [112]

Энергетическую эффективность дома в Никулино-2 формировал следующий комплекс факторов:

- теплонасосная установка для горячего водоснабжения (ГВС), использующая тепло грунта и удаляемого вентиляционного воздуха (первая в России для многоквартирного дома);
- система вентиляции с механической и естественным притоком через авторегулируемые воздухозаборные устройства в оконных переплётах и утилизацией тепла удаляемого вентиляционного воздуха;
- система отопления – двухтрубная горизонтальная поквартирная с теплосчётчиком, установленным на кухне, с термостатическими вентилями на каждом отопительном приборе, обеспечивающая возможность поквартирного учёта и регулирования расхода тепловой энергии и индивидуального регулирования температуры воздуха в помещениях;
- наружные ограждающие конструкции с повышенной теплозащитой (3-слойные железобетонные панели толщиной 350 и 400 мм на дискретных сваях: наружный слой 80 мм из тяжёлого бетона $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$; внутренний слой из тяжёлого бетона $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$, слой утеплителя толщиной 150 мм из полистирольного пенопласта ПСБ-35);
- окна и двери с тройным остеклением в деревянных переплётах.

Приведённый коэффициент теплопередачи здания в Никулино-2 равен $0,496 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$. Здание в Никулино-2 является единой энергетической системой, все элементы которой – ограждающие конструкции, системы отопления, вентиляции, кондиционирования, теплоэнергоснабжения – взаимосвязаны, в связи с чем проект энергоэффективного здания не может быть представлен простым суммированием ряда энергосберегающих решений, но должен быть результатом выбора научными методами технических решений, наилучшим образом отвечающих поставленной цели обеспечения энергосбережения при одновременном повышении качества микроклимата [139]. Данный подход полностью отвечает современным требованиям строительной науки.

Наряду с энергоэффективными зданиями в России внедрилось понятие «пассивное здание», основанное на европейской концепции «passive house», ключевым показателем которого является величина удельного расхода тепловой энергии на отопление – $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$. В 2008 г. в России был основан Институт пассивного дома, цель работы которого – развитие стандарта пассивного дома в нашей стране, перевод технической литературы и программ на русский язык, и адаптация существующих проектов под российские климатические условия.

Сертифицированных пассивных домов в России пока нет, есть объекты, приближенные к стандарту пассивного дома, с низким и ультранизким потреблением тепла на отопление. Их несколько десятков.



Рисунок 16 – Здание академии Сен-Гобен (Москва) [104]

Из наиболее интересных построенных объектов, которые курировал Институт Пассивного дома, можно выделить, например, здание «Академии Сен-Гобен» (рисунок 16). Расчетное значение удельного расхода тепловой энергии на отопление за отопительный период составляет около $43 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ год}$. Интересный жилой дом с ультранизким энергопотреблением построен в 2012 году в пригороде Нижнего Новгорода, в загородном поселке «Трехречье». Удельный расход тепловой энергии на его отопление – $33 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\text{год}$. В пригородах Санкт-Петербурга построены несколько домов с расходом тепловой энергии 79-96

кВт·ч/м²год. Другой объект с низким потреблением энергии строится в Московской области компанией «Интер Строй». Это конструкция из монолитного железобетона, фасады теплоизолированы минеральной ватой, в доме имеется тепловой насос с вертикальными грунтовыми зондами на отопление и ГВС, теплые водяные полы, солнечные коллекторы, вентиляционная установка с рекуперацией тепла из вытяжного воздуха. Предварительное расчетное значение удельного расхода тепловой энергии на отопление составляет около 50 кВт·ч/м²год [104].

В современных зданиях энергоэффективность является одной из комплекса характеристик, взаимосвязанной с надёжностью, комфортным микроклиматом, экологичностью. Такие здания являются наиболее востребованными для инвестиций. Управление инженерными системами таких зданий, поддержание высокого уровня энергоэффективности является сложной задачей, требующей внедрения систем автоматизации и предварительного моделирования. Например, построенный в 2009 году в Санкт-Петербурге бизнес-центр «Пулково Скай» общей площадью 76000 м² управляется системой интеллектуального здания BMS (от англ.: Building Management System), основанной на предварительном моделировании оснащения и интеграции систем жизнеобеспечения здания, оптимально отвечающий всем требованиям по экологии, энергосбережению, безопасности и эргономике интеллектуального здания, а также по стоимости его эксплуатации и обслуживания.

Энергоэффективность здания «Пулково Скай» определили следующие факторы:

- климатические балки, которые являются одновременно доводчиками и воздухораспределителями, что снижает трудозатраты при монтаже;
- экономия вертикального пространства помещения и здания (больше этажей при ограниченной высотности);
- низкий уровень звукового давления в помещении;
- минимальный риск возникновения сквозняков;
- возможность использования естественных источников теплоты и холода;

- снижение общего уровня энергопотребления системы вентиляции и кондиционирования воздуха.
- оснащение приточно-вытяжных установок высокоэффективными роторными рекуператорами теплоты, что позволяет использовать тепловую энергию удаляемого воздуха при подготовке приточного воздуха и сокращать общее энергопотребление системы [108].



Рисунок 17 – Здание «Пулково Скай» (Санкт-Петербург) [107]

Необходимо подчеркнуть, что здание «Пулково Скай» реализовано в соответствии с адаптивной концепцией проектирования, учитывающей необходимость создания комфортного микроклимата на протяжении всего жизненного

цикла здания с учетом возможных изменений планировки, назначения помещений, количества сотрудников и прочих факторов.

Завершая обзор наиболее представительных энергоэффективных зданий, построенных в России, обязательно упоминание о Гиперкубе – центральном здании проекта «Сколково» (рисунок 18).



Рисунок 18 – Здание «Гиперкуб» (Москва) [26]

Энергоэффективность здания «Гиперкуб» определили следующие факторы:

- кубическая форма здания и его ориентация по сторонам света, минимизирующие тепловые потери здания;
- панели солнечных батарей, установленные на крыше, генерирующие энергию для питания осветительных приборов в технических помещениях;
- оптоволоконные светоуловители, которые поворачиваются вслед за солнцем и доставляют солнечный свет в средние части здания;
- вода, добываемая из артезианской скважины, половина необходимого объёма воды дождевая;
- тройное остекление, отопление конвекторами и тепловые завесы на окнах;
- система тепловых насосов, имеющая замкнутый контур из тринадцати скважин, в который подаётся вода с постоянной температурой (около пяти градусов Цельсия), которая либо обогревает, либо охлаждает здание в зависимости от сезона;
- большинство элементов «Гиперкуба» сделаны из стекла, что позволяет освещать внутренние залы, аудитории и лестничные пролёты естественным светом;
- по наружному периметру «Гиперкуба» расположены узкие балконы с зимним садом для улучшения микроклимата помещения;
- приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла удаляемого воздуха;
- комплексная система управления Desigo Insight, которая охватывает все его службы, в том числе системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, освещения и распределения энергии.

Авторы не ставили перед собой цель охватить все существующие в настоящее время энергоэффективные здания, но показать на примере наиболее ярких и удачных проектов что представляют собой энергоэффективные здания, какие факторы формируют сложное и многогранное понятие как энергоэффектив-

ность, каким образом произошёл эволюционный рост данной характеристик здания от осознания необходимости утепления наружных ограждающих конструкций до организации энергоэффективности на протяжении всего жизненного цикла здания как энергетической системы.

Исследуя примеры проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий, можно сделать вывод о том, что в России также, как и за рубежом, логическим продолжением этапа развития энергоэффективных зданий также стало понимание, принятие и внедрение концепции «Sustainable building» (дословно «жизнесохраняющее здание») – это обширная дисциплина, включающая в себя изучение возможности использования экологически чистых возобновляемых источников энергии, сохранения водных ресурсов, применения строительных материалов повторного использования, улучшения качества среды обитания человека [137]. Этот вывод основан также на том, что ведущие нормативные документы стратегического характера в России направлены на реализацию данной концепции и широкое внедрение в строительную отрасль энергоэффективных зданий.

Впервые проблема энергосбережения в отечественных документах стратегического планирования в было затронута в 1992 году в рамках принятой Энергетической стратегии России, призывающая бизнес инвестировать в энергосбережение (Стратегия утратила силу в связи с изданием распоряжения Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р).

В ноябре 2008 года была принята «Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» (разработана Минэкономразвития), нацеленная в том числе на долгосрочное развитие экономики и устойчивое повышение благосостояния российских граждан.

В развитие и поддержку Концепции в ноябре 2009 г. была принята «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года», поддерживающая направление энергосбережения и энергоэффективности в зданиях, строительной отрасли и ЖКХ. В декабре 2013 года был принят разработанный Минобрнауки «Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период

до 2030 года», установивший наиболее перспективные области развития науки и технологий, среди которых обозначены энергоэффективность и энергосбережение. Основные меры поддержки решения проблемы энерго- и ресурсосбережения, отражённые в данных документах, представлены авторами в таблице 1.

Таблица 1 – Поддержка энерго- и ресурсосбережения в строительной отрасли и ЖКХ в стратегических концепциях РФ

Дата принятия	Наименование	Меры поддержки
Ноябрь 2008 г.	Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года	<ul style="list-style-type: none"> • снижение энергоёмкости валового внутреннего продукта - 81 - 83 % (2012 год к 2007 году), 70 – 75% (2020 год к 2012 году), 40% (2020 к 2007 году); • обеспечение интенсивного технологического обновления массовых производств на базе новых энерго- и ресурсосберегающих экологически безопасных технологий; • реализация новых технологий строительства жилья; • внедрение ресурсосберегающих технологий и создание условий для более широкого использования малой энергетики и возобновляемых видов топливно-энергетических ресурсов; • приведение жилищного фонда к состоянию, отвечающему современным условиям энергоэффективности; • активное стимулирование процессов модернизации производства, ориентированных на снижение энергоёмкости и материалоемкости; • реализация специальных мер по повышению энергетической эффективности жилищно-коммунального комплекса, в том числе внедрение тарифного метода доходности инвестированного капитала (РАВ), адаптация концессионных договоров для передачи в управление комплексов жилищно-коммунального хозяйства и внедрение новых строительных норм и правил эффективного использования энергии
Ноябрь 2009 г.	Энергетическая стратегия России на период до 2030 года	<ul style="list-style-type: none"> • необходимость повышения энергоэффективности и снижения энергоёмкости экономики до уровня стран с аналогичными природно-климатическими условиями (Канада, страны Скандинавии); • снижение удельной энергоёмкости экономики; • проведение целенаправленной энергосберегающей политики;

		<ul style="list-style-type: none"> • реализация нереализованного потенциала организационного и технологического энергосбережения, который составляет 40% (в т.ч. удельный вес жилых зданий 18-19%, строительство 9-10%); • повышение ответственности за нерациональное и неэффективное расходование энергоресурсов, в т.ч. потерю тепла в зданиях
Декабрь 2013 г.	Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года.	<ul style="list-style-type: none"> • перспективные направления научных исследований: повышение энергоэффективности энергоёмких производств; здания с минимальным энергопотреблением; интеллектуальные системы управления энергопотреблением технологических процессов и зданий; интенсификация процессов тепло- и массообмена; • распространение материалов с новыми свойствами и технологий «зелёного» строительства; • разработка систем рационального природопользования в условиях городов и агломераций, размещения хозяйства и населения

Таким образом, ведущие стратегические документы развития Российской Федерации направлены на формирование целостной системы управления процессами повышения энергоэффективности, в том числе на энерго- и ресурсосбережение в строительной отрасли и ЖКХ, сохраняя данную тему актуальной, а теоретические исследования и практические разработки в данном направлении перспективными. Важно, что акценты сместились в сторону признания того что архитектура и строительство развиваются на основе потребностей людей – духовных и материальных – и направлены на создание новой среды, способствующей устойчивому развитию, сохранению природных ресурсов для будущих поколений.

Указанные тенденции, по мнению авторов, являются основополагающими для создания научных основ организации и управления жизненным циклом энергоэффективных зданий, так как основными принципами и методологией устойчивого развития являются принципы организации процессов и непрерывного повышения их эффективности.

1.4. Принципиальная схема энергоэффективного здания

Авторами проведён анализ различных проектных решений энергоэффективных зданий, а также изучены реализованные проекты и исследованы построенные энергоэффективные здания. На основе полученного опыта можно сделать вывод о том, что проектирование энергоэффективных зданий должно быть основано на системном подходе к зданию как единой энергетической системы, в которой во взаимосвязи находятся подсистемы архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерных решений, направленных на повышение энергоэффективности. Данные подсистемы находятся во взаимосвязи между собой и окружающей средой, и при совместной работе дают синергетический эффект: высокую энергетическую эффективность здания в целом.

При решении задачи по достижению зданием высокой энергетической эффективности в течение жизненного цикла необходимо учитывать энергопотребление не только самого здания в процессе строительства и эксплуатации, но и расход энергоресурсов, необходимых для производства строительных материалов, изделий и конструкций. Оболочка здания (стены, окна, покрытия и полы) за время своего существования сначала забирает энергию недр земли на создание ограждающих конструкций, затем на их ремонт и в конце срока существования – на демонтаж и утилизацию. В процессе эксплуатации здание потребляет энергию из недр земли на поддержание необходимого по нормам температурно-влажностного режима [110]. По мнению авторов, с точки зрения энергетической эффективности, направленной на минимизацию энергетических затрат и экономию ресурсов целесообразно разделить способы энергосбережения в здании на активные и пассивные. Активные способы – это способы, обеспечивающее энергосбережение при необходимости постоянных и переменных затрат. Пассивные способы – это способы, обеспечивающее энергосбережение без переменных затрат. Группировка способов по данному признаку представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Группировка способов энергосбережения

Активные способы энергосбережения	Пассивные способы энергосбережения
Солнечный коллектор	Ориентация дома на юг
Солнечная батарея на основе фотоэлементов	Общая архитектурно-планировочная концепция здания
Тепловой насос	Светлая кровля
Рекуператор	Площадь остекления
Теплообменник	Вентилируемые окна
Теплый пол	Рециркуляционный воздуховод в плитах перекрытий
Энергосберегающее освещение	Отражённое освещение
Фотоэлементы устройств освещения	Теплоёмкие ограждающие конструкции
Автоматизированная система управления инженерным оборудованием здания	Узел учёта энергоресурсов

В настоящее время разработано и применяется множество архитектурных, конструктивных, инженерных решений, позволяющих снижать уровень энергопотребления зданиями. Очевидно, что только при комплексном использовании энергосберегающих решений возможно получить максимальную экономию энергетических ресурсов. Таким образом, применение системного подхода является здесь методологически правильным.

Исследование различных архитектурных и инженерных решений, обеспечивающих энергосбережение в зданиях, выявило необходимость интегрировать их в концептуальной схеме энергоэффективного здания, разработанной авторами в качестве наглядного примера системного подхода к энергосбережению в зданиях. Схема представлена на рисунке 19. На схеме пассивные способы энергосбережения обозначены синими штриховыми линиями. Потoki воздуха обозначены пунктирными линиями. Тёплые потоки обозначены красным цветом, холодные – синим. Схема содержит синтез архитектурных, конструктивных и инженерных решений, направленных на энергосбережение в зданиях.

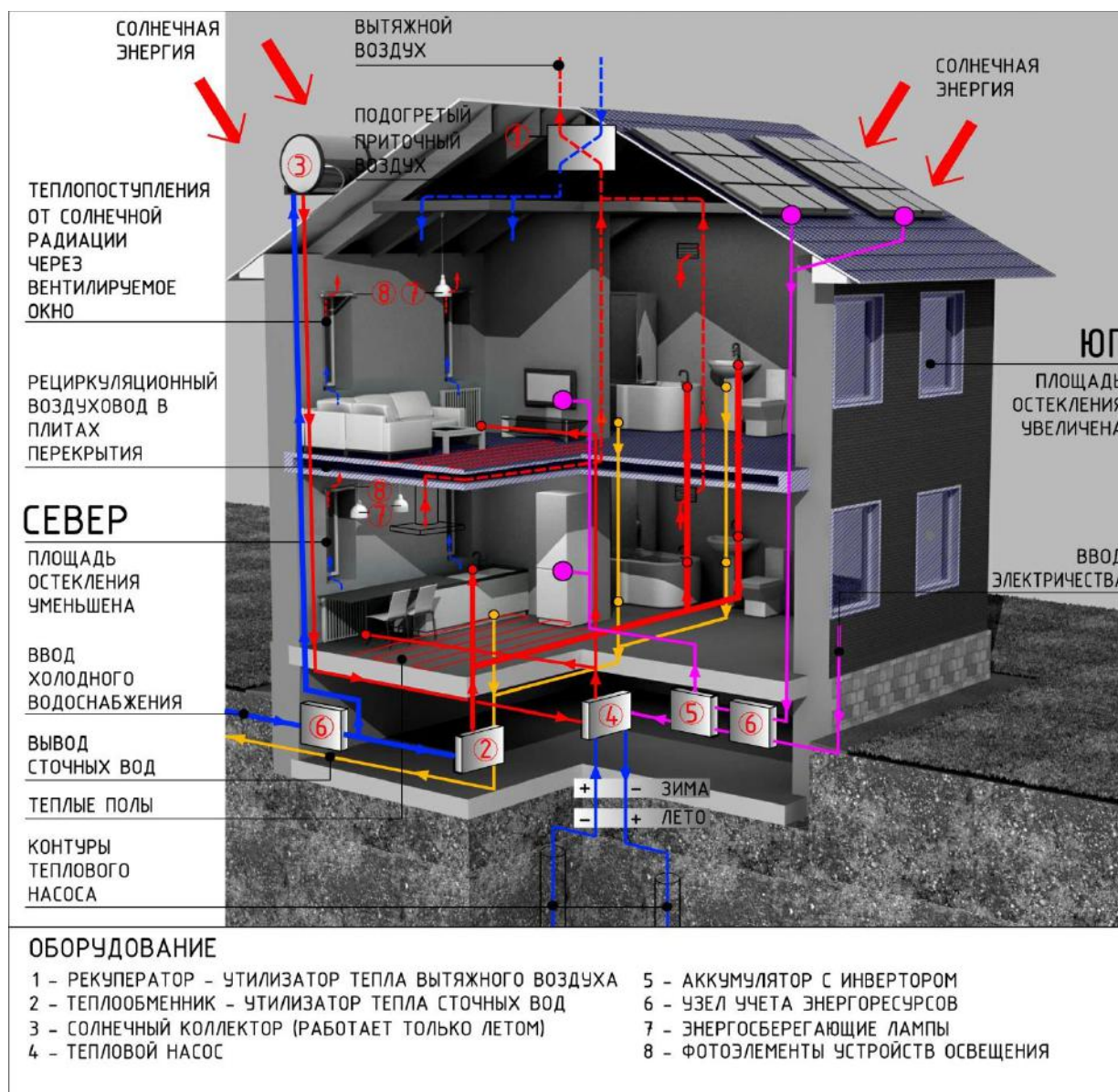


Рисунок 19 – Концептуальная схема энергоэффективного здания [86]

Представленная схема соответствует предложенному определению «энергоэффективное здание», которое отличается от существующих более полным содержанием, учитывающим все характеристики эффективного потребления зданием энергетических ресурсов и обеспечения в нём комфортного микроклимата, содержит все существенные признаки энергоэффективного здания. С развитием знаний и появлением новых понятий энергетической эффективности предлагаемое определение и схема, возможно, будут дополнены новыми признаками и содержанием, что является закономерным результатом научной деятельности.

1.5. Классификация показателей энергетической эффективности зданий

Формирование научных основ организации и управления жизненным циклом энергоэффективных зданий требует разработки системы показателей для оценки их энергоэффективности на всех стадиях жизненного цикла. В настоящее время разработан и внедрён ряд нормативных и методических документов, содержащих показатели энергоэффективности, в том числе и для зданий. Однако единая система таких показателей отсутствует. В этой связи возникла и остаётся актуальной проблема определения показателей энергетической эффективности зданий, учитывающих все виды потребляемых энергетических ресурсов, типы зданий, способы получения и контроля показателей, на основе которых зданиям присваивается класс энергоэффективности.

В настоящее время энергоэффективность зданий оценивается по степени их соответствия нормативным удельным показателям расхода энергетических ресурсов на отопление и вентиляцию единицы площади или объёма жилых и общественных зданий. Разрабатываемые с 1990-х годов на федеральном и региональном уровне нормативные документы содержат различные показатели оценки энергетической эффективности зданий, имеющие различное содержание и единицы измерения. Кроме этого, в настоящее время крупные научно-исследовательские организации строительного профиля разработали и внедрили в практику свои показатели энергетической эффективности зданий.

Наличие большого количества факторов, влияющих на энергетическую эффективность зданий, а также необходимость учёта всех видов энергетических ресурсов, потребляемых и производимых зданием как единой энергетической системой, обусловили необходимость анализа и классификации показателей энергетической эффективности зданий. С целью формирования классификации авторами проанализирована эволюция показателей, регламентирующих энергетическую эффективность зданий с момента появления первых показателей в 1999 году до нашего времени, представленная в таблице 3.

Таблица 3 – Эволюция показателей энергетической эффективности зданий

Источник	Наименование показателя
МГСН 2.01-99	Удельный расход тепловой энергии системой отопления проектируемого здания за отопительный период
	Приведенное сопротивление теплопередаче для ограждающих конструкций
ГОСТ Р 51387-99	Показатель энергетической эффективности: абсолютная, удельная или относительная величина потребления или потерь энергетических ресурсов для продукции любого назначения или технологического процесса Коэффициент полезного использования энергии: отношение всей полезно используемой в хозяйстве энергии к суммарному количеству израсходованной энергии в пересчете ее на первичную
ГОСТ Р 51541-99	Нормируемые показатели энергетической эффективности продукции, которые вносятся в государственные стандарты, технические паспорта продукции, техническую и конструкторскую документацию
	Показатели энергетической эффективности производственных процессов, которые вносятся в стандарты и энергопаспорта предприятий
	Показатели (индикаторы) реализации энергосбережения (отражаются в статотчетности, нормативных правовых и программно-методических документах)
ГОСТ Р 51379-99	Установленная мощность потребителей электроэнергии по направлениям использования
СНиП 23-02-2003	Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания
	Санитарно-гигиенический показатель, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы
	Удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений

	здания и выбора систем поддержания микроклимата
СТО 17532043-001-2005	Энергетическая эксплуатационная характеристика зданий
Постановление Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 г. ФЗ № 261 от 23.11.2009.	Показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении и сооружении
Приказ Минрегионразвития № 262 от 28 мая 2010 г.	Удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с учетом солнечной радиации через светопроемы и тепловыделений от искусственного освещения и бытовых приборов
	Годовое электропотребление на искусственное освещение и бытовые нужды
	Общие годовые удельные расходы конечных видов энергоносителей
Приказ Минрегионразвития № 273 от 07 июня 2010 г.	Целевые показатели в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в жилищном фонде
СП 50.13330.2012	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания
	Удельная теплозащитная характеристика здания
	Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания

Таким образом, эволюция показателей энергетической эффективности зданий к учёту практически всех видов энергетических ресурсов. Очевидно, что показатели энергетической эффективности зданий должны учитывать не только количество потребляемых энергетических ресурсов, но и виды и методы измерения показателей, стадии жизненного цикла зданий, целостность и тип зданий. Указанные направления учёта приняты за основу предлагаемой классификации показателей энергетической эффективности зданий (рисунок 20).

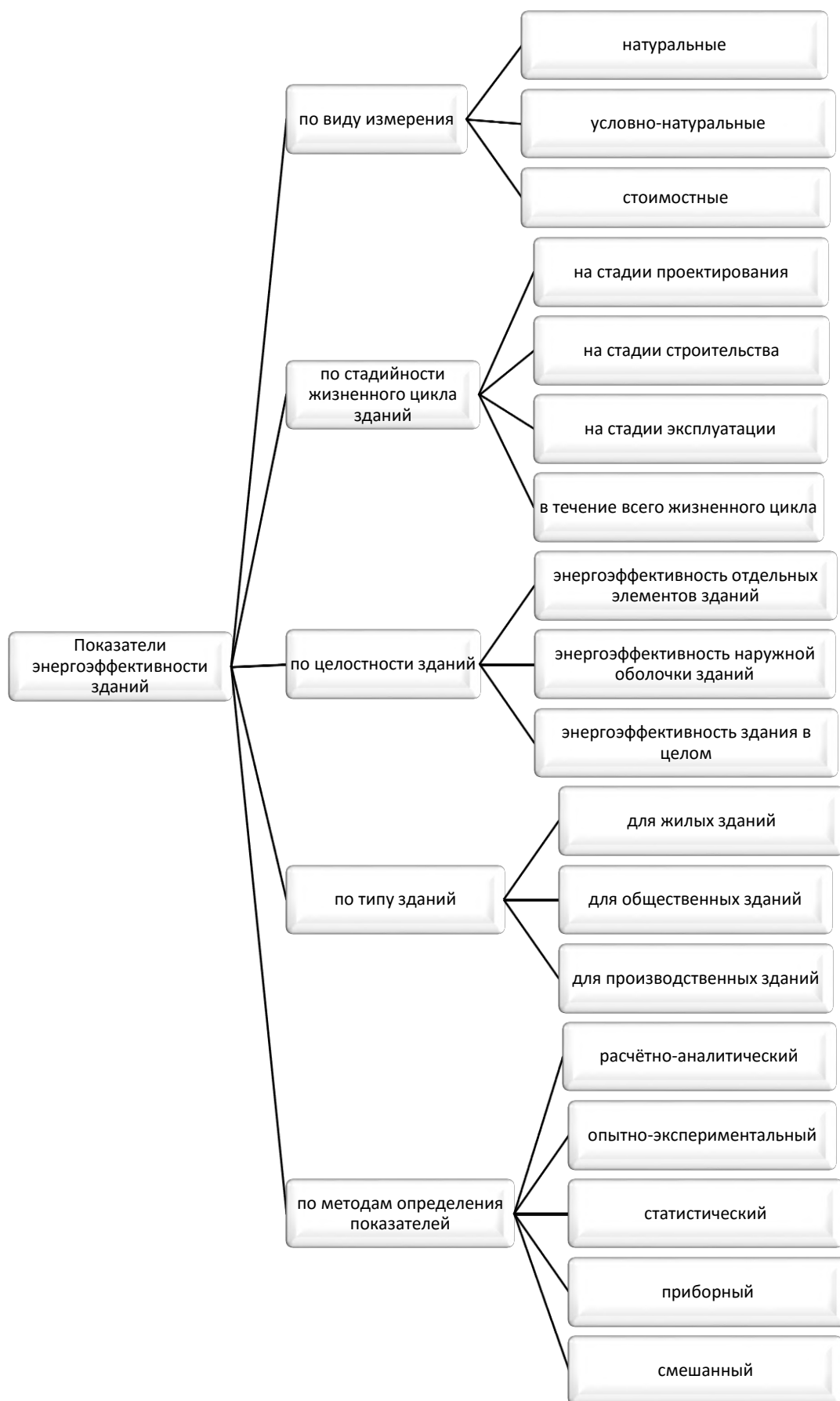


Рисунок 20 – Классификация показателей энергоэффективности зданий

Предлагаемые классификационные признаки группировки показателей оценки энергетической эффективности зданий позволяют оценивать здания как единые энергетические системы, учитывают типы зданий, позволяют достичь необходимого уровня энергетической эффективности зданий на стадии проектирования, контролировать их на стадии строительства и управлять ими на стадии эксплуатации. Новизна предлагаемой классификации состоит в том, что она охватывает различные способы измерения показателей энергоэффективности зданий, как рекомендованных существующими нормативно-правовыми актами, так и находящихся в перспективной разработке. Кроме этого, отдельно в данной классификации рассмотрены показатели, учитывающие как энергоэффективность всего жизненного цикла зданий, так и отдельных стадий. Таким образом, предлагаемая классификация является динамичной, и может быть дополнена новыми группировочными признаками показателей энергоэффективности зданий. Сформированная классификация показателей энергетической эффективности зданий учитывает различные типы и структуру зданий, стадии жизненного цикла, методы и виды измерения показателей.

1.6. Обоснование и формализация интегрального показателя энергетической эффективности зданий

Оценка энергоэффективности зданий в настоящее время производится разными способами. В законе № 261-ФЗ под энергетической эффективностью понимаются характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Указывается, что в здании, строении, сооружении энергетическая эффективность должна измеряться удельной величиной расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Данный показатель в отечественной практике является основополагающим, и определять его следует по СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», актуализация

которого осуществлена в настоящее время как СП 50.13330.2012. Согласно данным СНиП удельный (на 1 м² отапливаемой площади пола квартир или полезной площади помещений [или на 1 м³ отапливаемого объема]) расход тепловой энергии на отопление здания q_{des}^h , кДж/(м²·°С·сутки) [или кДж/(м³·°С·сутки)], должен быть меньше или равен нормируемому значению q_{reg}^h , кДж/(м²·°С·сут) [или кДж/(м³·°С·сут)], и определяться путем выбора теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, объемно-планировочных решений, ориентации здания и типа, эффективности и метода регулирования используемой системы отопления:

$$q_{des}^h = 10^3 * Q_h^y / (A_h * D_d) \text{ или } q_{des}^h = 10^3 * Q_h^y / (V_h * D_d) \quad (1)$$

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

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

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

D_d – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут.

По интервалам значений удельного расхода тепловой энергии на отопление здания за отопительный период СНиП 23-02-2003 устанавливает градацию классов энергетической эффективности здания.

Уточнённая формула данного показателя приведена в СП 50.13330.2012. Данный документ устанавливает, что показателем энергетической эффективности жилого или общественного здания на стадии разработки проектной документации, является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания численно равная расходу тепловой энергии на 1 м³ отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в один °С, q_{om} , Вт/(м³·°С). Расчетное значение удельной характеристики расхода

тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^{mp}$, Вт/(м³·°С), определяется с учетом климатических условий района строительства, на основе выбранных объемно-планировочных решений, ориентации, теплозащитных свойств ограждающих конструкций, системы вентиляции здания, а также применения других энергосберегающих решений по формуле:

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) * v * \zeta] * (1 - \xi) * \beta_n \quad (2)$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³·°С);

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м³·°С);

$k_{быт}$ – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м³·°С);

$k_{рад}$ – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м³·°С);

ξ – коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, принимается до получения статистических данных фактического снижения $\xi = 0,1$;

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

v – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций;

ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления.

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемого значения q_{om}^{mp} , Вт/(м³·°С):

$$q_{om}^p \leq q_{om}^{mp}, \quad (3)$$

где q_{om}^{mp} – нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°С), определяемая для различных типов жилых и общественных зданий.

Российское научно-техническое общество Строителей в стандарте СТО 17532043-001-2005 «Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий» рекомендует в качестве обязательной эксплуатационной энергетической характеристики вновь проектируемых, реконструируемых и капитально ремонтируемых зданий принимать удельные энергозатраты, кВт·ч/(м²·год), отапливаемой площади или, кВт·ч/(м³·год), отапливаемого объема:

$$q = (Q_{расх} - Q_{mn}) * \frac{10^3}{F_{om}}, \quad (4)$$

где $Q_{расх} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$ – теплопотери зданий теплопроводностью и дополнительные энергозатраты, МВт·ч/год, соответственно на подогрев инфильтрующегося холодного воздуха, горячее водоснабжение, электропотребление инженерных систем, на освещение помещений, а также электробытовыми приборами;

Q_{mn} – теплопоступления от людей, электробытовых приборов и солнечной радиации через световые проемы, МВт·ч/год;

F_{om} – отапливаемая площадь здания, м².

Приведённые показатели не противоречат друг другу, существенной разницей в них является учёт разных видов энергии: в (1) учитывается только тепловая энергия на отопление здания, во (2) и (4) основные виды энергоресурсов, но при этом в показателе (4) не учитываются градусо-сутки отопительного периода. Несмотря на то, что данные показатели общепризнаны, они не стимулируют

собственников зданий к энергосбережению, так как не могут быть получены в стоимостном выражении, что, по мнению автора, является их недостатком. Кроме этого, данные показатели не учитывают энергопотребление зданиями в течение всего жизненного цикла.

Проводимая в настоящее время в России актуализация строительных норм и правил (в соответствии с законом № 184-ФЗ «О техническом регулировании») направлена, в том числе, на изменение требований к энергосбережению и энергетической эффективности зданий. По мнению ведущих российских учёных [110, 139, 156] актуализация СНиП в данном направлении должна ориентироваться на системный подход к определению расхода энергетических ресурсов в здании, то есть учитывать суммарные удельные годовые расходы тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, в том числе отдельно нормировать расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию. Кроме этого, необходимо установить нормируемые границы для этих показателей, а также нормировать расход электроэнергии на общедомовые нужды.

В отечественных и зарубежных научных работах разработано значительное количество методических подходов к определению показателей энергетической эффективности зданий. Большинство показателей, как правило, лимитированы одним из видов энергетических ресурсов или не позволяют оценить здание как единую энергетическую систему [99]. Показатели, применяемые в настоящее время, подходят для расчёта энергоэффективности зданий только на стадиях проектирования и строительства, а на стадии эксплуатации зданий постоянное вычисление их не имеет экономического смысла. По мнению авторов, их применение недостаточно для мотивации собственников к повышению уровня энергоэффективности зданий. Основным мотивом собственников зданий является экономия денежных средств на оплату энергетических ресурсов, потребляемых зданиями, а не достижение показателя физического расхода энергетических ресурсов, являющегося понятным лишь узкому кругу специалистов. При этом важнейшим фактором является снижение издержек строительства и контроль цен. Очевидно, что должен быть внедрён механизм мотивации собственников зданий

к энергосбережению, управлять которым должно государство посредством регулирования цен на энергоресурсы. Реализация данного механизма требует разработки адекватного и понятного показателя энергетической эффективности зданий.

С методологической точки зрения при разработке системы показателей энергоэффективности зданий целью является экономия энергоресурсов, потребляемых зданиями без потери необходимого уровня комфортности. Данная цель предполагает решение следующих задач:

1) Разработка и формализация показателей – их не должно быть слишком много, система должна быть сбалансированной для того, чтобы достаточно легко производить их мониторинг, предполагающий учёт и энергоресурсов и накопление данных для репрезентативной выборки зданий. За основу можно использовать классификацию показателей энергетической эффективности зданий, представленную на рисунке 18.

2) Мониторинг, обработка собранных данных – при разработке системы показателей энергетической эффективности зданий необходимо провести статистический анализ, факторный ABC анализ, сформировать «коридоры» энергоэффективности, т.е. интервалы, в пределах которых они должны находиться.

3) Установление нормативных показателей на основе п. 2, с учетом регионов, типов зданий и других особенностей природно-климатических и социальных условий территорий застройки – при этом можно использовать данные СНиП по климатологии и геофизике.

4) Расчёт показателей на всех стадиях жизненного цикла здания, с учётом жизненного цикла строительных материалов и конструкций, проведения ремонтных работ, работ по демонтажу здания и утилизации строительных материалов после ремонтов и демонтажа или их рециклинг.

5) Вышеперечисленные пункты необходимо выполнить для принятой системы показателей. Так как дальнейшая разработка системы мотивации соб-

ственников является достаточно сложной и может привести к статистически незначимым результатам, на этом этапе становится необходимым введение интегрального показателя, который должен быть единым для всех, возможно с поправочными коэффициентами. В качестве измерителя данного показателя возможно использовать норматив расходов на энергоресурсы в тоннах условного топлива на 1 кв.м. общей площади здания, или 1 куб. м. строительного объёма здания, или норматив площади на одного человека, или уровень среднедушевого дохода. Плановые значения норматива можно устанавливать по формуле с учётом существующих тарифов на энергоресурсы для конкретного региона с поправкой на СНиП «Строительная климатология и геофизика».

6) Разработать интегральный показатель, для типов зданий, районов, муниципалитетов, регионов.

7) Разработать систему мотивации на достижение интегрального показателя.

8) Разработать систему отчетности для выполняющих или не выполняющих условия системы мотивации.

9) Разработать систему контроля уровня интегрального показателя энергетической эффективности зданий.

Основным преимуществом интегрального показателя является то, что при его расчёте отсутствует необходимость вычленения затрат различных видов энергоресурсов в общем энергопотреблении зданиями и введения вследствие этого разных коэффициентов приведения к единому энергетическому знаменателю. Предлагаемый показатель учитывает, в том числе изменение структуры и объемов потребления энергетических ресурсов. Отсутствует погрешность вычислений, учитываются все виды энергоресурсов, даже такие, какие сложно определить (например, тепlopоступления от людей и бытовых приборов). Кроме этого, выражение в тоннах условного топлива или в рублях является доступным для всех собственников зданий, в отличие от физических измерителей, понятных только узкому кругу специалистов. По мнению А.В. Богданова энергоёмкость необходимо считать только в тоннах условного топлива [т.у.т.] Именно незнание

технологии производства и потребления энергии, и расчеты, приведенные в [кВт], и в [Гкал] а не в [т.у.т.] приводит к ошибкам, отличающимся по топливу до 7,2 раз [21].

Предлагаемый интегральный показатель энергетической эффективности зданий направлен на минимизацию расхода энергетических ресурсов и должен также войти в систему основных технико-экономических индикаторов, как и величина «продуктовой корзины», по которой определяется стоимость прожиточного минимума. Учитывая, что энергоэффективность поставлена в авангарде стратегии инновационного развития России, необходимо рассчитывать его поквартально для оценки эффективности деятельности управляющих компаний, балансодержателей общественных зданий и определения лимитов энергоресурсов для предприятий, а проектировщики, строители и собственники зданий должны ориентироваться на предлагаемый показатель с целью достижения минимизации расхода зданием энергетических ресурсов.

Интегральный показатель энергоэффективности в общем виде может быть выражен следующей формулой:

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_{\text{баз}}}{I_{\text{жц}}}, \quad (5)$$

где $I_{\text{жц}}$ – расходы энергетических ресурсов в течение жизненного цикла здания;

$I_{\text{баз}}$ – расходы энергетических ресурсов в течение жизненного цикла по базовому (или наилучшему из альтернативных) варианту.

Расходы энергоресурсов в течение жизненного цикла здания представляют собой энергоёмкость здания и могут быть выражены как в натуральных (т.у.т.), так и в стоимостных единицах измерения:

$$I_{\text{жц}} = \sum_{j=1}^s a_j \quad (6)$$

где a_j – расходы энергетических ресурсов в течение жизненного цикла здания;

$j=1, \dots, s$ – стадии жизненного цикла здания.

После расчёта энергопотребление соотносится с базовым, нормативным или наилучшим вариантом и таким образом, формируется интегральный показатель энергоэффективности. Из расчёта показателя можно получить различные целевые показатели путём отношения энергозатрат к площади или строительному объёму здания. Достижение целевых показателей способствует выбору различных организационно-технических решений на всех стадиях жизненного цикла здания, организовывать процессы таким образом, чтобы достичь необходимого уровня экономии и эффективного использования энергоресурсов. Интегральный показатель энергоэффективности должен быть направлен на снижение затрат энергоресурсов на всех стадиях жизненного цикла энергоэффективного здания посредством принятия различных организационно-технических решений.

Авторы не претендуют на замену существующей системы показателей энергетической эффективности зданий на предложенный интегральный показатель, однако он может занять своё место в системе, войти в «Перечень целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности», указанный в Постановлении Правительства РФ от 31 декабря 2009 г. № 1225 «О требованиях к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» и широко применяться в условиях расчёта энергоэффективности зданий, особенно собственниками на различных этапах жизненного цикла для оценки экономичности решений.

Авторами предлагается следующий организационный механизм внедрения интегрального показателя энергоэффективности зданий (рисунок 21).

Внедрение интегрального показателя энергоэффективности зданий зависит от обязательности его определения на стадии проектирования и контроля на стадии ввода объекта в эксплуатацию и последующей эксплуатации. Существующая практика проведения теплотехнического расчёта, заполнения энергетического паспорта на стадии проектирования зданий, по мнению авторов, недоста-

точно для достижения цели – повышения энергоэффективности вновь строящихся и реконструируемых зданий, так как в процессе организации строительства и производстве строительных работ показатели могут существенно измениться вследствие изменения условий стройплощадки, замены некоторых строительных материалов, стохастичности строительного производства, необходимостью применения незапланированной технологии и ряда других факторов.

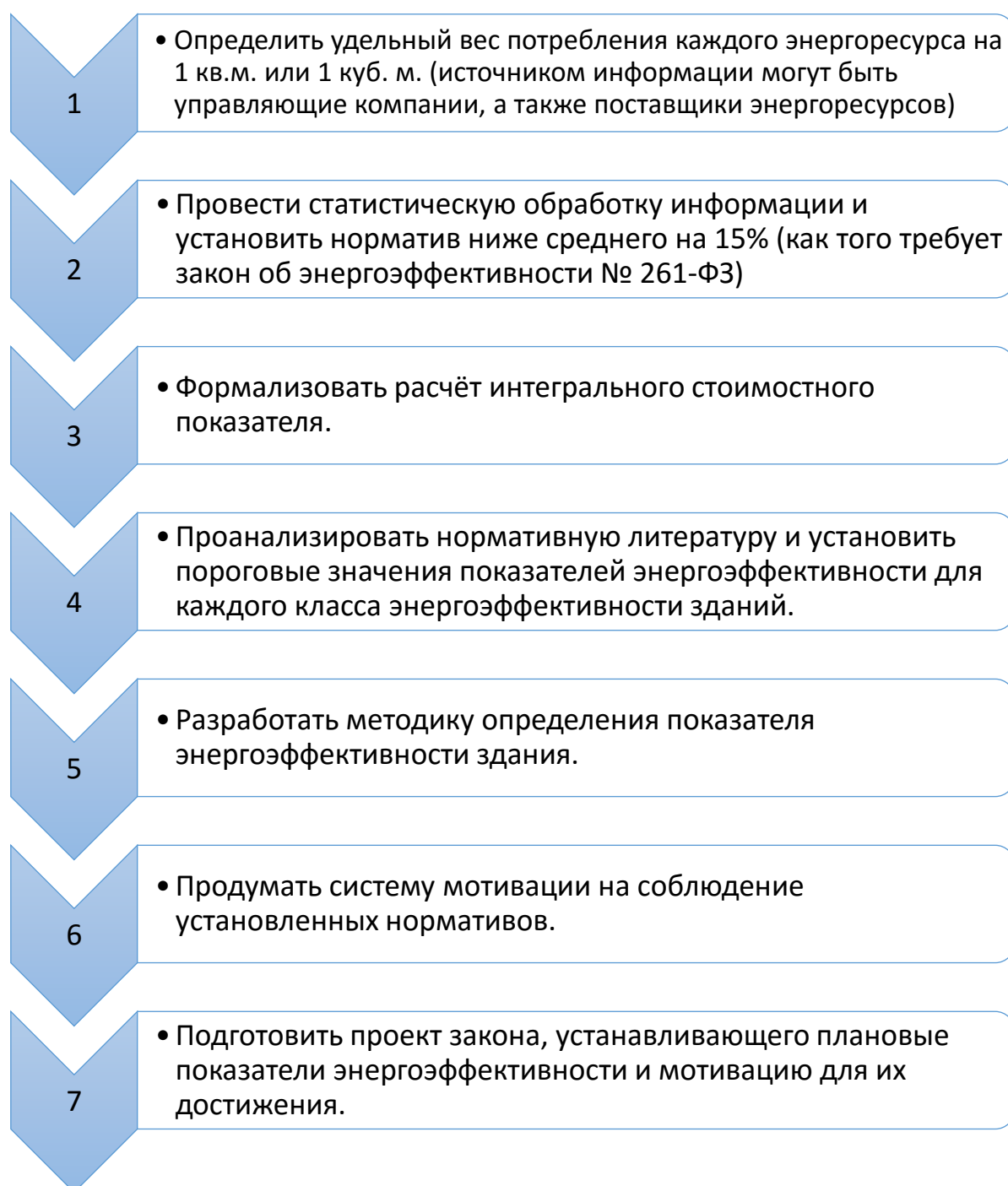


Рисунок 21 – Организационный механизм внедрения интегрального показателя энергоэффективности зданий

Под влиянием указанных факторов удельная величина затрат энергоресурсов на отопление и вентиляцию здания может существенно увеличиться. Таким образом, необходимо ввести контроль изменившихся показателей энергоэффективности при вводе здания в эксплуатацию и сдаче его государственной комиссии. В настоящее время такой контроль отсутствует, разработаны лишь отдельные положения и методики проведения энергетического аудита и заполнения энергетического паспорта здания в момент его ввода в эксплуатацию. К ним можно отнести Постановление Правительства России № 18 от 25 января 2011 года, которые определяют требования к энергоэффективности многоквартирных домов. Согласно п. 13 этих правил: «в гарантийных обязательствах по вводимому в эксплуатацию зданию во всех случаях предусматривается обязанность застройщика по обязательному подтверждению нормируемых энергетических показателей как при вводе дома в эксплуатацию, так и по последующему подтверждению (в т.ч. с использованием инструментальных или расчетных методов) не реже чем 1 раз в 5 лет». Таким образом, застройщик становится обязан подтверждать запроектированные показатели энергоэффективности зданий при вводе в эксплуатацию.

Сложностью с адекватной оценкой существующих показателей энергоэффективности зданий является слабая статистическая поддержка их осуществления, отдельные показатели собираются органами государственной статистики в региональных программах, однако не всегда они являются объективными, следовательно, оценка базовых значений 2007 года затруднена вследствие отсутствия статистического мониторинга за данными показателями в то время. Также затруднительно прогнозировать изменения данных показателей до 2020 г. даже стандартными методами построения прогнозных трендов. Следует отметить, что группа общих целевых показателей Постановления № 1225 полностью игнорирует индикаторы повышения энергоэффективности в промышленности, сельском и коммунальном хозяйстве, на транспорте, а также потребление жидкого

топлива, угля и прочих видов твердого топлива. Например, для регионов, где отсутствует газ, можно оценить только потребление электрической и тепловой энергии.

Целевые показатели энергоэффективности жилищного фонда не учитывают потребление возобновляемых видов энергии, тепловых насосов и энергоэкономичных котлов, также не учитывают потребление энергии бытовыми приборами, системами автоматизации зданий, однако указанные индикаторы используются в России и за рубежом для оценки эффективности использования энергии и воды в жилищном секторе. Кроме того, существующие показатели не учитывают энергопотребления зданием в течение всего жизненного цикла, между тем, энергозатраты на производство основных строительных материалов и конструкций могут быть значительными. В развитых странах в рамках концепции *life cycle analysis* проектируются как строительные материалы, так и конструкции и здания в целом, так как значительные энергозатраты на производство строительных материалов могут вызвать энергозатраты на их замену при ремонте здания, а также на утилизацию строительных материалов после демонтажа. По мнению авторов, данная концепция должна применяться и в российском строительстве при организации жизненного цикла энергоэффективных зданий, при этом учёт затрат энергоресурсов может быть осуществлён на основе предлагаемого интегрального показателя как на стадии строительства здания при принятии организационно-технических решений по экономии энергоресурсов, так и на стадии эксплуатации при планировании ремонтов по показателю затрат энергоресурсов на производство строительных материалов для ремонтов, а также при принятии организационно-технических решений в конце жизненного цикла здания по его реконструкции, либо демонтаже, утилизации или рециклинге строительных материалов. Таким образом, разработанная формула интегрального показателя энергетической эффективности зданий позволяет оценивать энергопотребление зданий и проводить сравнительный анализ различных вариантов энергоёмкости их жизненного цикла в едином энергетическом эквиваленте – тоннах условного топлива.

РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ

2.1. Энергосбережение при производстве, строительстве и эксплуатации основных строительных материалов

Системный подход к формированию энергоэффективности зданий на протяжении жизненного цикла предполагает управление энергосберегающими характеристиками зданий и факторами, определяющими энергетическую эффективность. Жизненный цикл зданий напрямую зависит от жизненного цикла применяемых при строительстве материалов. Строительство – одна из самых материалоёмких отраслей народного хозяйства. Затраты на материалы, расходуемые непосредственно на возведение зданий и сооружений, составляют более половины общей стоимости строительно-монтажных работ и около 1/3 капитальных вложений в народное хозяйство Российской Федерации. Строительство потребляет более 30% всей продукции сферы материального производства. Строительные материалы и конструкции будущего здания определяются на стадии проектирования. При этом важным критерием отбора является их энергоэффективность, в том числе расходы энергоресурсов на их производство. Основными строительными материалами, из которых в основном строятся здания, являются бетон, кирпич (керамический и силикатный) и дерево. Технологические процессы производства строительных материалов, изделий и конструкций требуют значительных затрат энергетических ресурсов, особенно таких энергоёмких как бетон, стекло, металлические изделия. Технологические особенности производства стекла требуют высоких температур (до 1500 °С), пеностекла до 1900 °С, цементный клинкер требует температуры обжига 1450 °С, обжиг извести требует

температуры около 1200 °С, при производстве керамического кирпича необходима температура 1100 °С. Получение таких высоких температур требует больших энергетических затрат, также больших энергетических затрат требуют технологические процессы, связанные с высокодисперсным измельчением составляющих смеси веществ, http://ais.by/sites/default/files/images/2007_9/pg_52_iim_0002.jpg и другие процессы, связанные с получением требуемых физических и химических свойств материала. Тонна алюминия в несколько раз более энергоемка при производстве, чем тонна стали [44]. Диаграмма энергетических ресурсов на производство основных строительных материалов, построенные авторами представлены на рисунке 22.

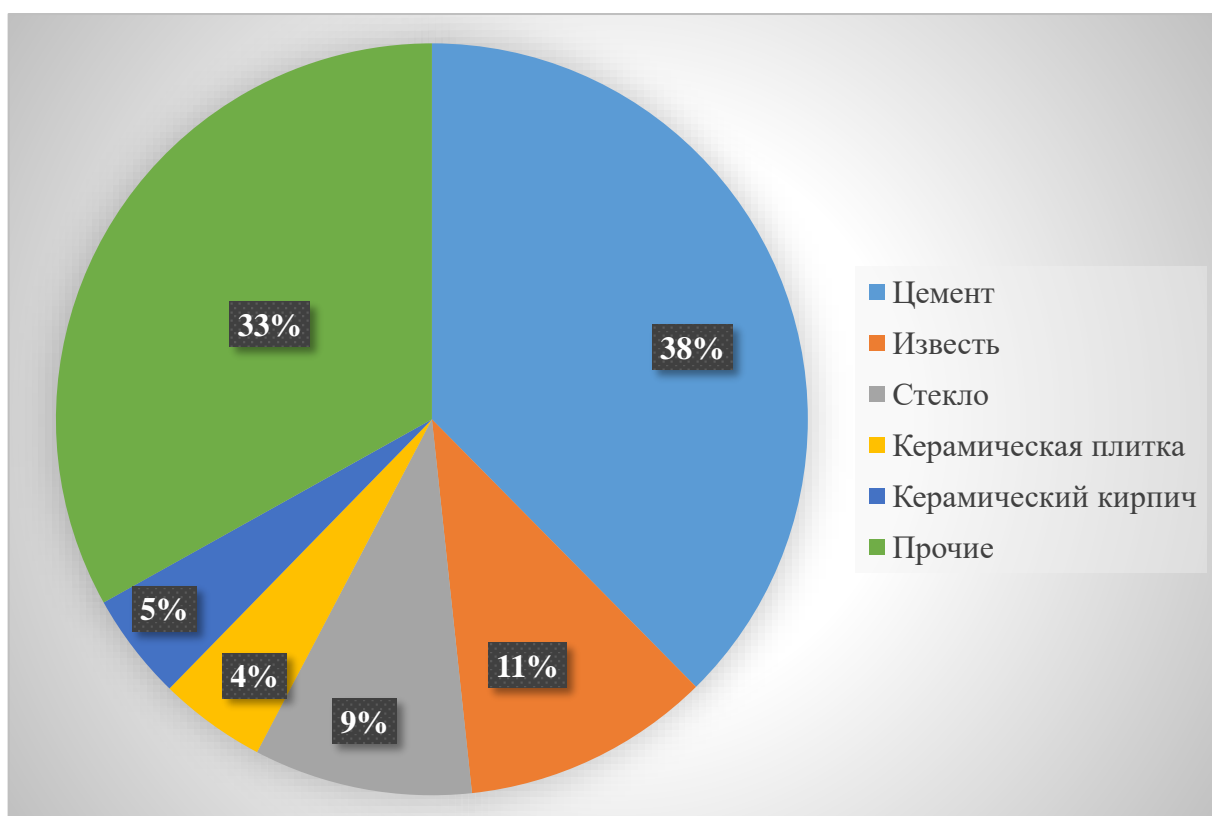


Рисунок 22 – Доли энергетических ресурсов на производство основных строительных материалов

Переход строительной отрасли на энергосберегающие технологии дает возможность снизить не только расход тепла на единицу продукции, но и повысить производительность труда в отрасли. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что энергоемкость, уровень теплозащиты и долговечность продукции строительства тесно связаны между собой, поэтому энергетическая эффективность отрасли в целом зависит от суммарных затрат энергии при строительстве зданий и их эксплуатации. В одних случаях замена более энергоемких ограждающих конструкций зданий на менее энергоемкие дает положительный эффект. В других, наоборот, – такая замена менее энергоемких на менее энергоемкие и долговечные также может дать экономию энергозатрат. Внедрение энергосберегающих технологий часто требует дополнительных капитальных и энергетических затрат. Только при совместном рассмотрении влияния энергоемкости, долговечности и теплозащиты компонентов строительной продукции можно получить экономию энергии за длительный (более 100 лет) срок службы здания. Промышленные предприятия по производству строительных материалов, изделий и конструкций являются крупными потребителями энергии. Ежегодный расход энергии отраслью составляет порядка 60 млн. тонн условного топлива и около 40 млрд. кВт·ч электроэнергии, что составляет около 6% от всех добываемых и расходуемых на внутренние нужды топливно-энергетических ресурсов. Наибольшие затраты топлива приходятся на производство цемента – 28 млн. т.у.т, а на изготовление глиняного кирпича – 13 млн. т.у.т. [111].

Наиболее энергоемким строительным материалом является цемент. На производство 1 т шлакопортландцемента марки 300 необходимо затратить 140 кг у.т. Затраты энергии еще выше при производстве 1 т портландцемента марки 600 – 345 кг у.т. Поэтому увеличение производства шлакопортландцемента может дать значительную экономию энергии. При переходе с мокрого способа производства цемента на сух также можно получить экономию первичных энерго-ресурсов до 55%. Другим перспективным энергосберегающим мероприятием в промышленности строительных материалов является производство цемента с магнитовосприимчивыми добавками. Термическая и индукционная обработка

отформованного бетона в магнитных туннельных камерах позволяет снизить расход цемента на 15-20%. За счет применения тепловой обработки повышается производительность труда, улучшаются санитарно-гигиенические условия производства и в 1,5-2 раза сокращается время термообработки изделия [111].

На заводах сборного железобетона наиболее энергоемкими участками являются арматурные цехи, которые на 1 тонну выпускаемой продукции потребляют 100-150 кВт·ч электроэнергии. К этому следует добавить, что на изготовление арматурной стали расходуется порядка 1,8 т.у.т. Внедрение современной прогрессивной техники с применением автоматического управления производством позволяет экономить на 1 тонну продукции 5-15 кВт·ч электроэнергии. Рациональным способом производства продукции на заводах ЖБИ является применение электротермообработки с помощью индукционного нагрева изделий в камерах проходного типа вместо паровых пропарочных камер. Экономический эффект при таком способе обработки 1 м³ изделий составляет 100-120 кВт·ч. На энергозатраты при производстве ЖБИ большое влияние оказывает правильный выбор марки цемента. Применение высокоактивных цементов при пропаривании изделий позволяет снизить на 25-30°С температуру прогрева и таким образом сократить затраты тепла на его производство. Быстротвердеющие цементы, например, с кристаллизационными добавками, набирают в естественных условиях проектную прочность через 3-6 часов, что позволяет уменьшить энергозатраты на 15-20%. Снижение энергоемкости производства строительных материалов можно получить путем использования бесцементных автоклавных (силикатных) бетонов. Так, по сравнению с обычными цементами, при производстве 1 м³ плотного силикатного бетона можно экономить 56 кг у.т. и 15 кВт·ч электроэнергии. Использование промышленных ходов (золы, шлаков) позволяет значительно снизить энергоемкость конструкции. Например, если применить вместо керамзитобетона газозолобетон плотностью 800 кг/м³, то экономия составит порядка 106 кг у.т. на 1 м³ бетона [111].

Крупным потребителем энергии в промышленности строительных материалов является производство глиняного и силикатного кирпича. Внедрение комплексных, механизированных и автоматизированных технологических линий с использованием ЭВМ в кирпичной промышленности позволяет значительно сократить энергоемкость и повысить производительность труда. Основные затраты энергии приходятся сушку сырца кирпича и его обжиг. Суммарные удельные затраты энергии на производство 1000 шт. глиняного кирпича составляют порядка 300 кг у.т. Резервы экономии энергии сосредоточены в значительном снижении тепла с уходящими газами в печах для сушки и обжига. Сушилки устанавливаются перед туннельными печами, предназначенными для обжига. Чтобы уменьшить теплотери при сушке и обжиге кирпича, проводится целый ряд мероприятий: уменьшение подсоса холодного воздуха, оштукатуривание печей и сушилок, применение подвесных сводов, рациональное размещение горелок. Использование для сушки энергетического потенциала тепла газов, уходящих из туннельных печей, температура которых равна 120°C, понижает энергоемкость производства глиняного кирпича. Перечисленные выше мероприятия дали возможность на передовых кирпичных заводах страны сократить удельный расход топлива на 100 кг у.т на 1000 шт. кирпича. Автоматическое управление тепловыми процессами при сушке и обжиге кирпича позволяет также сократить расход энергии [111].

Энергоемкость силикатного кирпича по сравнению с глиняным в несколько раз ниже и составляет около 85 кг у.т на 1000 шт. кирпича. Технологический цикл его производства в 8-10 раз короче. В то же время силикатный кирпич уступает глиняному по показателям теплозащиты и долговечности. При производстве глиняного и силикатного кирпича можно добиться значительного снижения энергоемкости и увеличения теплозащиты за счет производства их модифицированных изделий с пустотами. При увеличении пустотности кирпича на 20% расход энергии снижается на 0,12 ГДж. на 1000 шт., а на 30% – уменьшается на 0,17 ГДж. на 1000 шт., что составляет примерно 10% от среднего удельного

расхода топлива и электрической энергии на их производство. Наружные ограждающие конструкции из легких бетонов составляют конкуренцию стенам из кирпича. Легкие бетоны изготавливаются на основе пористых заполнителей (керамзита, шунгизита, вспученного перлита и др. материалов). Объемная масса пористых заполнителей должна быть не более 400 кг/м^3 , так как при более высокой объемной массе энергоемкость легкобетонных стен становится равной энергоемкости стен из глиняного кирпича или будет превышать ее. Кроме того, при увеличении объемной массы пористого заполнителя уменьшается его теплозащита. Так, сопротивление теплопередаче керамзитобетонной стены с объемной массой керамзита 400 кг/м^3 (марки 400) на 25% выше такой же стены, изготовленной из керамзита марки 500. Удельная энергоемкость керамзита составляет порядка 100 у.т/м^3 . Для его производства в основном расходуется котельно-печное топливо и небольшая доля электроэнергии. Например, на производство 1 м^3 керамзита марки 400 расходуется на 15% топлива меньше, чем на керамзит марки 500. Большую экономию энергии можно достичь и при применении отходов производства – доменных шлак удельная энергоемкость которых составляет $8\text{-}30 \text{ кг у.т/ м}^3$, что значительно меньше, чем у керамзита [111].

Обобщённые авторами данные об энергоёмкости производства основных используемых в строительстве материалов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Энергоёмкость производства основных строительных материалов

Наименование материала	Ед. изм.	Энергоёмкость, кг.у.т.
Портландцемент М-400	т	280
Сталь арматурная	т	920
Металлоконструкции строительные	т	1050
Алюминиевый профиль	т	6120
Кирпич глиняный	тыс. шт. усл. кирп.	260
Кирпич силикатный	тыс. шт. усл. кирп.	85

Щебень, гравий	м ³	30
Песок	м ³	25

Таким образом, производство строительных материалов требует значительных энергетических затрат. При выборе стройматериалов необходимо учитывать, что суммарные удельные энергозатраты на строительство здания (в том числе на добычу и переработку сырья, производство строительных материалов и изделий-полуфабрикатов, строительные-монтажные работы, транспорт, оборудование здания и пр.) могут существенно превышать удельные эксплуатационные энергозатраты на отопление здания за весь расчетный срок службы дома и затраты на дальнейшую утилизацию здания.

2.2. Энергосберегающие композиционные строительные материалы

XXI век – это век композиционных материалов. Природные и даже синтетические материалы в их естественном виде уже не вполне удовлетворяют требованиям конструкторов, архитекторов и технологов. Суть композитов заключается в том, что в сочетании различных материалов проявляются их лучшие стороны в той степени, в которой это нужно для каждого конкретного случая применения [51]. Применение композиционных строительных материалов повышает энергоэффективность зданий в течение всего жизненного цикла за счёт комплекса факторов:

- композиционные строительные материалы производятся с улучшенными по сравнению с традиционными материалами показателями тепловой защиты, что повышает класс энергоэффективности здания;

- при изготовлении композиционных строительных материалов часто используются отходы промышленного производства, что уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду и снижает энергоёмкость жизненного цикла материала;

- композиционные строительные материалы могут иметь повышенный срок эксплуатации и способность к рециклингу.

Энергоэффективным композиционным строительным материалом является композитная арматура (также ее называют базальтовая арматура, пластиковая арматура, полимерная арматура, АСП), выполненная на основе стекловолокна и базальт-волокна (рисунок 23).

Область ее применения не ограничивается применением только при строительстве мостовых конструкций, но широко применяется в промышленно-гражданском строительстве и поверхностных слоях бетонной конструкции, в конструкциях, подвергаемых в процессе динамическим нагрузкам. Это особенно актуально для мостовых конструкций, в процессе эксплуатации они подвержены постоянному динамическому воздействию от движения транспорта [36].

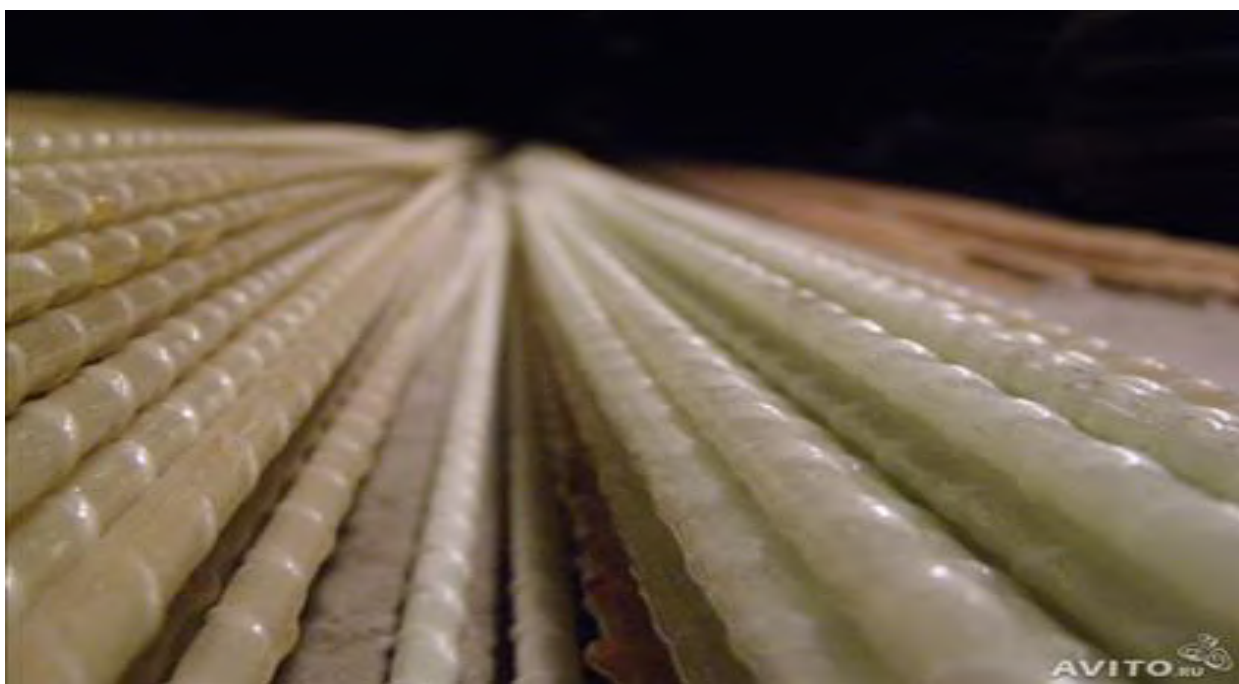


Рис. 23. Стеклопластиковая арматура

Несомненным преимуществом является малый удельный вес композитной арматуры (в 4-5 раз меньше чем у стальной). Известно, что выбор крана для установки балок напрямую зависит от веса конструкции: чем меньше вес конструкции, тем грузоподъемность крана должна быть меньше, соответственно и затраты на работу техники – стоимость строительства будет меньше. Значительное

преимущество имеет и облегчённая транспортировка композитной арматуры (рис. 23).

Так же композитная арматура может работать в широком диапазоне температур от -70 до $+100$ градусов С. По своим техническим качествам 8 мм композитной арматуры заменяет 10 мм металлической арматуры (рис. 23).



Рисунок 24 – Транспортировка композитной арматуры



Рисунок 25 – Сетка из композитной арматуры

Строительные конструкции часто контактируют с водой (фундаменты зданий и сооружений - с подземными источниками, мостовые переходы и резервуары – непосредственно с открытыми источниками влаги). При контакте с водой стальная арматура подвергается коррозии, в то время как композитная арматура не подвержена коррозии, тем самым увеличивается жизненный цикл объекта строительства.

Одним из самых главных факторов выбора композитной арматуры является ее цена. Сравнение металлической и стеклопластиковой (АСП) арматуры представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнительные характеристики арматуры

Показатели	Значения показателей								
	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Диаметр стеклопластиковой арматуры АСП, мм									
Диаметр эквивалентной стальной арматуры, мм	6	8	12	14	16	18	20	22	25
Вес 1 метра АСП, кг	0,03	0,06	0,083	0,135	0,21	0,24	0,287	0,313	0,353
Вес 1 метра стальной, кг	0,222	0,395	0,888	1,21	1,58	2,0	2,47	2,98	3,85
Метраж 1 тонны АСП, м	33334	16667	12048	7407	4762	4167	3484	3195	2833
Метраж 1 тонны стальной, м	4504	2532	1126	826	633	500	404	335	260
Вес арматуры АСП, эквивалентной 1 тонне стальной, кг	135	152	93,5	111,5	133	120	116	105	92
Цена 1 пог. м. стальной, руб.	9,00	11,85	26,64	36,32	47,39	60,00	74,25	89,55	115,38
Цена 1 пог. м. АСП, руб.	8,00	9,5	13,5	18,7	29,2	41,00	51,50	78,3	98,1
Экономический эффект, %	11,1	19,83	49,32	48,51	38,38	31,67	30,64	12,56	14,98

Таким образом, величина среднего экономического эффекта от применения стеклопластиковой арматуры составляет:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{11,1 + 19,83 + 49,32 + 48,51 + 38,38 + 31,67 + 30,64 + 12,56 + 14,98}{9} = 28,55\% \approx 29\%.$$

При условии серийного строительства конструкций из стеклопластика сокращается и общая сметная стоимость строительства за счет уменьшения собственного веса несущих конструкций. Так, например, под Новосибирском идет строительство первого в России моста из композиционных материалов. Сметная стоимость строительства не превышает 45 миллионов рублей. В дальнейшем строительство мостов из композиционных материалов позволит существенно сэкономить на их эксплуатационных расходах. Срок службы мостов с цельнокомпозитными пролетными строениями (по заключениям изготовителей стеклопластиков) - 100 лет, при практически «нулевой» стоимостью обслуживания в процессе эксплуатации. Стоимость мостового перехода с таким пролетным строением сегодня больше, чем стоимость моста с традиционными материалами пролетных строений примерно в 1,5 раза. Большая разница в стоимости обусловлена индивидуальным изготовлением отдельных элементов фермы (уголков, поясов) из выпускаемых заводом изготовителем стандартных профилей, что приводит к большим трудозатратам и нереализуемым отходам стеклопластика. При массовом производстве элементов пролетных строений, стоимость стеклопластика будет уменьшаться, так как изготовление элементов ферм можно будет вести из стандартных профилей завода изготовителя именно для проектируемого пролетного строения.

Сравнительный экономический эффект применения стеклопластиковой арматуры материалов произведён при помощи сравнительной оценки удельных затрат на возведение и эксплуатацию мостового сооружения из стеклопластиковой и металлической арматуры. Предполагается ресурс моста, соответственно, 50 лет для металлической арматуры при ежегодном техобслуживании и 100 лет (принимая потенциальный срок службы) из стеклопластиковой. Фактический срок службы железобетонных и металлических мостов не превышает 40-50 лет, при этом капитальный ремонт таким конструкциям требуется, как правило, уже через 20-25 лет эксплуатации [36]. Расчёт представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Оценка экономической эффективности применения
стеклопластиковой арматуры

Наименование материала	Срок службы, лет	Стоимость, руб./т	Вес 500 пог. м арматуры, кг	Количество замен за 100 лет	Затраты, руб./т на срок эксплуатации
АСП (10 мм)	100	$500 \cdot 36,32 = 18160$	$500 \cdot 0,135 = 67,5$	-	18160
Металлическая арматура (14 мм)	50	$500 \cdot 60,00 = 30000$	$500 \cdot 2 = 1000$	2	60000
Удельный экономический эффект на 1 т					41,84 тыс. руб. 330 %

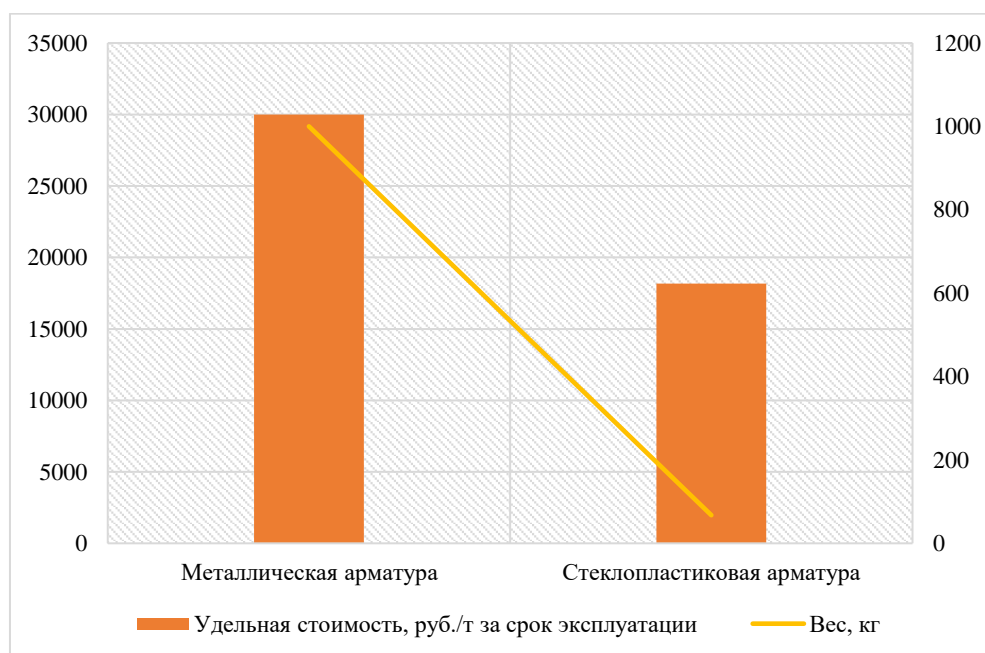


Рисунок 26 – Сравнительный экономический эффект применения
металлической и стеклопластиковой арматуры

Таким образом, применение стеклопластиковой арматуры позволяет достичь экономию денежных средств при строительстве объектов в размере 330 % или около 42 тыс руб. на 1 т, несмотря на то, что стоимость СМР со стеклопластиковой арматурой превышает стоимость СМР с металлической арматурой в 1,5 раза, так как срок их эксплуатации превышает срок эксплуатации сооружения с

металлической арматурой в 2 раза. До настоящего времени на территории Российской Федерации построено и введено в эксплуатацию более десятка пешеходных мостов, пролетные строения которых изготовлены из композиционных материалов, и не построено ни одного автодорожного моста. В мире насчитывается не менее 360 мостов, основные несущие элементы которых выполнены из полимерных композиционных материалов. Среди них около 53 мостов полностью изготовлены из композитных материалов, остальные же - так называемые гибридные конструкции, особенностью которых является то, что для несущих элементов применяются различные материалы. Такие конструкции при правильном их проектировании позволяют максимально использовать положительные качества материалов и сводить к минимуму их недостатки.

2.3. Энергосберегающие синтетические геоматериалы

Развитие современной строительной отрасли невозможно без применения инновационных строительных материалов, организационно-технологических решений и технологий. С принятием законодательных актов, направленных на ресурсо- и энергосбережение в России, появился реальный спрос на инновационные технологии и материалы, особенно в строительном комплексе, являющемся крупным потребителем энергоресурсов и определяющим ресурсо- и энергосбережение в других отраслях промышленности и ЖКХ. Энергоэффективность поставлена в авангарде стратегии инновационного развития России. Усиление «зеленых тенденций» поставило еще одну задачу – комбинировать эффективность строительных материалов и конструкций с безопасностью для человека и окружающей среды. Для этого приняты законодательные акты и директивные документы, выполняются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, реализуются энергосберегающие мероприятия и технологии. От того, как будут спроектированы и построены строительные объекты, зависит не только их ресурсо- и энергопотребление, но и потребление ресурсов осуществляемых

производственных процессов. Одним из эффективных направлений является поиск новых строительных ресурсо- и энергосберегающих материалов, конструкций и технологий, ярким примером которых являются геоматериалы, внедрению которых в строительную практику является предметом исследования, проводимого авторами. Геосинтетические материалы применяются в мировой практике достаточно давно, основными потребителями являются транспортное, промышленное и гидротехническое строительство [3]. Термин «геосинтетических материалы» объединяет широкую группу материалов, в которых как минимум одна из составных частей изготовлена из синтетических или натуральных полимеров, или плоских форм, рулонов или трёхмерных структур, применяемых в геотехнике или других областях строительства в контакте с грунтом и (или) другими строительными материалами. Рынок геосинтетических материалов в настоящее время развивается достаточно активно, что подтверждает их перспективность. Региональный анализ промышленности геосинтетических материалов показал, что структура инновационной деятельности в области геоматериалов коррелирует с общим объёмом производства, что свидетельствует в первую очередь об экономической перспективности выпуска подобной продукции, а также о заинтересованности в ней регионов и готовности развивать её ассортиментный ряд [5].

Одним из эффективных направлений является поиск новых строительных ресурсо- и энергосберегающих материалов, конструкций и технологий, ярким примером которых являются геоматериалы. В строительной практике широко применяются именно геосинтетические полимерные материалы, изготовленные из синтетических или натуральных полимеров в виде плоских форм, лент или трёхмерных структур. Тканое геополотно используется в качестве армирующей, разделительной и водоотводящей прослойки в дорожном строительстве, строительстве продуктопроводов, а также при возведении грунтовых сооружений во всех видах строительства. Таким образом, геосинтетические материалы обладают рядом энерго- и ресурсосберегающих характеристик,

которые представлены в виде матрицы (табл. 7).

Таблица 7 – Матрица ресурсо- и энергосберегающих характеристик геотекстиля

Характеристики	Ресурсосберегающие	Энергосберегающие
Конструктивный состав	Несъёмная опалубка – экономия опалубочных материалов	Экономия арматуры – одного из энергоёмких составляющих железобетона
Материальный состав	Экономия материальных ресурсов	Энергоёмкость производства геосинтетики меньше энергоёмкости производства железобетона
Технология монтажа	Ресурсосберегающие технологии	Экономия энергоресурсов на работу строительных машин
	Сокращённые сроки монтажа – минимизация трудовых и финансовых ресурсов	Облегчённый монтаж и небольшой вес опалубки – экономия энергоресурсов на работу подъёмников

В исследовании [5] авторы, выполнив сравнительный расчет работ по устройству сборного железобетонного фундамента с применением геотекстиля, свайного фундамента без геосинтетики и монолитного фундамента с железобетонной подушкой, пришли к выводу, что наиболее дорогостоящим, трудозатратным, материалозатратным и энергозатратным является монолитный фундамент. В сравнении с монолитным, сборный железобетонный и свайный фундаменты являются более экономичными по стоимости за счет снижения расхода бетона, объема земляных работ, трудоемкости работ и затрат на эксплуатацию машин и оборудования. Самым материало- и энергоэффективным является сборный железобетонный фундамент с применением геотекстиля. Применение тканого геотекстиля даёт экономию материальных ресурсов, энергетических ресурсов, а также повышает инновационность организационно-технологических решений. Кроме того, применение геотекстиля в конструкции песчаной подушки предотвращает вымывание грунта подушки, увеличивает срок службы фундамента. Необходимость транспортных работ снижается на 70-85%, а вероятность

просадки здания во время эксплуатации снижается вдвое. Указанные преимущества в итоге позволяют снизить сметную стоимость строительства здания в целом. Применение тканого геотекстиля даёт экономию материальных ресурсов, энергетических ресурсов, а также повышает инновационность организационно-технологических решений. Результаты расчёта представлены на рисунке 27.

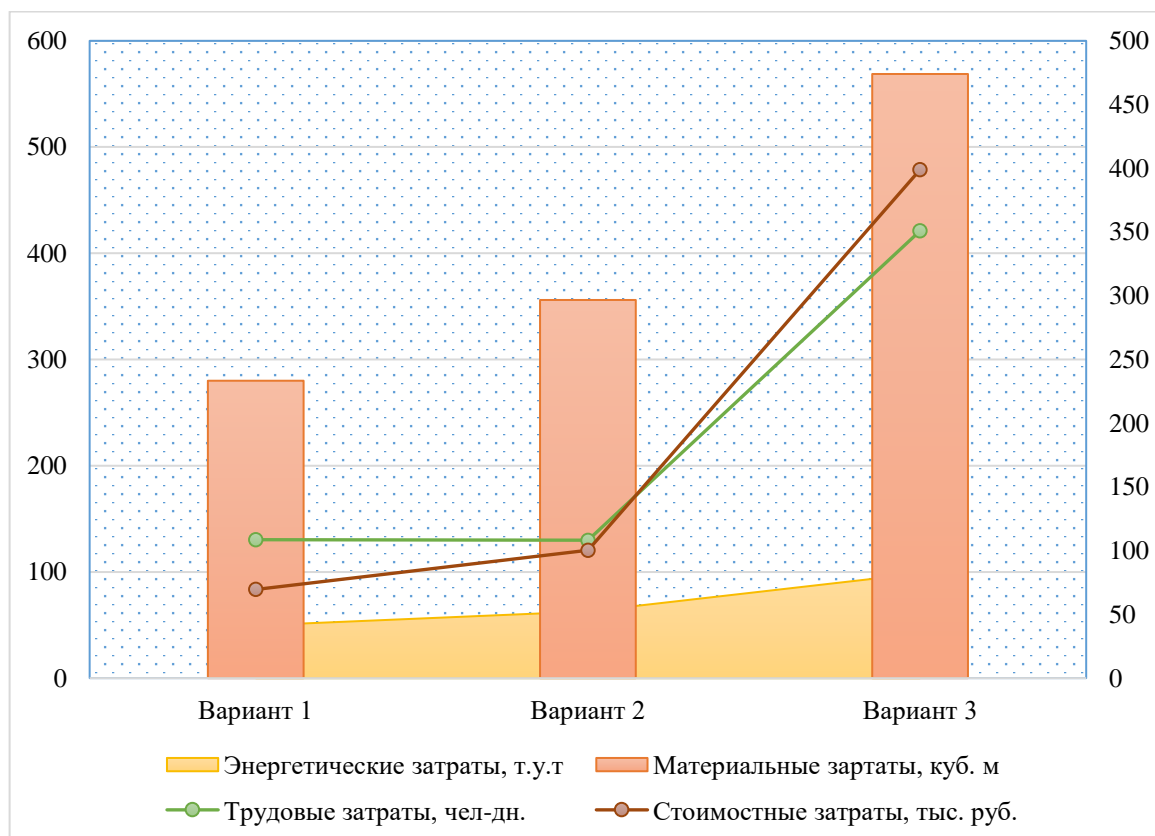


Рисунок 27 – Ресурсо- и энергосберегающие характеристики сравниваемых вариантов устройства фундамента

Результаты произведенного сравнительного расчета конструкции дорожной одежды без геосинтетики и с использованием геосинтетики позволяет сделать вывод о том, что дорожная конструкция с геосинтетикой является более прочной и долговечной, о чем свидетельствует ряд показателей, значения которых у данного вида дорожной одежды выше, а именно:

1. Расчётный коэффициент прочности ($K_{\text{расч}} = 1,55$ – без применения геосинтетики, $K_{\text{расч}} = 1,58$ – с применением геосинтетики). Коэффициент прочности

– это отношение фактического модуля упругости к требуемому. С увеличением срока службы дорожной одежды коэффициент прочности почти не меняется. Но при фиксированном сроке службы дорожной одежды с ухудшением качества исходных материалов и качества производства работ требуется более высокий запас прочности, то есть более высокий коэффициент прочности. Это свидетельствует о том, что неэкономично строить с плохим качеством, т.е. без использования геосинтетики.

2. Коэффициент усиления у дорожной конструкции без геосинтетики отсутствует, с геосинтетикой равен $\alpha = 0,980$, соответственно дорожная одежда с геосинтетикой является усиленной и более прочной.

3. Запас прочности $((K_{\text{расч}} - K_{\text{тр}}) / K_{\text{тр}} * 100\% = 52\%$ - без геосинтетики, 55% - с применением геосинтетики). Позволяет сделать вывод о том, что дорожная конструкция с геосинтетикой обладает большим запасом прочности на многократно повторяющиеся действия расчетных автомобильных нагрузок, а соответственно большей работоспособностью конструкции.

4. Наибольшее растягивающее напряжение ($\sigma_r = 1,785$ Мпа без геосинтетики; $\sigma_r = 1,800$ Мпа с геосинтетикой).

Таким образом, на основе проведённых расчётов авторами выявлены преимущества применения геоматериалов в дорожном строительстве. При этом тканые текстильные геоматериалы более предпочтительны в условиях устройства дорожных одежд по сравнению с неткаными текстильными геоматериалами, так как тканое геополотно является более легким материалом и удобным для транспортировки; обладает более высокими прочностными характеристиками; является более устойчивым к воздействию ультрафиолета, а также обладает высокой химической и биологической стойкостью. Применение геоматериалов в строительстве способствует энерго- и ресурсосбережению, что является основным мотивом застройщиков и собственников к достижению зданиями определённого класса энергетической эффективности [3].

2.4. Современные конструкционно-теплоизоляционные строительные материалы

Современные строительные нормы в Европейских странах устанавливают потребление энергии на уровне 80-100 кВт·ч/м² год. У нового поколения домов, которые проектируются и строятся в соответствии с концепцией Passive House (пассивный дом), уровень энергопотребления может быть снижен до 15-30 кВт·ч/м² год в зависимости от региона строительства. Определяющим фактором, позволяющим обеспечивать такой норматив, является применение эффективной тепловой изоляции в строительных конструкциях.

Объемы производства и потребления теплоизоляционных материалов в РФ возросли за последние 10 лет более чем в 4 раза – с 6-7 млн м³ в 1998 г. до 26-27 млн м³ в 2008 г. Докризисный прогноз на 2010 г. составлял 30-32 млн м³. В кризисном 2009 г. производство и потребление теплоизоляционных материалов в РФ значительно снизилось и составило по экспертным оценкам 19-20 млн м³.

Современная индустрия предлагает широкий спектр теплоизоляционных материалов, характеризующихся различным назначением и различными техническими и качественными характеристиками. Преобладающими видами теплоизоляционных материалов являются стекловолокно и каменная вата, их доля составляет соответственно 38 и 37%. Значительная доля (около 22%) принадлежит пенополистиролу, в том числе экструзионному (5,3%).

В странах Европы все большее развитие получает строительство зданий с минимальным энергопотреблением по концепции Passive House. На основе этой концепции уже построен и строится целый ряд зданий в Германии, Дании и других странах. Первые здания такого типа построены в РФ на территории Республики Татарстан в Казани. Предполагается их строительство в Подмосковье. Предлагаемые технические решения наиболее эффективны для малоэтажного жилья, доля которого в современном жилищном строительстве в РФ составляет более 50%.

Наибольший потенциал энергосбережения в строительном секторе и ЖКХ связан именно со снижением энергозатрат на отопление. За счет этого общее

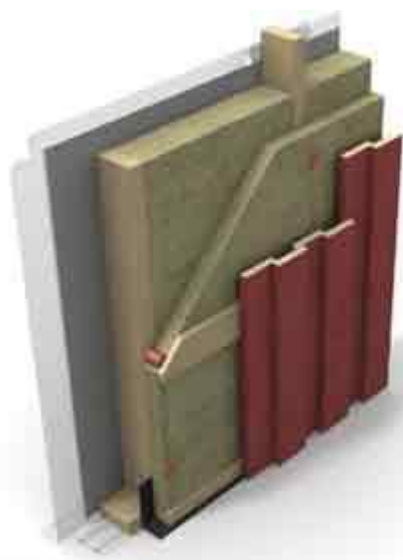
энергопотребление зданий может быть снижено, по экспертным оценкам, на 50-55%. Высокое потребление тепловой энергии в строительном секторе экономики связано, как с высокими тепловыми, в первую очередь, трансмиссионными потерями зданий, так и с высокими тепловыми потерями в системах теплоснабжения.

Основными факторами, позволяющими снизить энергопотребление зданий до минимального уровня 15-30 кВт-час/(м² год), являются:

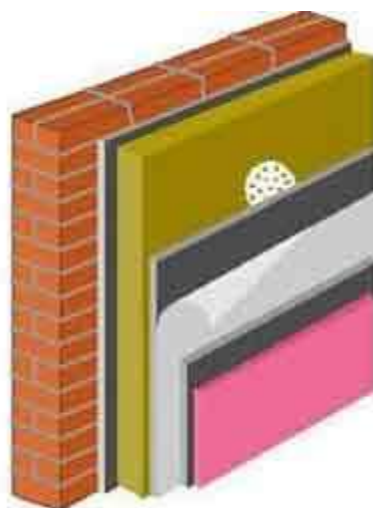
- повышение термического сопротивления ограждающих конструкций до максимального технически возможного уровня;
- увеличение термического сопротивления светопрозрачных конструкций до максимального технически возможного уровня;
- сведение к минимуму тепловых мостов;
- обеспечение необходимой герметичности здания относительно притока наружного воздуха;
- создание систем принудительной вентиляции помещений с рекуперацией тепла вентиляционного воздуха;
- оптимизация архитектурных форм и расположения здания с учетом воздействия ветра и возможности использования солнечной радиации.

Сочетание указанных выше факторов обеспечивает минимальное энергопотребление здания. При этом определяющими факторами повышения энергоэффективности здания являются увеличение термического сопротивления его конструктивных элементов.

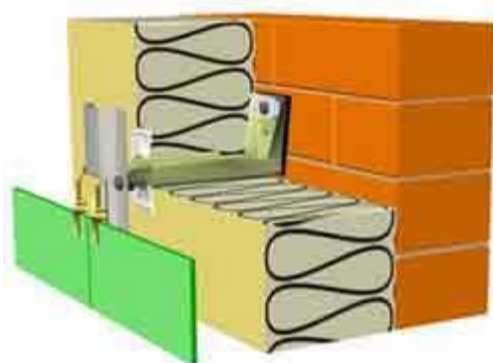
Для снижения энергопотребления зданий до уровня Passive House необходимо повысить термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий. Такие значения термического сопротивления не могут быть получены с использованием традиционных конструктивных решений и строительных материалов (кирпича, бетона и др.) без применения эффективных утеплителей. Требуемый уровень теплозащиты зданий достигается путем применения многослойных строительных конструкций с использованием эффективных утеплителей. Примеры таких конструкций приведены на рисунке 28.



А



Б



В



Г

Рисунок 28 – Утеплённые ограждающие конструкции:

А – каркасная стена;

Б – система наружного утепления со штукатурным покрытием;

В – конструкция навесного вентилируемого фасада;

Г – многослойная конструкция плоского покрытия с рулонной кровлей.

Эффективность применения утеплителей рассмотрена на примере утепления стен пенополистиролом (рисунке 29). Расчёты выполнены для климатических условий г. Иваново для административного здания площадью стен 2840 м². Предлагается их утепление пенополистирольными плитами толщиной 10 см с использованием крепежных элементов с последующей штукатуркой.

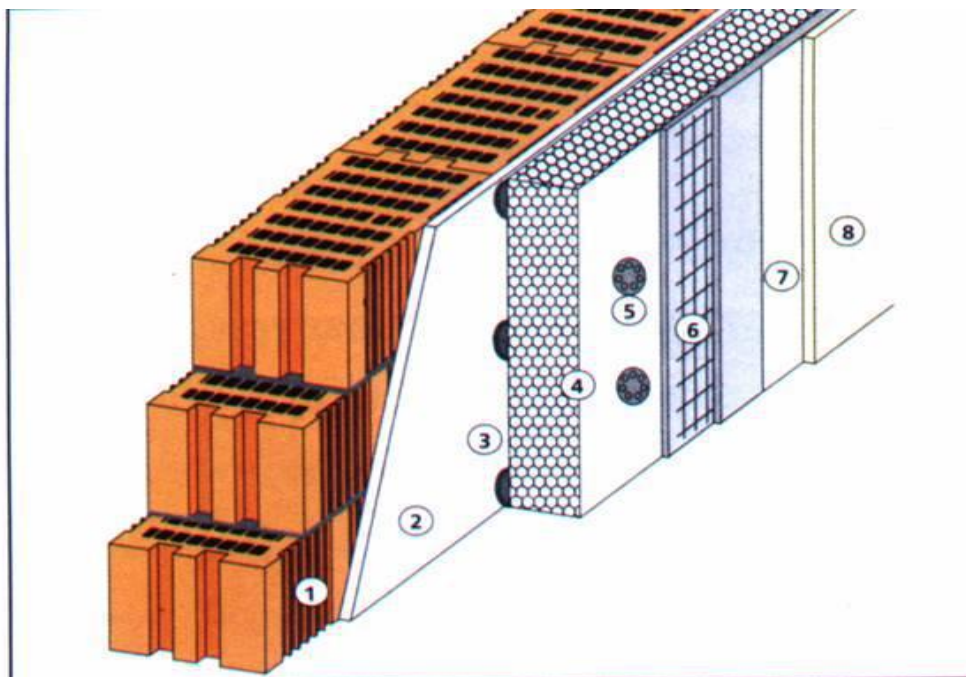


Рисунок 29 – Система дополнительного утепления наружных стен с помощью пенополистирола [77]

Условные обозначения: 1. Стена.

2. Имеющаяся штукатурка.

3. Клеящая масса.

4. Пенополистироловая плита.

5. Распорный штифт с прижимной прокладкой.

6. Сетка из стекловолокна, покрытая клеем.

7. Грунтовочный слой.

8. Тонкий слой штукатурки.

Расчет потребности в тепловой энергии на отопление до утепления стен полистиролом:

$$Q_1 = 0,4 * 3000 \text{ м}^3 * (18^\circ\text{C} - (-3,9)^\circ\text{C}) * 218 \text{ дн.} * 24 \text{ ч.} = 137496960 \text{ кКал} = \\ = 137,5 \text{ Гкал / год,}$$

где: 0,4 – удельный расход тепловой энергии на отопление 1 м³ здания;

3000 м³ – строительный объем отапливаемого здания;

18°C – требуемая температура в административном здании;

(-3,9)°C – средняя температура наружного воздуха в отопительный период;

218 дн. – продолжительность отопительного периода;

24 ч. – длительность суток.

Расчёты выполнены для климатических условий г. Иваново.

Утепление наружных стен полистиролом позволит увеличить сопротивление стен теплопередаче в 2,5 раза, т.е. удельный расход тепловой энергии на отопление составит 0,16.

Расход тепловой энергии на отопление здания после утепления стен полистиролом:

$$Q_2 = 0,16 * 3000 \text{ м}^3 * (18^\circ\text{C} - (-3,9)^\circ\text{C}) * 218 \text{ дн.} * 24 \text{ ч.} = 54998784 \text{ кКал} = \\ = 55,0 \text{ Гкал} / \text{год.}$$

Для расчета эффекта от утепления стен целесообразно использовать методику оценки инвестиционных проектов по дисконтированному денежному потоку, т.к. срок службы предлагаемой конструкции утепления стены достаточно продолжительный. Для расчёта эффективности данного мероприятия необходимо определены инвестиционные затраты на утепление здания. Стоимость 1 м³ пенополистирольных плит принята равной 850 руб. Стоимость конструкций на весь объем работ равна 241,4 тыс. руб. Стоимость крепежных элементов составила 85 тыс. руб., а стоимость монтажа конструкций 210 тыс. руб. Стоимость штукатурки всей площади стен в административном здании равны 596,4 тыс. руб. Ориентировочная стоимость проектных работ 195 тыс. руб., научно-исследовательских 45 тыс. руб. В итоге необходимые инвестиции составили:

$$K = 241,4 + 85 + 210 + 596,4 + 195 + 45 = 1372,8 \text{ тыс. руб.}$$

С целью оценки эффективности данного мероприятия сформированы денежные потоки по мероприятию утепления стен здания пенополистиролом (табл. 8), сводные характеристики эффективности представлены в таблице 9.

Таблица 8 – Денежные потоки по мероприятию утепления стен здания пенополистиролом

Показатели	Годы												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Денежный поток от инвестиционной деятельности	-1372,8												
Проектирование	-240,0												
Материалы для утепления	-326,4												
Монтаж утеплителя	-210,0												
Штукатурка стен	-596,4												
Денежный поток от операционной деятельности (рост тарифа 17% в год)		116,9	136,8	160,0	187,2	219,0	256,3	299,8	350,8	410,4	480,2	561,8	657,3
Расходы на отопление до утепления	166,5	194,8	227,9	266,7	312,0	365,0	427,1	499,7	584,7	684,0	800,3	936,4	1095,6
Расходы на отопление после утепления	-66,6	-77,9	-91,2	-106,7	-124,8	-146,0	-170,8	-199,9	-233,9	-273,6	-320,1	-374,6	-438,2
Суммарный денежный поток	-1372,8	116,9	136,8	160,0	187,2	219,0	256,3	299,8	350,8	410,4	480,2	561,8	657,3
Суммарный денежный поток нарастающим итогом	-1372,8	-1255,9	-1119,2	-959,2	-772,0	-552,9	-296,7	3,1	353,9	764,4	1244,6	1806,4	2463,8
Коэффициент дисконтирования (норма дисконта 9%)	1,000	0,930	0,865	0,804	0,748	0,696	0,647	0,602	0,560	0,520	0,484	0,450	0,419
Дисконтированный суммарный денежный поток	-1372,8	108,7	118,3	128,7	140,0	152,4	165,8	180,4	196,3	213,6	232,4	252,9	275,2
Дисконтированный суммарный денежный поток нарастающим итогом	-1372,8	-1264,1	-1145,8	-1017,1	-877,1	-724,7	-558,9	-378,5	-182,2	31,4	263,8	516,7	791,8

Таблица 9 - Показатели эффективности мероприятия
по утеплению стен пенополистиролом

Наименование показателей	Ед. изм.	Значение
Чистый доход	тыс. руб.	2463,8
Чистый дисконтированный доход	тыс. руб.	791,8
Внутренняя норма доходности	%	14,6%
Срок окупаемости	лет	7
Дисконтированный срок окупаемости	лет	9

Таким образом, данное энергосберегающее мероприятие эффективно для его можно рекомендовать собственникам зданий для внедрения [77].

Широкое применение пенополистирол нашёл и в качестве теплоизоляции межэтажных перекрытий, крыш и фундаментов, а также для организации несъёмной опалубки. энергоэффективность пенополистирола очень высока, но вместе с тем данный материал обладает рядом отрицательных свойств, к которым следует отнести недолговечность, пожароопасность и токсичность. При эксплуатации, хранении и рециклинге пенополистирол разрушается под действием внешних и внутренних факторов. Внутренними факторами являются процессы, связанные с естественной деструкцией полимера. Внешние факторы – это действие жидких агрессивных сред, а также атмосферные воздействия (колебания температуры и влажности) и старение (фото- и теплостарение).

При длительном воздействии этих факторов происходит изменение структуры материала и, как следствие, его физико-механических свойств. Естественная деструкция пенополистирольных пластиков накладывает дополнительное влияние на эти факторы. Свойства пенополистирола меняются от воздействия неконтролируемых случайных факторов. При проектировании новых и реконструкции существующих зданий теплоизоляция из пенополистирола практически не поддаётся точной оценке на долговечность и гарантированный срок службы. В настоящее время официально утверждённая методика определения долговечности пенополистирольных плит и ограждающих конструкций с его применением отсутствует.

Ещё одним эффективным утеплителем является теплоизоляционные изделия на основе стекловолокна, которые производит один из мировых лидеров в производстве теплоизоляционных материалов компания ISOVER. На отечественном рынке представлены мягкие теплоизоляционные плиты марок ISOVER KL 34; ISOVER KL 37, применяемые в конструкциях скатных крыш, каркасных конструкциях, системах вентилируемых фасадов. Жесткие теплоизоляционные плиты марок ISOVER OL-TOP, ISOVER OL-P применяются в двухслойных конструкциях плоских покрытий с рулонной кровлей. Плиты ISOVER ВентФасад-верх предназначены для наружного слоя в конструкциях навесных вентилируемых фасадов (НВФ). Эти материалы отвечают требованиям экологической и пожарной безопасности, характеризуются высокими теплоизоляционными и акустическими свойствами, эксплуатационной надежностью [168].

В соответствии с предлагаемой концепцией повышение теплотехнической эффективности здания достигается за счет увеличения толщины теплоизоляционного слоя, устранения тепловых мостов и снижения воздухопроницаемости (повышения воздухоплотности) конструкций. Для решения этих задач компанией ISOVER разработаны конструктивные решения и теплоизоляционные материалы со специальными свойствами. В конструктивном плане рекомендуются многослойные (двух- и более слойные) решения, которые за счет установки теплоизоляционных плит наружного слоя с перекрытием швов внутреннего слоя исключают образование тепловых мостов.

Этот принцип реализуется как в покрытиях (например, внутренний слой плиты ISOVER OL-P, наружный ISOVER OL-TOP), так и в стенах (вентфасады с применением плит ISOVER KL 34 в качестве внутреннего слоя и плит ISOVER ВентФасад-верх в качестве наружного).

Применение мягких минераловатных плит ISOVER KL 34 в качестве внутреннего слоя повышает сплошность теплоизоляционного слоя, снижает воздухопроницаемость конструкции за счет плотного прилегания теплоизоляционного материала к изолируемой поверхности.

Оценивая возможность применения предложенной концепции в РФ, необходимо отметить следующее. Обозначенный уровень энергопотребления – 15 кВт·час/(м² год) реализуется в регионах с количеством ГСОП – 3400. В РФ к таким регионам относятся районы, расположенные в ЮФО южнее гг. Ростова-на-Дону (3523), Ставрополя (3209), Астрахани (3540), Элисты (3668) и др. В более северных районах энергопотребление таких зданий будет существенно выше. Техничко-экономическая эффективность этих домов в современных условиях определяется сравнительной стоимостью материалов и ТЭР, которые имеют конъюнктурный и изменяющийся во времени, преимущественно в сторону увеличения стоимости ТЭР, характер. Актуальность этой концепции для РФ возрастает в связи с увеличением доли малоэтажного и коттеджного строительства в общем объеме возводимых зданий. Уже сегодня в отечественной практике может быть использована значительная доля предлагаемых энергосберегающих технических решений по теплоизоляции стен.

В монографии С.В. Александровского «Долговечность наружных ограждающих конструкций» приводятся показатели долговечности трёхслойных стен с пенополистирольным утеплителем в г. Москве. Согласно материалам данной работы, снижение прочности утеплителя на 20% в стенах северной ориентации происходит в течение 54 лет, а в стенах южной ориентации – за 32 года. Ю.Д. Ясин (НИИ Строительной Физики) в своей работе «Ресурс и старение материала» приводит такие сроки службы ограждающих конструкций:

- пенополистирол внутри стены – от 15 до 50 лет;
- минеральная вата – от 20-50 лет;
- стеклопакеты клеёные – 10-15 лет;
- панели из тяжёлого бетона с утеплителем внутри – 50 лет;
- однородные стены из пустотелого керамического кирпича – от 100 до 150 лет.

Строительная индустрия в России затрачивает огромные материальные, энергетические и трудовые ресурсы на производство утеплителей и строительство

с его применением внутри кладки или панели, в результате чего возводятся объекты, надёжность и долговечность которых невозможно гарантировать более чем на 25 – 30 лет. Подобный подход не только не даёт энергоресурсоэффективности, а наоборот, приводит к необоснованному перерасходу энергии и ресурсов. Применение утеплителей снижает энергозатраты на отопление зданий, но повышает энергозатраты на производство работ по текущим и капитальным ремонтам зданий, требующих замены утеплителей несколько раз в течение периода эксплуатации зданий [110].

Срок службы материала и его энергосберегающие свойства тесно взаимосвязаны. Изучение этой взаимосвязи является важной и сложной научной задачей. В таблице 10 приведены некоторые характеристики конструкционно-теплоизоляционных материалов для однослойных стен: плотность, коэффициент теплопроводности, долговечность, влагозащита, стоимость 1 куб. м.

Таблица 10 – Характеристики конструкционно-теплоизоляционных материалов для однослойных стен

Материал	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С		Долговечность, лет	Энергоёмкость, кг.у.т./м ³ *	Расчётное массовое отношение влаги, %	Стоимость 1 м ³ , руб.**
		в сухом	во влажном				
Природные заполнители							
Пемзобетон	800	0,19	0,22	100	240	4	3500
Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	800	0,21	0,24	70	350	5	4500
	600	0,16	0,20				
Керамзитобетон на керамзит песке	500	0,14	0,17	70	375	5	3000
Шлакопемзобетон	1000	0,23	0,31	80	240	5	4500
Термозитобетон	1200	0,29	0,37			5	
Шлакопемзогазобетон	800	0,17	0,29	100	220	8	3400
	1200	0,29	0,41				
Бетон на доменных гранулированных шлаках	1200	0,35	0,47	120	195	5	2300
Бетон на топливных (котельно-угольных) шлаках	1000	0,29	0,38	50		5	2300
	1200	0,35	0,48				
Бетон на зольном гравии	1200	0,35	0,47	50		5	3800

Ячеистые бетоны							
Полистиролбетон	400	0,11	0,12	100	315	4	3050
	600	0,15	0,18				
Газобетон	400	0,11	0,14	100	58,2	8	2800
	800	0,21	0,33				
Газо- и золопенобетон	800	0,17	0,35	100		15	3300
1200	0,29	0,52					
Кирпичная кладка из силикатного кирпича							
Цементно-песчаный раствор	1800	0,56	0,7	200	246	1	5500
Шлаковый раствор	1700	0,52	0,64	200	195	1	4900
Силикатный кирпич	1800	0,7	0,76	150	211	2	6000

* - данные по энергоёмкости включают в себя энергетические затраты на производство материала, являются усреднёнными и могут меняться в зависимости от месторасположения производства, используемой технологии и других факторов.

** - в средних ценах 2016 г.

В таблице 10 приведены данные, касающиеся только части конструкционно-теплоизоляционных материалов, однако уже становится ясно, что факторы, влияющие на энергоэффективность зданий многоаспектны – это не только теплопроводность наружных ограждающих конструкций, но и их долговечность, энергоёмкость, стоимость. Авторы считают необходимым сказать, что сокращение расхода топливно-энергетических ресурсов в течение жизненного цикла зависит от срока службы строительных материалов, изделий и конструкций. Например, если построить два здания с одинаковым уровнем теплозащиты: одно здание со сроком службы 50 лет, а другое – 150 лет, то в течение 50 лет оба здания израсходуют одинаковое количество топливно-энергетических ресурсов. За оставшиеся 100 лет здание с длительным сроком службы будет потреблять топливо только на эксплуатацию. Здание с коротким сроком службы придётся дважды демонтировать и утилизировать, а затем строить заново, затрачивая при этом дополнительную энергию. Исследование проблемы обеспечения высокой энергетической эффективности зданий напрямую связано с проблемой его достижения в течение всего жизненного цикла, а, следовательно, и проблемы долговечности и энергоёмкости строительных материалов, конструкций и изделий. Решение этой проблемы обязательно должно быть произведено совместно с расчётами и оценкой экономической эффективности принимаемых организационно-технических решений.

2.5. Энергосберегающие строительные конструкции и системы

2.5.1. Навесные вентилируемые фасады

Навесной вентилируемый фасад представляет собой закрепленную на ограждающей стене конструкцию, состоящую из теплоизоляции, направляющих для крепления облицовки и самой облицовки. Между теплоизоляцией и облицовкой имеется воздушный зазор (рисунок 30).

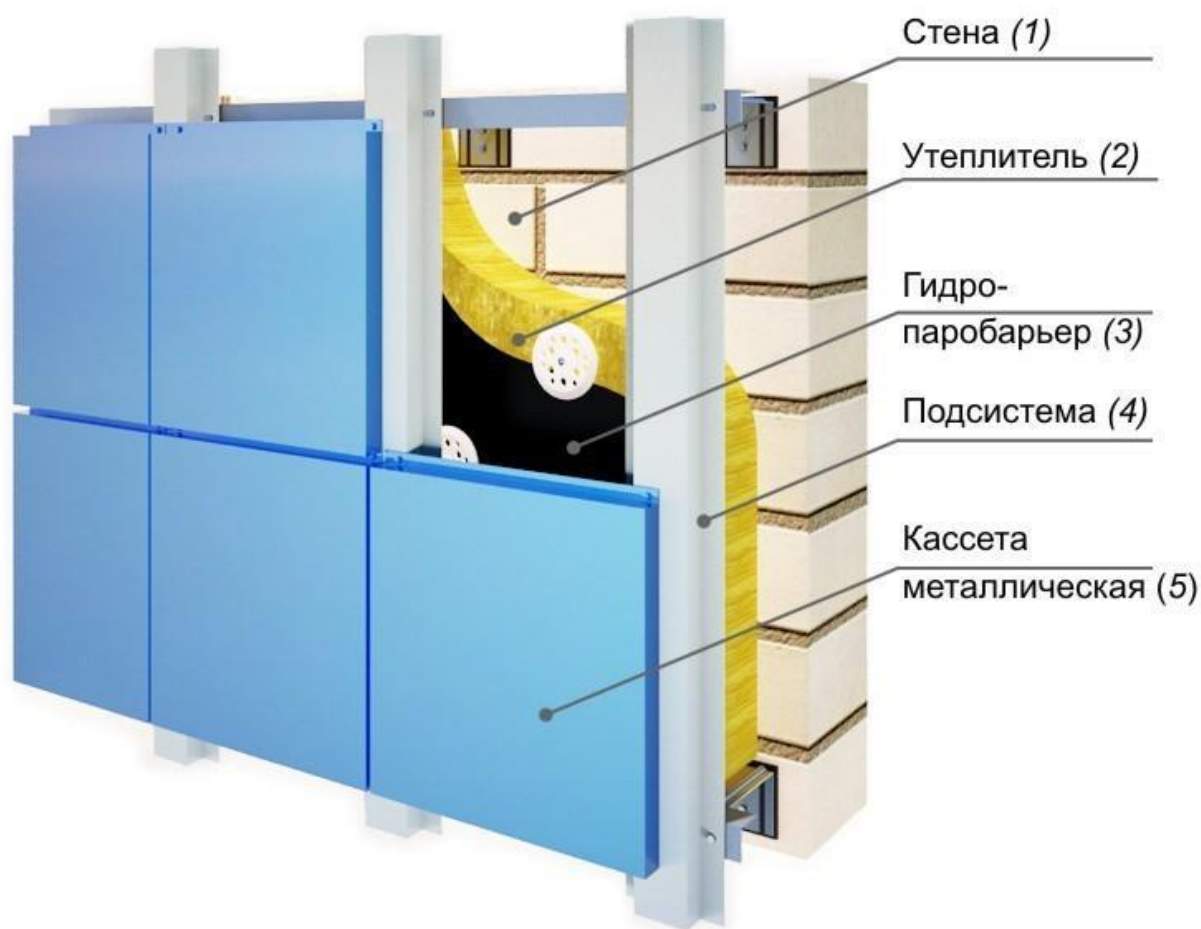


Рисунок 30 – Навесной вентилируемый фасад

Одним из главных преимуществ навесного фасада является надежная защита стен от осадков. Дополнительным преимуществом является то, что в качестве облицовки используют материалы не только устойчивые к внешним воздействиям,

но и красивые, выполняющие функцию наружной отделки: керамогранит, натуральный камень, композитные панели из алюминия или пластика, цементно-волокнистые плиты, тонированное стекло. Необходимо отметить, что керамогранит и натуральный камень долговечны, безремонтный срок службы фасада составляет до 50 лет.

Помимо защитно-декоративной функции, вентилируемый фасад выполняет обеспечивает требуемое по современным строительным нормам утепление стены. Благодаря утеплителю, уложенному под облицовку, теплопотери через стену сокращаются в 2-3 раза, отчего заметно снижаются расходы на обогрев здания. Кроме того, теплоизолированные стены создают в помещении благоприятный для человека микроклимат. Важно отметить, что вентилируемый фасад – это система наружного утепления, которая предпочтительнее системы внутреннего утепления. Размещенная снаружи теплоизоляция позволяет сократить количество циклов заморзания - оттаивания несущей стены, увеличивая срок службы последней. К тому же в этом случае не уменьшается полезная площадь здания. При устройстве воздушного фасада не требуется пароизоляция – обязательный атрибут систем внутреннего утепления, так как точка росы сдвигается из несущей стены в теплоизоляционный слой. Конструкция вентилируемого фасада способствует выводу из стены водяного пара, имеющегося внутри помещения и стремящегося из зоны тепла в зону холода – на улицу. Поскольку стена не отсыревает, ее тепловое сопротивление не уменьшается, не происходит образования плесени и грибков, которые в итоге могли бы привести к ее разрушению. При этом стоимость утеплителя составляет всего около 10% от стоимости конструкции фасада.

К достоинствам вентилируемых фасадов следует отнести возможность выравнивания стен, что довольно сложно сделать в случае штукатурных фасадов. Из-за отсутствия «мокрых» процессов, обязательных при штукатурных работах, вентилируемый фасад можно монтировать при минусовых температурах. Кроме того, в отличие от оштукатуренных фасадов, навесные не нужно будет со временем обновлять, таким образом, сокращаются расходы на эксплуатацию. Конструкция вен-

тилируемого фасада является ремонтпригодной: облицовочные плиты легко снимаются и устанавливаются обратно. Возможны комбинированные решения фасада: вентилируемый и оштукатуренный на одной стене – для повышения архитектурной привлекательности постройки.

Несущая основа вентилируемого фасада – это элементы, обеспечивающие крепление облицовочного материала к стене. В составе подконструкции – кронштейны, вертикальные или горизонтальные направляющие, которые монтируются на кронштейны, а также комплектующие, при помощи которых крепится облицовочный материал. Кронштейны проходят сквозь утеплитель, от их длины зависит размер воздушного зазора. Кронштейны могут быть нерегулируемые и регулируемые. В первом случае это изделия фиксированного размера, во втором – состоящие из двух частей, скрепленных через пазовое соединение, позволяющее регулировать длину кронштейна. Материал кронштейнов и направляющих – алюминий, оцинкованная или нержавеющая сталь. Предпочтительнее изделия из нержавеющей стали, так как в сравнении с другими они обладают меньшей теплопроводностью, более высокими долговечностью и огнестойкостью.

Поскольку вентилируемый фасад призван беречь тепло, проблема уменьшения теплопотерь через него – одна из основных. Единственным мостиком холода в конструкции является кронштейн – он всегда металлический а металл обладает высокой теплопроводностью. В определенной степени промерзание кронштейна устраняется благодаря утеплителю, «надетому» на него. Кроме того, между стеной и кронштейном обязательно должна быть морозостойкая прокладка – барьер на пути у холода. Также для уменьшения теплопроводности кронштейн может иметь перфорированную структуру, при этом его прочность сохраняется.

Между стеной и облицовочным материалом находится слой теплоизоляции, толщина которого определяется теплотехническим расчетом для конкретного здания. В расчете учитывается, в частности, материал несущей стены, предназначение здания и климатический регион, в котором оно находится. Обычно вентфасад утепляется в один слой – плитой требуемой толщины. Однослойное утепление позволяет экономить время и трудозатраты при монтаже. Плита крепится к стене не

только кронштейнами, но и, как правило, двумя грибковыми дюбелями с металлическим либо углепластиковым сердечником. Допускается применение только специальных дюбелей, прочность и надежность которых подтверждена соответствующими испытаниями. Выбор дюбеля во многом зависит от материала несущей стены. Например, ячеистый бетон (пенобетон, газобетон) и пустотелый кирпич обладают относительно низкими плотностью и прочностью, поэтому требуют использования более надежного, и, следовательно, дорогого крепежа.

Несмотря на то, что в вентфасаде плиты утеплителя не являются несущими, важна их прочность. Чем прочнее плиты, тем они удобнее в монтаже и надежнее в эксплуатации. В вентфасаде утеплитель находится в вертикальном положении, испытывая постоянные нагрузки от собственного веса. Недостаточная прочность приводит к тому, что у плит меняется геометрия (они «сползают» и становятся тоньше), из-за чего сокращается срок службы утеплителя и увеличиваются теплотери через вентфасад. Однако, обладая необходимой жесткостью, плиты должны быть эластичными, чтобы не допускать появления пустот и мостиков холода в местах стыков.

Необходимо отметить также, что в вентилируемом фасаде точка росы смещена из несущей стены в теплоизоляционный слой. К тому же утеплитель расположен снаружи, и на него может попадать атмосферная влага. Вместе с тем он не должен намокать, иначе ухудшатся его теплоизолирующие свойства. Решение проблемы предусмотрено, прежде всего, самой конструкцией навесного фасада. В зазоре между теплоизоляцией и облицовкой циркулирует воздушный поток, который создается за счет разности температур воздуха снаружи и внутри зазора. Разность температур приводит к разности давлений, и чем больше эта разность, тем выше скорость воздушного потока. Вместе с ним влага удаляется из утеплителя.

Среди требований к теплоизоляции — высокая паропроницаемость, необходимая для того, чтобы пар не задерживался в плитах. Утеплитель должен иметь низкое водопоглощение: если во время монтажа пошел дождь, вода должна не впитываться в плиту, а стекать с нее. В случае утеплителя с волокнистой структурой

поток воздуха, циркулирующий в вентиляционном зазоре, может вырывать волокна из плиты. Во избежание этого плита должна быть достаточно прочной на отрыв слоев. В противном случае плиты следует закрывать ветрозащитными мембранами с высокой паропроницающей способностью, которые фиксируются на стене тем же крепежом, что и утеплитель. Принципиальный момент: нужно использовать только качественные мембраны, поскольку их паропроницающая способность сохраняется на протяжении всего срока эксплуатации вентфасада, а у дешевой ветрозащиты поры могут быстро забиться пылью и льдом.

Современные требования к стенам по сопротивлению теплопередаче невозможно выполнить без использования теплоизоляционных материалов. В этом контексте вентилируемый фасад – перспективное решение проблемы, поскольку он дает возможность утеплить здание эффективными материалами и вместе с тем надежно защитить стены от осадков, а также придать им неповторимый внешний вид.

2.5.2. Система штукатурных фасадов

Штукатурный фасад представляет собой конструкцию, состоящую из теплоизоляции, клея, пластиковых дюбелей, армирующей стеклосетки и тонкослойной штукатурки. Основную роль в этой системе играет теплоизоляция. Как правило, в штукатурных фасадах используются минераловатные плиты. Устройство штукатурного фасада выглядит следующим образом. На подготовленную поверхность несущей или самонесущей стены наносится специальный клей. На него, с использованием специальных пластиковых тарельчатых дюбелей, в один слой крепится теплоизоляционный материал, на который наносится армирующая стеклосетка с клеевым раствором. По стеклосетке тонким слоем наносятся штукатурка, грунтовка и краска. Состав слоёв штукатурного фасада представлен на рисунке 31. Основные преимущества такой конструкции – небольшой вес, следовательно, экономия энергоресурсов достигается также во время транспортировки и монтажа.

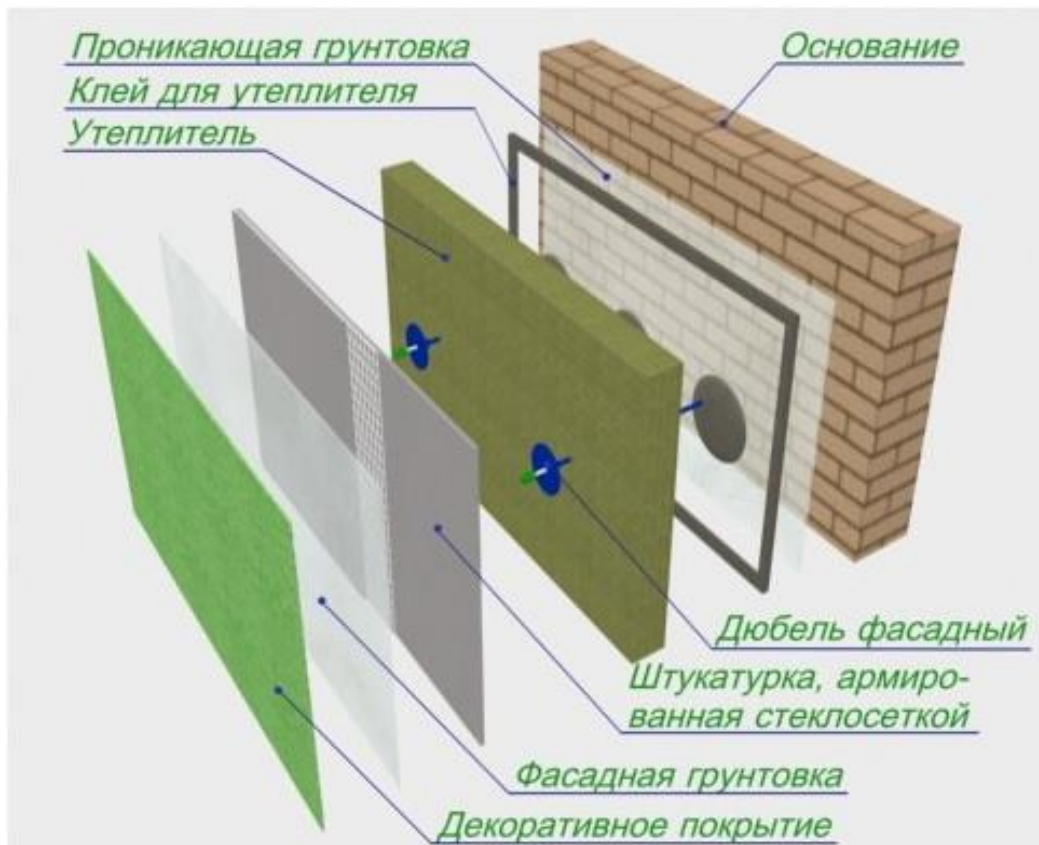


Рисунок 31 – Состав слоёв штукатурного фасада

Если конструкция крепится на клей и пластиковые дюбели к несущей или самонесущей стене, а основной элемент – теплоизоляция, то система должна быть легкой, чтобы выдерживать собственный вес. Следовательно, малый вес системы не будет нести дополнительную нагрузку на фундамент здания. Соответственно, в тех случаях, когда устройство штукатурного фасада закладывается в проект, легкость и простота системы позволяют изначально снизить затраты на строительство за счет снижения общего веса конструкций здания и уменьшения объемов земляных, бетонных и других работ. Особенно важным этот показатель становится при реконструкции зданий и сооружений. Даже минимальное увеличение веса конструкции, например, при восстановлении памятника старины, может иметь катастрофические последствия. Теплоизоляционные материалы из минеральной ваты обладают крайне низкой теплопроводностью, менее $0,038 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$. Плотное прилегание теплоизоляции к стене и прилегание других слоев «пирога» друг к другу значительно уменьшают возникновение мостиков холода, а значит «не выпускают»

тепло из сооружения. Ведь именно через ограждающие конструкции теряется большая часть тепла в традиционной для России слоистой кладке и даже в современных системах вентилируемых фасадов. Клей, армирующая сетка, шпатлевка и пластиковые дюбели тоже не обладают значительными теплопроводными свойствами. Следовательно, при применении теплоизоляции из минеральной ваты достигаются более высокие показатели энергоэффективности, обеспечивается требуемое сопротивление теплопередаче. Также плотное прилегание плит друг к другу позволяет свести к минимуму или даже исключить необходимость выравнивания поверхности под штукатурку.

Материал может укладываться на любую конструкцию фасада, что в сочетании с декоративными свойствами штукатурки снимает все ограничения для фантазии проектировщиков и архитекторов. Помимо декоративной функции (разнообразие расцветок и эффектов) штукатурка выполняет еще и защитную функцию — она предотвращает попадание влаги и ультрафиолетового излучения на теплоизоляционный слой.

При применении любой фасадной системы проектировщики, архитекторы и строители должны обращать внимание на показатель горючести материалов. Минеральная вата имеет самый низкий показатель горючести. Температура начала спекания волокон — более 1 000 °С. Еще один важный параметр — взаимодействие строительных материалов между собой. Ведь если в теплоизоляции, клее или армирующей стеклосетке содержится щелочь, то может произойти реакция, которая приведет к появлению пятен на стенах возведенного или вновь отремонтированного здания. Более того, со временем щелочь может разесть стеклосетку, что приведет к деформации системы. Очень важно, чтобы используемая теплоизоляция была химически нейтральна. При достижении этого параметра теплоизоляция отлично сочетается с кирпичом, бетоном, строительными растворами. Прочность и долговечность конструкции также является важной в данной конструкции. Материалы должны отвечать высоким стандартам по двум показателям — прочность на отрыв слоев и прочность на сжатие. Эти показатели должны устанавливаться при

проведении лабораторных испытаний, и только подтвержденные испытаниями материалы будут признаны качественными и смогут обеспечить защиту от порывов ветра и вандализма. При установке подобной системы «точка росы» сдвигается в теплоизоляционный слой, тем самым позволяя избежать промерзания стены и возникновения конденсата в помещении. При правильном устройстве и монтаже фасадной системы, когда каждый последующий слой более паропроницаем, утеплитель уложен в один слой и создает конструкцию требуемой толщины, показатели паропроницаемости очень высоки.

Естественно, что для сохранения теплоизолирующих свойств фасадная система должна быть сухой. Поэтому при выборе системы необходимо проверять показатели водопоглощения и не допускать намокания материала во время монтажа. Также система должна быть устойчива как к высоким температурам, так и к перепадам температуры, когда происходит замерзание/оттаивание конструкции. Это необходимо для обеспечения прочности фасадной системы.

Легкость ремонта и восстановления – также важный показатель. Подобные системы выигрывают по этому показателю по сравнению со слоистой кладкой, так как теплоизоляция находится снаружи и ее легко можно демонтировать и заменить на новую. Более того, при применении систем штукатурных фасадов происходит комплексная экономия средств. Затраты на строительные материалы и проведение строительных работ по сравнению со слоистой кладкой и вентилируемыми фасадами значительно ниже. Еще одно полезное свойство: штукатурные фасады в 1,5–2 раза повышают показатели звукоизоляции капитальных стен. Штукатурные фасады применяются не только для восстановления или реновации зданий, но и при строительстве нового гражданского и промышленного строительства. Традиционной популярностью штукатурные фасады пользуются при возведении нового многоэтажного домостроения. Также в структуре потребления значительную долю занимают промышленные и коммерческие объекты. Активно развивается и частное коттеджное строительство с применением штукатурных фасадных систем. При выборе системы особое внимание уделяется соответствию нормативным требованиям

для обеспечения требуемого энергосбережения, способности создавать оригинальную архитектуру и экономии средств.

2.5.3. Энергосберегающие полы

Одним из важных инженерных систем энергоэффективных зданий являются системы напольного отопления, которые называются «Теплый пол». Эти системы можно условно разделить на водяной и электрический в зависимости от вида теплоносителя. Широкий спектр применения получил электрический. Новейшие современные разработки фирм производителей в этом направлении позволяют применять любое напольное покрытие (рисунок 32).



Рисунок 32 – Тёплый пол

Современная пленка включает в себя лучевой обогрев, который работает на основе инфракрасных лучей. Проводниковые полосы расположены на расстоянии 13 миллиметров, что сводит к минимуму их потенциальный перегрев и делает обогрев безопасным для здоровья. Пленочные системы идеальны для помещений с деревянными полами или ламинатом. Часто преимущественное число фирм производителей выпускают в рулонном виде. Также его можно устанавливать под плитку. Его монтаж возможен, как на горизонтальной поверхности, так и на вертикальной.

Методика экономии электричества заложена в терморегулирующие элементы. Экономичность составляет около 40 % электрической энергии. К недостатку данных полов можно отнести невысокий срок службы (15 лет).

Инфракрасные напольные покрытия отличаются от традиционных миниматов и резистивных кабелей и имеют ряд преимуществ. Более чем 90% излучения энергосберегающего теплого пола дальнего инфракрасного диапазона (длина волны от 5 до 20 мкм) проходят сквозь напольное покрытие, нагревают не только помещение, но и предметы, и тело человека. Прогрев помещения получается равномерным не только благодаря излучению, но и благодаря вторичной конвекции.

Температура помещения важна для того, чтобы создать благоприятную атмосферу, уют и особый микроклимат. Человек должен чувствовать себя комфортно. Температура, при которой человек ощущает себя хорошо при использовании инфракрасного излучения ниже на 4-5 градусов, чем при использовании традиционных источников обогрева помещения. Именно в диапазоне инфракрасного излучения происходит самое интенсивное поглощение тепла. Кроме этого, теплый пол повышает концентрацию отрицательно заряженных ионов в помещении в 4 раза, что гораздо эффективнее, чем многочисленные аналоги – различные генераторы, современные сложные системы.

Еще один плюс – это отсутствие шума, запаха, вибрации, пыли при работе инфракрасного теплого пола. Вредное электромагнитное излучение минимально исходит от таких систем.

Электрический инфракрасный теплый пол можно установить без клея и стяжек. Такой вид обогрева отлично подходит в тех помещениях, где произведен косметический ремонт, потому что можно быстро установить под плитку, к примеру, и сразу же начать им пользоваться. Во время эксплуатации экономит около 20% электроэнергии (энергосберегающий и гораздо выгоднее резистивных кабелей и мини-матов). Вы можете также использовать программируемые терморегуляторы в процессе использования, которые еще сократят ваши затраты примерно на 25%.

Немаловажным плюсом установки является то, что термопленка подходит почти для всех напольных покрытий. Энергосберегающий теплый пол совместим

со многими видами покрытий (например, с ламинатом, ковровым покрытием, линолеумом, всеми видами керамической плитки и керамогранита). Он уникален еще и тем, что под ковровое покрытие, ламинат и линолеум он укладывается без стяжки и клея (так называемый «сухой монтаж»).

2.5.4. Энергосберегающие окна

Через окна, доля площади которых на фасадах жилых домов составляет порядка 20%, теряется значительное количество тепла, которое в общем балансе затрат на отопление здания составляет 30-40 и даже 50% $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ [88].

Производители современных конструкций из ПВХ-профиля, стеклопакета, дерева, алюминия обеспечивают максимальную герметичность, тепло и звукоизоляцию за счет повышения коэффициента сопротивления теплопередаче профиля и оконной коробки. Однако большая часть окна – это стеклопакет. Согласно требованиям московских городских строительных норм (МГСН) 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях», коэффициент сопротивления теплопередаче стеклопакета (R) должен быть не менее $0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. обычного однокамерного стеклопакета – $R = 0,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, двухкамерного – $0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. Применение в однокамерных стеклопакетах специального теплозащитного низко эмиссионного К-стекла позволяет обеспечить сопротивление теплопередаче на уровне $R = 0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$.

В настоящее время разработаны специальные, высокоэффективные теплозащитные стеклопакеты, которые позволяют повысить коэффициент сопротивления теплопередаче до 2 и более.

По данным исследований отечественных учёных, типовая 5-тиэтажка, спроектированная в 60-е годы, при -20°C в случае аварии на теплосетях полностью промерзает за 8 часов. Если выполнить остекление такого дома с применением низко эмиссионного стекла, то дом простоит без тепла и не промерзнет 72 часа [88].

Это стекло со специальным покрытием: твердым или мягким. Твердое покрытие отличает стойкость к любым климатическим воздействиям, и наносится оно в процессе производства стекла так называемым пиролитическим способом

или высокотемпературным пиролизом (раствор, который распыляется на стекло, выпаривается и на его поверхности остается прочное покрытие). Мягкое покрытие отличается меньшей стойкостью к атмосферным воздействиям, оно наносится в вакуумных камерах методом напыления. Принцип действия энергосберегающих окон представлен на рисунке 33.

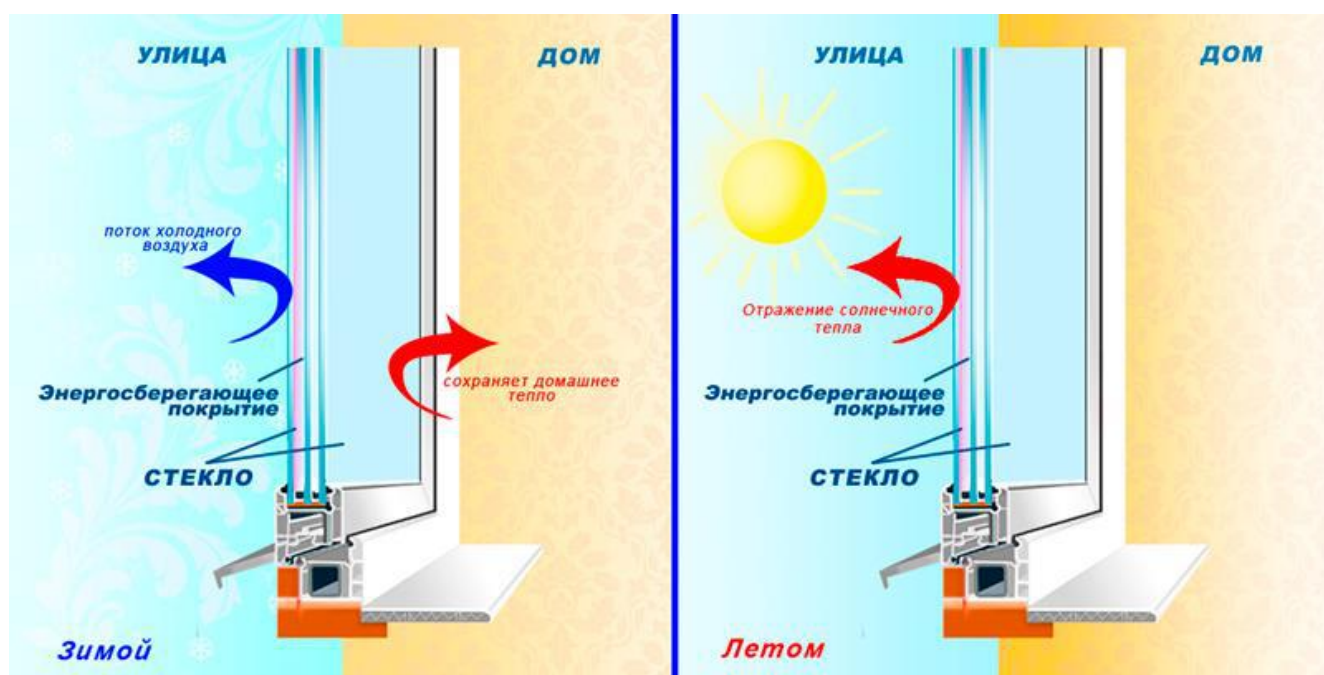


Рисунок 33 – Принцип действия энергосберегающего окна

Стекла с мягким напылением устанавливаются только внутри стеклопакета, с твердым – как внутри, так и снаружи. Стекло с покрытием существенно меньше излучает тепла, чем обычное, этим и объясняются его теплосберегающие свойства.

Потери тепла могут происходить и за счет конвекционного переноса (до 15%), который тем больше, чем больше ширина внутренней воздушной камеры. Это происходит и в двухкамерных стеклопакетах, если расстояние между стеклами превышает 16 мм. Оптимальное соотношение: 4x16x4x16x4 (4мм толщина стекла, 16 мм - воздушная камера). Заполнение инертными газами (криптоном или аргоном) в сочетании с применением низко эмиссионного стекла позволяет добиться высокой эффективности по теплосбережению. По оценке Московского научно-исследовательского института типового и экспериментального проектирования

(МНИИТЭП), существующий коэффициент сопротивления теплопередаче таких окон уже в самый ближайший период должен быть повышен до $0,8-1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, а в перспективе - до $1,5-2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Этого можно добиться за счет применения в двухкамерном стеклопакете двух низкоэмиссионных стекол, теплоизолирующих дистанционных рамок и заполнения его инертными газами, например, аргоном (рисунок 34).

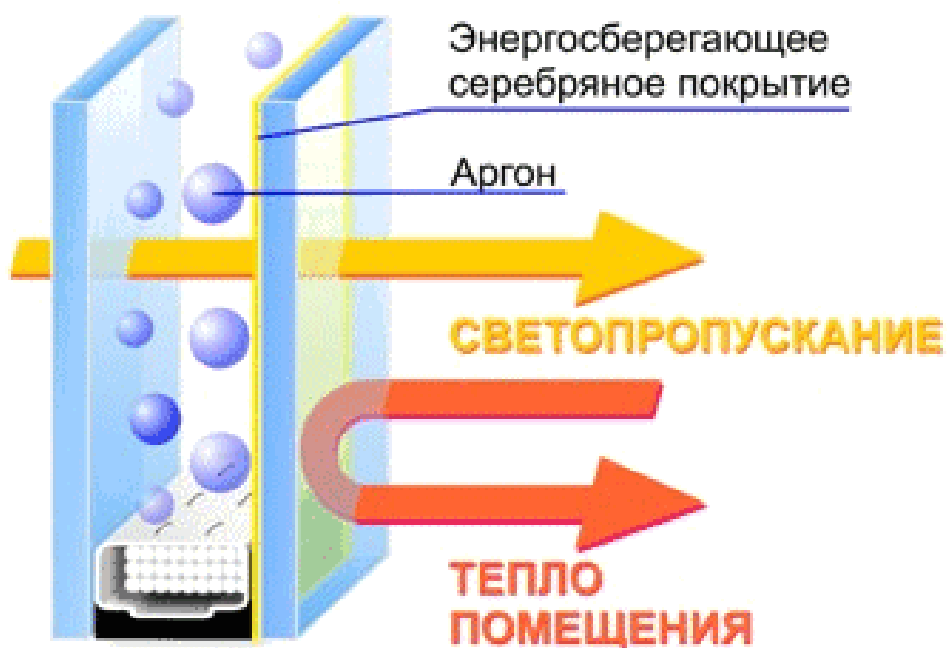


Рисунок 34 – Энергосберегающий стеклопакет, заполненный аргоном

Таким образом, применение энергосберегающих окон позволяет не только повысить тепловую защиту здания, но и улучшить микроклимат, т.к. специально покрытие способствует лучшему светопропусканию как летом, так и зимой, т.к. данные окна не замерзают. При этом необходимо выбирать окна с возможностью вентиляции посредством специальных устройств.

Авторы считают, что комплексное применение указанных факторов энергосбережения (энергосберегающие строительные материалы, изделия и конструкции, системы энергосберегающих фасадов, полов, окон) обеспечит высокую энергетическую эффективность зданий на всех этапах жизненного цикла.

РАЗДЕЛ 3. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

3.1. Рекуперация тепловой энергии

Применение современных, энергосберегающих окон, несет с собой и существенные проблемы. Причем это многоплановые проблемы, лежащие как в области охраны здоровья людей, находящихся в помещениях, оборудованных такими окнами, так и области сохранности самих зданий, в которых имеются такие окна. Кратко можно напомнить, что применение таких окон без сопряженных специальных мер по обеспечению контролируемой принудительной вентиляции ведет к изменению качественного состава воздуха в помещениях (снижается уровень кислорода, повышается содержание углекислого газа, радона и пр.), что отрицательно сказывается и на текущем самочувствии, и на общем состоянии здоровья людей. Кроме того, применение таких окон приводит, как правило, к росту влажности в помещениях, обуславливающей появление и развитие (в дальнейшем очень трудно удаляемой) плесени, т.е. колоний грибков, что имеет двойко проявляющиеся, отсроченные негативные последствия. Во-первых, некоторые виды плесневых грибков смертельно опасны для человека и, во-вторых, все виды плесневых грибков оказывают разрушительное воздействие на строительные конструкции зданий и сооружений. В Европе в связи с начавшимся, после замены ранее установленных окон на современные энергосберегающие, ускоренным процессом разрушения зданий, стоявших до этого столетия, даже сформировался термин «синдром больного здания» и в настоящее время запрещена установка таких окон без выполнения специальных мер, обеспечивающих необходимую вентиляцию [15].

Обострению ситуации в части необходимости использования рекуператоров на территории СНГ способствует как стремительно дорожающие энергоносители (что объективно подталкивает людей искать пути снижения расхода энергии на

поддержание комфортной температуры в помещениях), так и призывы руководителей разного уровня, от самого высокого до низового, в массовом порядке заменять ранее установленные окна на современные [15].

Рекуператор тепла вентиляционного воздуха – это устройство, обязательно имеющее в своем составе теплообменный элемент, имеющее, как правило, вентиляторы (обычно - два) для прокачивания через этот теплообменник потоков вытяжного, удаляемого из помещения, и свежего, подаваемого в помещение воздуха и, зачастую, оснащенное различными дополнительными приспособлениями, призванными автоматизировать работу устройства, улучшить качество подаваемого воздуха (или хотя бы, предотвратить его ухудшение) и т.д. В таком устройстве тепло от воздуха, который должен быть удален из помещения, отдается воздуху, поступающему в помещение (а летом наоборот, поступающий воздух охлаждается более прохладным удаляемым воздухом, если, конечно, помещение оснащено кондиционером), т.е. практически даром осуществляется тепловая подготовка воздуха перед подачей его в помещение. Принципиальная схема работы рекуператора изображена на рисунке 34.

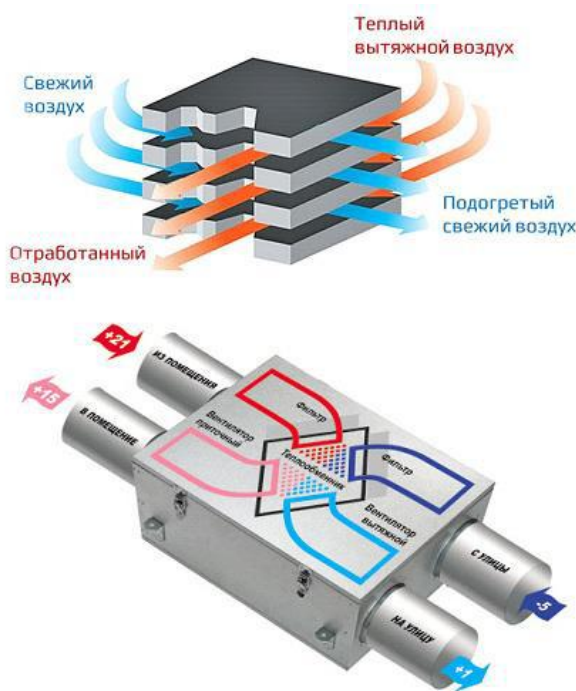


Рисунок 34 – Принципиальная схема работы рекуператора

Таким образом, рекуператор позволяет обеспечивать помещение тёплым и свежим воздухом, т.к. воздух, проходя через рекуператор в помещение, одновременно подвергается тепловой обработке.

Рекуператоры тепла вентиляционного воздуха использовались и раньше, но в весьма ограниченных количествах и исключительно для тепловой обработки общего потока воздуха, поступающего/удаляемого из здания целиком (т.н. центральные рекуператоры). Необходимость применения децентрализованных рекуператоров возникла относительно недавно и полностью обусловлена применением в зданиях современных энергосберегающих окон. Применение таких окон, особенно в ранее построенных зданиях (впрочем, и в строящихся в настоящее время зданиях зачастую возникают те же проблемы), приводит к полному нарушению вентиляции помещений, а центральной вентиляции, обеспечивающей возможность применения центральных рекуператоров, такие здания либо не имеют, либо ею по ряду причин не целесообразно пользоваться. Столкнувшись с этим, люди, порой даже не осознавая причин повышенной утомляемости, снижения работоспособности и других симптомов недомогания, формулируют свое видение проблемы очень просто - «в помещении душно», и открывают (приоткрывают) окна, тем самым, сводя практически на нет их энергосберегающую функцию. Единственный выход из положения, который видится на сегодня, состоит в применении децентрализованных рекуператоров тепла вентиляционного воздуха. Такие рекуператоры, будучи установлены в каждом помещении, позволяют, во-первых, вентилировать только те помещения, которые в этом объективно нуждаются, т.е., например, те, в которых находятся люди (что уже является энергосберегающим мероприятием), во-вторых, вентилировать контролированно, т.к. речь идет все же о принудительной вентиляции, и, самое главное, при таком вентилировании удастся сохранить почти в полном объеме энергосбережение современных окон. Правда, все же «почти в полном», т.к. часть тепловой энергии неизбежно будет уходить с вытяжным воздухом ввиду того, что на сегодня не существует (да и не может быть создано в принципе) устройство, обеспечивающее 100% рекуперацию [15].

3.2. Использование возобновляемых источников энергии. Тепловые насосы

Инженерным методом повышения энергетической эффективности зданий является использование тепловых насосов. Тепловой насос – устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Термодинамически тепловой насос аналогичен холодильной машине. Однако если в холодильной машине основной целью является производство холода путём отбора теплоты из какого-либо объёма испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе наоборот. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель – теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Принцип работы теплового насоса представлен на рисунке 35.

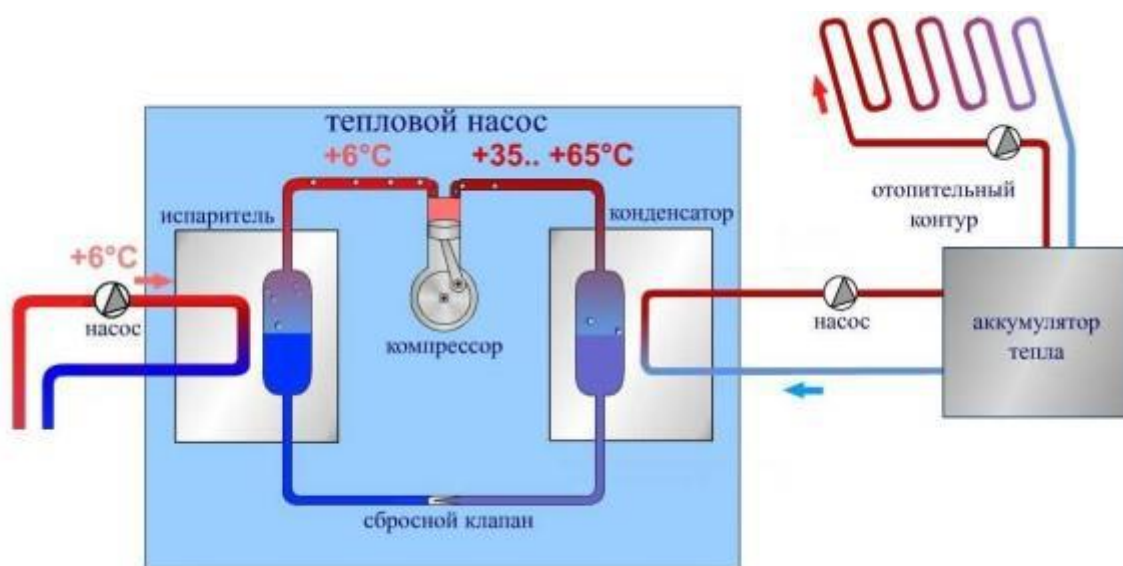


Рисунок 35 – Принцип работы теплового насоса

В зависимости от принципа работы тепловые насосы подразделяются на компрессионные и абсорбционные. Компрессионные тепловые насосы всегда приводятся в действие с помощью механической энергии (электроэнергии), в то время как абсорбционные тепловые насосы могут также использовать тепло в качестве источника энергии (с помощью электроэнергии или топлива).

В зависимости от источника отбора тепла тепловые насосы подразделяются на:

1) Геотермальные (используют тепло земли, наземных либо подземных грунтовых вод):

а) замкнутого типа:

- горизонтальные (коллектор размещается кольцами или извилисто в горизонтальных траншеях ниже глубины промерзания грунта (обычно от 1,20 м и более). Такой способ является наиболее экономически эффективным для жилых объектов при условии отсутствия дефицита земельной площади под контур);

- вертикальные (коллектор размещается вертикально в скважины глубиной до 200 м. Этот способ применяется в случаях, когда площадь земельного участка не позволяет разместить контур горизонтально или существует угроза повреждения ландшафта);

- водные (коллектор размещается извилисто либо кольцами в водоеме (озере, пруду, реке) ниже глубины промерзания. Это наиболее дешевый вариант, но есть требования по минимальной глубине и объёму воды в водоеме для конкретного региона).

б) открытого типа: подобная система использует в качестве теплообменной жидкости воду, циркулирующую непосредственно через систему геотермального теплового насоса в рамках открытого цикла, то есть вода после прохождения по системе возвращается в землю. Этот вариант возможно реализовать на практике лишь при наличии достаточного количества относительно чистой воды и при условии, что такой способ использования грунтовых вод не запрещён законодательством.

2) Воздушные (источником отбора тепла является воздух).

3) Использующие производное (вторичное) тепло (например, тепло трубопровода центрального отопления). Подобный вариант является наиболее целесообразным для промышленных объектов, где есть источники паразитного тепла, которое требует утилизации.

По виду теплоносителя во входном и выходном контурах насосы делят на шесть типов: «грунт – вода», «вода – вода», «воздух – вода», «грунт – воздух», «вода – воздух», «воздух – воздух». Эффективность и выбор определённого источника тепловой энергии сильно зависит от климатических условий, особенно, если источником отбора тепла является атмосферный воздух. Этот тип более известен в виде кондиционера. Для северных стран наиболее актуален именно обогрев зимой. Системы «воздух-воздух» используются и зимой при температурах до минус 25 градусов, некоторые модели продолжают работать до –40 градусов. Но их эффективность резко падает. При более сильных морозах нужно дополнительное отопление. Отбор тепла от горной породы. Скальная порода требует бурения скважины на достаточную глубину (100 –200 метров) или нескольких таких скважин. В скважину опускается U-образный груз с двумя пластиковыми трубками, составляющими контур. Трубки заполняются антифризом. По экологическим соображениям это 30 % раствор этилового спирта. Скважина заполняется грунтовыми водами естественным путём, и вода проводит тепло от камня к теплоносителю. При недостаточной длине скважины или попытке получить от грунта сверхрасчётную мощность, эта вода и даже антифриз могут замёрзнуть что и ограничивает максимальную тепловую мощность таких систем. Именно температура возвращаемого антифриза и служит одним из показателей для схемы автоматики. Ориентировочно на 1 погонный метр скважины приходится 50-60 Вт тепловой мощности. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходима скважина глубиной около 170 м. Нецелесообразно бурить глубже 200 метров, дешевле сделать несколько скважин меньшей глубины через 10 – 20 метров друг от друга. Даже для маленького дома в 110 – 120 кв.м. при небольшом энергопотреблении срок окупаемости 10 – 15 лет. Почти все установки работают и летом, при

этом тепло (солнечная энергия) отбирается из помещения и рассеивается в породе или грунтовых водах. В скандинавских странах со скальным грунтом гранит выполняет роль массивного радиатора, получающего тепло летом/днём и рассеивающего его обратно зимой/ночью. Также тепло постоянно приходит из недр Земли и от грунтовых вод.

Самые эффективные, но и самые дорогие схемы предусматривают отбор тепла от грунта, чья температура не меняется в течение года уже на глубине нескольких метров, что делает установку практически независимой от погоды. По данным 2006 года в Швеции полмиллиона установок, в Финляндии 50 000, в Норвегии устанавливалось в год 70 000. При использовании в качестве источника тепла энергии грунта трубопровод, в котором циркулирует антифриз, зарывают в землю на 30-50 см ниже уровня промерзания грунта в данном регионе. На практике 0,7 – 1,2 метра. Минимальное рекомендуемое производителями расстояние между трубами коллектора – 1,5 метра, минимум – 1,2. Здесь не требуется бурение, но требуются более обширные земельные работы на большой площади, и трубопровод более подвержен риску повреждения. Эффективность такая же, как при отборе тепла из скважины. Специальной подготовки почвы не требуется. Но желательно использовать участок с влажным грунтом, если же он сухой, контур надо сделать длиннее. Ориентировочное значение тепловой мощности, приходящейся на 1 м трубопровода: в глине – 50-60 Вт, в песке – 30-40 Вт для умеренных широт, на севере значения меньше. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходим земляной контур длиной 350 – 450 м, для укладки которого потребуется участок земли площадью около 400 м² (20x20 м). При правильном расчёте контур мало влияет на зелёные насаждения [88].

Несмотря на доказанную энергоэффективность, в России, к сожалению, тепловые насосы распространены мало, т.к. они имеют высокую стоимость как производства, так и монтажа, и обслуживания вследствие импортного производства. Другой причиной является холодный климат, из-за которого необходимым становится устраивать значительные и дорогостоящие тепловые контуры.

3.3. Приборы для учета расхода энергии. Компьютерное управление энергетическими системами здания. «Умные дома»

Использование концепции «Интеллектуального здания» (ИЗ) позволяет за счет комплексной интеграции достигнуть экономии 10-15% по сравнению с отдельными системами. Потребление энергии, воды, газа, тепла сокращается приблизительно на 30%. Соответственно, снижаются выбросы в окружающую среду и затраты на их утилизацию [88]. В свою очередь, применение современных энергосберегающих технологий позволяет снизить подводимые мощности и ресурсы, а значит, дает возможность применять более дешевые коммуникации. Так, например, подсчеты показывают, что даже при российских тарифах на электроэнергию установка системы вентиляции и кондиционирования с рекуперацией тепла в офисно-жилищном комплексе средних размеров позволяет экономить на электроэнергии до нескольких тысяч долларов в год. При этом, расходы на оборудование окупаются примерно через полгода. Стоимость эксплуатации «интеллектуального здания» на протяжении его жизненного цикла оказывается существенно ниже, чем при традиционных решениях. Все эти факторы обеспечивают как высокую потребительскую привлекательность, так и инвестиционную, на чем стоит остановиться отдельно.

Вложения в «интеллектуальное здание» по сравнению с традиционным оснащением зданий гораздо надежнее за счет того, что применение концепции «интеллектуального здания» делает более устойчивыми и долговечными все системы благодаря оптимизации связей между ними. Это, в свою очередь, снимает возможные конфликты между системами, увеличивает срок службы всего здания, снижая риск для инвесторов проекта.

Внедрение инновационных энергоэффективных технологий в строительстве и переоснащении зданий является одной из первоочередных задач Правительства. Федеральный закон № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Рос-

сийской Федерации» от 23 ноября 2009 г. определяет следующее направление развития: энергоэффективность зданий должна повышаться. А этого можно достичь с использованием современных систем автоматизации и диспетчеризации. Профессионалы с этим согласны: «наиболее эффективно экономить энергию не за счет повышения теплозащиты ограждающих конструкций, а за счет автоматизации и интеллектуализации систем теплоснабжения и климатизации зданий, использования нетрадиционной энергетики и вторичных энергетических ресурсов».

Меняется и подход к проектированию зданий. Например, в распоряжении первого заместителя Мэра Москвы В.И. Ресина от 14 апреля 2010 г. № 25-РЗМ «О мерах по развитию энергосберегающих технологий на основе применения автоматизированных систем управления внутреннего освещения (АСУВО)» прямо указывается, что Москомархитектура не должна согласовывать и утверждать задания на проектирование типовых зданий и сооружений по городскому заказу, не предусматривающих разработку подраздела «Автоматизированные системы управления внутренним освещением (АСУВО)». А Москомэкспертиза не должна выдавать положительные заключения на проектную документацию по объектам, строящимся за счет средств бюджета города Москвы, без разработки подраздела «АСУВО» и без применения светодиодных домовых указателей в разделе «Электроосвещение». Вскоре подобные требования могут коснуться и других инженерных систем.

Современная строительная отрасль возрождается по всем направлениям. Растет интерес к современным техническим системам зданий и домов. Ожидается, что в 25% проектируемых и строящихся многофункциональных комплексах будут использованы технологии «интеллектуального здания». Также ожидается увеличение темпов роста в малоэтажном и загородном строительстве, затем последует развитие и основного сектора ЖКХ - многоквартирных домов.

Преимущества использования автоматизированных систем управления зданиями (АСУЗ) можно проиллюстрировать на примерах. Система видеонаблюдения повышает безопасность здания, как для бизнеса, так и для работников. Система защиты от протечек приводит к меньшему риску аварий. Автоматизация системы

вентиляции и кондиционирования – к большому комфорту, особенно при неблагоприятных погодных условиях. Управление освещением позволяет экономить ресурсы. Каждая инженерная система отвечает за определенные функции и обеспечивает более эффективное использование всех коммуникаций здания. Объединение управления этими системами приведет к проявлению синергии - возрастанию эффективности деятельности в результате соединения, интеграции, слияния отдельных частей в единый комплекс за счет системного эффекта с одновременным повышением безопасности, улучшением комфорта и большим ресурсосбережением. Кроме этого, уменьшаются затраты на построение такой системы: она становится более мощной, а стоит меньше, чем десяток отдельных систем управления.

Стоимость внедрения АСУЗ начинается от 1% стоимости здания. Например, именно столько было «потрачено» на автоматику конькобежного центра в Крылатском для обеспечения основных инженерных систем Дворца системой управления и контроля, без которой он не смог бы функционировать на современном уровне. Оценить затраты помогает простая формула $100-10-1$, где 100 – это стоимость «коробки» в процентах, 10 - это стоимость систем инженерии и жизнеобеспечения, а 1 - стоимость всей автоматики. Разумеется, это примерное соотношение, но оно позволяет понять простую закономерность, что при повышении в здании инженерной составляющей неизбежно следует предусмотреть дополнительные расходы на АСУЗ. Стоит заметить также, что уровень относительных затрат на автоматику уменьшается с увеличением площади здания или дома. Но отсюда не следует вывод, что АСУЗ целесообразны только для «интеллектуального здания». Все зависит от выбираемой заказчиком концепции.

Возврат инвестиций – самый важный момент при принятии решения об автоматизации здания. Для ответственных проектов, когда применение технологии «умного дома» обязательно, оценивать только окупаемость не всегда корректно. Во всех других случаях проводить расчеты необходимо в первую очередь. В настоящее время, с учетом стоимости ресурсов и рабочей силы средний срок окупаемости «умных» решений составляет 5-7 лет. Однако, есть предложения и на более

короткие сроки, например, 1-3 года. Самым приемлемым для инвестора будет параметр эффективности вложений в процентах годовых, что позволит оценить, стоит ли вкладывать средства в «интеллектуальное здание» или можно обойтись строительством обычного здания. Для его расчета необходимо оценить всю сумму экономии энергоресурсов, трудозатрат персонала и комплектующих на обслуживание инженерных систем здания, которая обеспечивается АСУЗ при эксплуатации за период, больший срока окупаемости, вычесть расходы на разработку и создание АСУЗ и привести к относительным процентам годовых, делением на количество лет и общую стоимость АСУЗ. Показатель 10-20% можно считаться средним.

В недвижимости также важно быть в курсе актуальных трендов и следовать им. Так, например, тренд АСУЗ для частной недвижимости – поставка почти готовых решений «из коробки» и активное предложение комплексных решений эконом – класса. Ожидается существенный рост спроса на системы с локальной автоматикой для различных функций, удобных и выгодных пользователям. Развитию рынка будет способствовать и конкуренция. Европейские и китайские компании, понимая перспективность и емкость сегмента российского «умного» строительства, начинают свое активное продвижение. Причем, это в большей степени касается средних компаний, ведь крупные мировые производители уже давно представлены на отечественном рынке. Важно, что и российские компании предлагают свои новые разработки: инновационных пока не так много, но все они технически интересны и коммерчески перспективны не только для России и СНГ.

Можно считать современным трендом и повышение интереса к «зеленым» и энергоэффективным зданиям. В мире уже накоплен опыт строительства, сертификации и эксплуатации таких зданий. Очевидно, что только в комплексе с системами автоматизации и управления, такие проекты становятся целесообразными. Российский опыт скромнее, но даже первые отечественные проекты привлекают повышенное внимание западных инвесторов. Строительство объектов для XXVII Всемирной летней Универсиады 2013 г. в г. Казани, XXII Олимпийских зимних игр 2014 г. в г. Сочи и Чемпионата Мира по Футболу 2018 г. также способствует внедрению экологических и современных технических решений. В России уже действует Совет по

экологическому строительству и ожидается разработка государственных нормативных документов, которые поддержат требования необходимости комплексного развития Hi-Tech-экологичного строительства.

Малоэтажное строительство при поддержке Фондов РЖС и Содействия реформированию ЖКХ получило пилотные проекты умных домов в целом ряде регионов. В Казани, Ростовской и Челябинской областях, Барнауле, Белгороде, Якутске, Томске, Уфе, Калуге такие дома уже приняты в эксплуатацию. В Москве, Санкт-Петербурге, Тюмени они строятся. Все эти проекты должны не только подтвердить правильность выбранных решений, но и придать новый импульс развитию отрасли в целом. Интересно отметить, что большая часть инновационного оборудования, используемого в этих проектах, отечественного производства.

Стоит заметить, что за последнее время практический интерес к автоматизации зданий существенно повысился не только в Москве и Санкт-Петербурге, но и в регионах. Это значит, что меняются требования заказчиков, а главное растет их понимание перспективности вложений и необходимости строить на самом современном уровне, чтобы соответствовать запросам рынка. Возникает практическая необходимость, в первую очередь, в ограничении подводимых мощностей и потребления электричества, в экономии ресурсов: на освещение, отопление, в комплексном применении тепловых насосов и солнечных батарей в самых разных зданиях. На смену подходу «умный дом – дорогая игрушка» приходит понимание, особенно средним классом домовладельцев, целесообразности и реальности внедрения систем АСУЗ под их конкретные требования, включая и доступные по стоимости решения.

Таким образом, система интеллектуализации здания способствует не только его энергоэффективности, но и комфортности, безопасности и надёжности. Однако, по мнению авторов, существенным препятствием к массовому внедрению данных систем является их импортное производство с установкой и эксплуатацией, поэтому в России данные проекты являются пока единичными, что ставит научную задачу по их разработке и отечественному производству и обслуживанию.

РАЗДЕЛ 4. МИКРОКЛИМАТ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ

4.1. Параметры комфортного микроклимата

Большую часть своего времени люди находятся в зданиях, следовательно, здания должны быть не только энергоэффективными, но комфортными, безопасными и надёжными. Авторы считают, что комфортный микроклимат в зданиях и помещениях и энергетическая эффективность взаимосвязаны, так как значительная часть энергоресурсов тратится на поддержание в здании необходимого уровня температуры путём отопления или охлаждения, поддержание воздухообмена. Согласно Федеральному закону № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», вступившему в силу с 1 июля 2010 года, «микроклимат помещения – климатические условия внутренней среды помещения, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха». Показатели микроклимата входят в показатели безопасных условий для проживания и пребывания человека в зданиях и сооружениях.

Согласно ст. 20 закона № 384-ФЗ, в проектной документации зданий и сооружений должно быть предусмотрено оборудование зданий и сооружений системой вентиляции. В проектной документации зданий и сооружений может быть предусмотрено оборудование помещений системой кондиционирования воздуха. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха должны обеспечивать подачу в помещения воздуха с содержанием вредных веществ, не превышающим предельно допустимых концентраций для таких помещений или для рабочей зоны производственных помещений. В проектной документации здания и сооружения с помещениями с пребыванием людей должны быть предусмотрены меры по:

- 1) ограничению проникновения в помещения пыли, влаги, вредных и неприятно пахнущих веществ из атмосферного воздуха;

2) обеспечению воздухообмена, достаточного для своевременного удаления вредных веществ из воздуха и поддержания химического состава воздуха в пропорциях, благоприятных для жизнедеятельности человека;

3) предотвращению проникновения в помещения с постоянным пребыванием людей вредных и неприятно пахнущих веществ из трубопроводов систем и устройств канализации, отопления, вентиляции, кондиционирования, из воздухопроводов и технологических трубопроводов, а также выхлопных газов из встроенных автомобильных стоянок;

4) предотвращению проникновения почвенных газов (радона, метана) в помещения, если в процессе инженерных изысканий обнаружено их наличие на территории, на которой будут осуществляться строительство и эксплуатация здания или сооружения.

Понятие комфортных условий проживания включает:

- оптимальный для человека тепловой режим помещения (оптимальную температуру и влажность воздуха);
- оптимальный состав воздуха в помещении (наличие необходимого количества кислорода, отсутствие вредных для здоровья человека примесей);
- акустический комфорт и др.

Воздушная среда закрытого помещения должна удовлетворять ряду требований, которые предъявляются людьми, находящимися в данном помещении и размещённым в помещении оборудованием или хранящимся имуществом. Первую группу требований принято называть санитарно-гигиеническими, а вторую – технологическими. Хотя все факторы воздушной среды действуют на людей и оборудование совместно, комплексно, требования к воздуху закрытых помещений можно подразделить на следующие группы:

а) требования к газовому составу воздуха – регламентируют различные отклонения в процентном содержании основных газов, составляющих воздух;

б) требования к чистоте воздуха – ограничивают содержание в воздухе различных посторонних примесей; такими примесями могут быть твёрдые или жидкие частички (пыль, дым, туман), газы, пары и живые микроорганизмы (бактерии);

в) требования к метеорологическим параметрам воздуха (температура, влажность, скорость движения).

Факторами, формирующими комфортную среду, являются:

- относительная влажность воздуха;
- температура воздуха в помещении;
- температура поверхности ограждающих конструкций;
- теплонакопление ограждающих конструкций;
- температура пола;
- качество воздуха, особенно содержание CO₂;
- движение (скорость потока воздуха);
- освещение, освещённость;
- шумозащита;
- одежда человека;
- вид деятельности.

Таким образом, понятия «микроклимат зданий» и «комфортные условия пребывания человека в зданиях» различаются между собой и дополняют друг друга.

Большую роль для комфортного микроклимата играет теплонакопительная способность конструкций здания. Летом конструкции в течение дня накапливают часть тепловой энергии и отдают её вечером и в ночные часы в охлаждающийся воздух помещения. Зимой конструкции, ограждающие помещение в период работы отопления, накапливают тепло и могут отдавать его в воздух помещения при отключении отопления. Кроме того, за счёт теплонакопления достигается то, что вблизи стен не возникает ощущение сквозняков и стена может излучать тепло. Таким образом, улучшается самочувствие вблизи стены. Чувствует ли себя человек комфортно в помещении, зависит, наряду с перечисленными факторами, также и от теплового излучения поверхностей ограждающих это помещение конструкций. Человек чувствует себя комфортно в том случае, если внутренние поверхности стен зимой не более, чем на 3°С ниже, а летом не более, чем на 3°С выше температуры

воздуха в помещении. Температура поверхностей стен зависит от их сопротивления теплопередаче. График распределения комфортных температур в помещении представлен на рисунке 36.

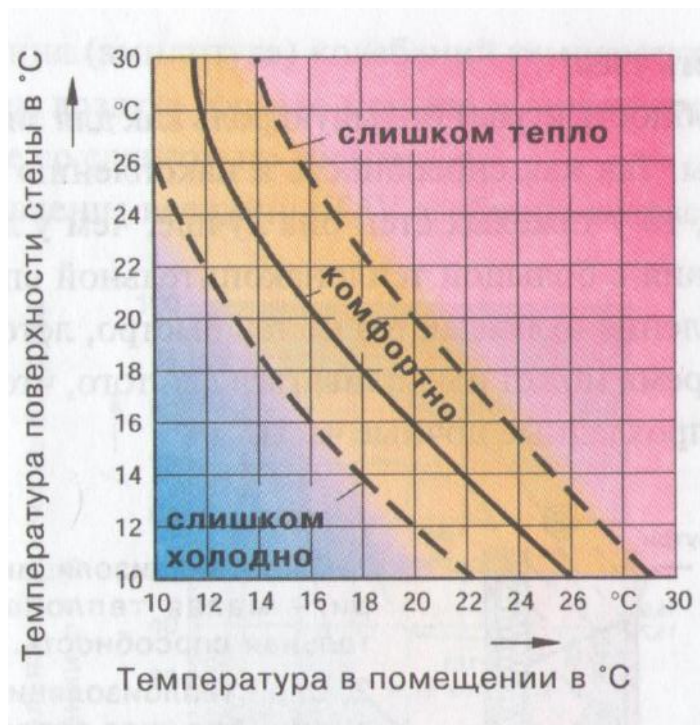


Рисунок 36 – График распределения комфортных температур в помещении [20]

Для полов, вследствие непосредственного контакта с телом человека через подошвы ног, справедливы другие значения. Для того, чтобы не отбирать у человека слишком много тепла, температура поверхности пола не должна быть ниже 15-20 °C. Здесь играет роль также продолжительность пребывания человека в помещении. Опритальной и приятной ощущает человек поверхность пола с температурой от 22 °C до 24 °C., поэтому тёплые полы не должны быть нагреты температурой выше 25-30 °C.

Согласно рисунка 37 температура пола 15 °C ощущается ещё приемлемой, если пребывание человека в помещении длится до 3 часов. Затем пол кажется уже прохладным, а через 3,8 часа – холодным.

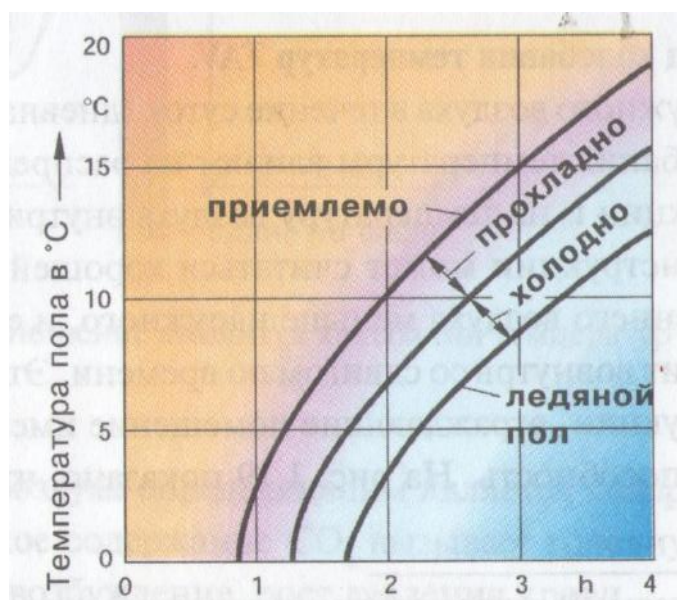


Рисунок 37 – График распределения комфортных температур пола в зависимости от времени пребывания человека в помещении [20]

На рисунке 38 показана зависимость комфортности воздуха от его относительной влажности. Человек чувствует себя некомфортно, когда температура воздуха падает ниже -17°C и, соответственно, когда она возрастает выше 26°C , независимо от относительной влажности воздуха.

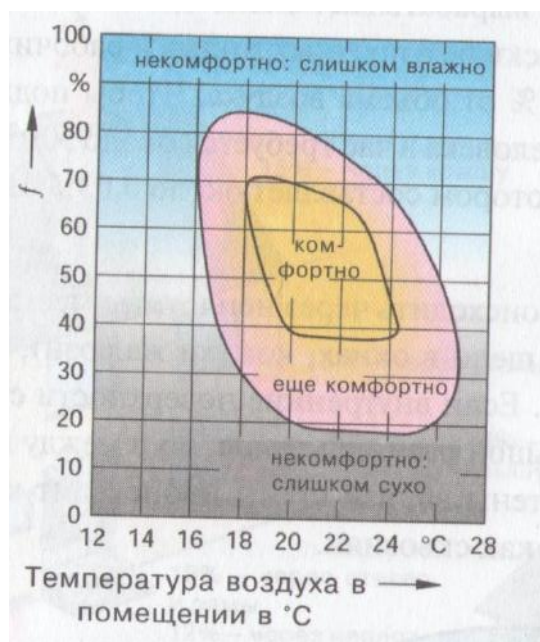


Рисунок 38 – Относительная влажность воздуха и ощущение комфорта [20]

Далее следует отметить, что с увеличением температуры воздуха человек ощущает себя комфортно всё меньшие значения относительной влажности.

Для качества воздуха определяющим значением является содержание углекислого газа (CO_2). Высокое содержание CO_2 вызывает головную боль, повышение давления, головокружение. Очень высокие концентрации CO_2 , около 10%, которые встречаются в погребах для брожения, ведут к смерти от отравления. Человек вдыхает в час около 500 л воздуха с содержанием CO_2 около 0,03% от объёма, а выдыхает этот же воздух уже с содержанием CO_2 около 4% от объёма. При этом он потребляет в час около 33 л O_2 и вырабатывает около 25 л CO_2 . Количество CO_2 в гигиенически безупречных жилых и рабочих помещениях должно не превышать 0,1% от объёма воздуха. Чтобы поддерживать это величину, в помещении на человека требуется в час около 30 м³ наружного воздуха, содержание CO_2 в котором составляет около 0,03% от объёма.

Перенос тепла и массы из помещений зданий наружу осуществляется при постоянных параметрах внутреннего воздуха и переменных – наружного. Параметры внутреннего микроклимата воздуха, создающие комфортные условия пребывания человека в помещении, являются исходными данными для расчета тепло- и массо-переноса через оболочку здания [110]. Таким образом, наружные ограждающие конструкции зданий должны не только обеспечивать его надёжность, безопасность, долговечность, ремонтпригодность и энергоэффективность, но и обеспечивать тепловой и воздушный комфорт (совместно с системами отопления и вентиляции), не допускать конденсации водных паров внутри конструкций или на внутренних поверхностях, обеспечивать в помещениях необходимый световой комфорт. При этом исходными данными для теплотехнического расчёта и выбора наружных ограждающих конструкций являются параметры наружного воздуха и требования, предъявляемые к микроклимату помещений, изложенные в нормативных документах. Задача оптимизации затрат энергии на климатизацию помещения подробно рассмотрена Ю.А. Табунчиковым в [138], где процесс установления теплового режима помещения описывается уравнением теплового баланса внутреннего воздуха и системой уравнений, описывающих теплопередачу через ограждающие конструкции.

Подробный анализ параметров комфортного микроклимата, воздухообмена и их взаимосвязи с наружным климатом и движением воздушных масс изложен в трудах В.К. Савина [110, 111], который составил ряд уравнений для расчёта воздухообмена при естественной и искусственной вентиляции помещений и воздухопроницаемости ограждающих конструкций зданий, а также схемы вентиляции помещений зданий в зависимости от этажности и разности температур. В его исследовании указано, что на тепловой комфорт в помещена влияют перепады температур как в горизонтальном сечении рабочей зоны, так и по вертикали. Температурные перепады не должны превышать $0,2-0,5^{\circ}\text{C}/\text{м}$. При больших градиентах температур ногам человека становится холодно, а голове - жарко, и он может заболеть. При комфортных условиях тело человека теряет излучением 45-45%. Такой теплообмен возможен, если температуры внутренних поверхностей стен отличаются от температуры внутреннего воздуха несколько градусов ($4-6^{\circ}\text{C}$). Температура внутренних поверхностей стен t_e , как правило, имеет более низкие температуры. В этом случае комфортные условия достигаются путем расположения нагревательных приборов под окнами [110111].

Работоспособность и здоровье человека зависят не только от теплового режима жилища, но и от состояния воздушной среды в нем. Воздушный комфорт в помещениях создается ограждающими конструкциями и системами вентиляции здания. Воздухообмен в помещении происходит либо только под действием гравитационных сил (естественная вентиляция) или под действием гравитационных сил работы искусственных побудителей движения воздуха (механическая вентиляция) [110111].

Расчет естественной вентиляции всего здания с наружным воздухом является сложной трудноразрешимой аэродинамической задачей, так как он связан с перемещением воздуха по всем помещениям здания, включая лестничные клетки, ограждающие конструкции, воздуховоды, с учетом архитектуры и геометрических размеров здания, его ориентации относительно розы ветров и т.п. факторов. Даже решение отдельных частных вопросов переноса массы (энергии) с использованием классического уравнения Навье-Стокса непостижимо для человеческого разума,

так как это уравнение является незамкнутым из-за турбулентности потоков массы. Качественную картину переноса массы в зданиях и решение частных вопросов воздухообмена в них можно найти в работах [110, 17, 15].

Чистота воздушной среды, а также-движение воздуха в рабочей зоне помещения ниже нормативных значений обеспечивают человека необходимым количеством кислорода, с помощью которого в его организме вырабатывается необходимая энергия, защищающая его от переохлаждения. Загрязнение воздушной среды происходит:

- из-за физиологического обмена человека с окружающей средой выделения им углекислого газа (CO_2) и бактериального аэрозоля, того, с поверхности кожи выделяются различные вредные органические вещества, летучие продукты, которые накапливаются в помещении;
- из-за использования бытовых устройств, газовых и отопительных установок;
- вследствие неприятных запахов, связанных с жизнедеятельностью человека и бытовыми технологическими процессами (приготовление пищи, стирка и т.п.);
- из-за поступления в помещение загрязненного наружного воздуха;
- из-за выделения ограждающими конструкциями, отделочными материалами, мебелью токсических веществ.

Анализ вредного воздействия на организм человека загрязнённого воздуха, выполненный нашими и зарубежными гигиенистами, которые отмечают токсические вещества действуют негативно на организм человека как правило, в сочетании с температурами и влажностью воздуха, электромагнитными полями и радиоактивным фоном. При изучении душной среды в газифицированных помещениях специалисты подсчитали, что во время горения газа концентрация вредных веществ в воздухе достигает: CO , до 15 мг/м^3 , формальдегида – $0,037 \text{ мг/м}^3$, а азота – $0,62 \text{ мг/м}^3$. Эти продукты сгорания плохо влияют на системы дыхания и состояние центральной нервной системы [110].

При естественной вентиляции наружный воздух, поступающий в помещение, содержит много пыли и химических соединений, которые, с одной стороны, непосредственно вдыхаются легкими человека, а с другой – поглощаются ограждающими конструкциями и становятся источниками длительного загрязнения внутреннего воздуха помещения. Очень опасными источниками загрязнения воздушной среды являются новые строительные материалы, применяемые для строительства стен, полов, покрытий, перегородок, светопрозрачных конструкций лакокрасочные материалы, клейкосодержащие вещества и другие материалы и изделия [110].

Особое влияние на жизнедеятельность человека оказывает солнечная энергия, проникающая в помещение через окна и фонари. Лучистая энергия Солнца представляет собой электромагнитные волны, оптическая часть которых находится в диапазоне от 0,1 до 1000 мкм. Световое поле (видимое излучение) – это часть электромагнитного поля в диапазоне от 0,38 до 0,78 мкм. Ультрафиолетовое излучение Солнца находится в диапазоне 0,01-0,38 мкм, а инфракрасное – 0,78 до 1000 мкм. Под световой средой помещения подразумевается комплекс положительных или отрицательных реакций человека при его взаимодействии с электромагнитными лучами Солнца. Свет нужен людям не только для видения окружающих предметов, от освещенности зависит психоэмоциональное состояние человека. Приемник света – наш глаз – хорошо приспособлен к условиям солнечного освещения. Прямые солнечные лучи и рассеянный свет несут в помещение ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Ультрафиолетовое излучение оказывает на человека многообразное биологическое действие, без него невозможно нормальное функционирование организма человека. Ультрафиолетовые лучи предупреждают развитие рахита у детей и авитаминоз у взрослых. Кроме того, они обеззараживают воздух помещения и убивают болезнетворную микрофлору в нем. Солнце и строительство связаны между собой не только экономикой и политики, но и тем, что продолжительность и качество жизни человека зависят от лучистой энергии Солнца, которая оказывает биологическое, биохимическое, физиологическое, бактерицидное, психологическое, санитарное, тепловое, социологическое воздействие на человека. Солнечные лучи оживляют интерьер жилища и обеспечивают связь

жилица с внешней средой. Проектировщики и архитекторы должны особенное внимание уделять вопросам инсоляции (облучению помещений солнечными лучами) и естественному освещению каждой отдельно взятой квартиры в доме [110].

В таблице 11 приведены данные о рекомендуемой и допустимой ориентации комнат.

Таблица 11 – Рекомендуемая и допустимая ориентация комнат

Жилые помещения	Южнее 50 с.ш.		Севернее 50 с.ш.	
	рекомендуемые	допустимые	рекомендуемые	допустимые
Спальни, детские и общие комнаты	Ю	ЮВ	Ю, ЮВ	ЮЗ
Столовые, гостиные, кабинеты	Ю, ЮВ	В, СВ, СЗ	Ю, ЮВ, В	СВ, В

Из таблицы видно, что ориентация комнат в южных районах страны на юг и юго-восток дает возможность бороться летом с перегревом квартир с помощью выступающих частей дома (например, с помощью лоджий), а зимой использовать солнечные лучи для отопления здания. При такой ориентации комнат легче организовать естественное освещение в жилых зданиях через окна, а в общественных и хозяйственных помещениях – с помощью окон и фонарей [110].

Проектирование светового режима помещений основывается на учении технологических процессов, выполняемых работ, особенно, места строительства, т.е. с учетом:

- местонахождения здания на карте светового климата;
- характера зрительной работы и светоклиматических особенно, места строительства;
- требуемой равномерности естественного освещения;
- направления падения светового потока на рабочую поверхность;
- продолжительности использования естественного освещения.

- необходимости защиты помещения от слепящего действия прямого солнечного света;
- требований к спектральному составу искусственного света, постоянству освещенности во времени, распределения яркости в поле зрения.

Геометрические размеры окон и фонарей и их расположение в наружных ограждающих конструкциях должны обеспечивать нормируемый коэффициент естественной освещенности (КЕО), который представляет собой отношение освещенности внутри помещения к освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода, и выражается в процентах. При проектировании светового микроклимата помещений следует руководствоваться нормами и правилами по проектированию естественного и искусственного освещения (СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»), строительной теплотехнике (СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»), строительной климатологии и геофизике (СНиП II-А Строительная климатология и геофизика») и СНиП «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений». Нормированные значения освещенности обеспечиваются в точках ее минимального значения на рабочей поверхности пребывания людей. Как правило, помещения зданий должны иметь естественное освещение, которое подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое). При боковом одностороннем естественном освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости, характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от светового проема. При проектировании производственных зданий, а также общественных и административно-бытовых, согласно СНиП 23-05-95, наряду с нормируемой освещенностью помещений следует учитывать допустимые сочетания показателей ослепленности и коэффициента пульсации освещенности.

В настоящее время влажностный режим помещений зданий устанавливается СП 50.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003) в зависимости от температуры внутреннего воздуха и условий эксплуатации ограждающих кон-

струкций, определяемых по зонам влажности территории РФ. Поддержание оптимальных параметров микроклимата помещения является важной составляющей устойчивого развития среды жизнедеятельности человека. Допустимые параметры микроклимата помещений по СП 50.13330.2012 указаны в таблице 12.

Таблица 12 – Влажностный режим помещений зданий

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	свыше 12 до 24	до 40
Сухой	до 60	до 50	до 40
Нормальный	свыше 60 до 75	свыше 50 до 60	свыше 40 до 50
Влажный	свыше 75	свыше 60 до 75	свыше 50 до 60
Мокрый	-	свыше 75	свыше 60

Данные нормы установлены помещений зданий в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха. Таким образом, по СП 50.13330.2012 классификация помещений по влажностному режиму произведена в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха. Человек, изолируя себя от внешней среды (наружного климата: температуры, ветра, солнечной радиации, осадков), создает в помещении определенный микроклимат. При этом он, как правило, должен находиться в комфортных условиях, т.е. испытывать удовлетворение от нахождения в помещении.

В ГОСТ 30494-96 установлены параметры микроклимата помещений жилых и общественных зданий. В нем дана классификация помещений общественных зданий, которые разбиты на 6 категорий.

Помещения 1 категории – помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха.

Помещения 2 категории – помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебной.

Помещения 3 категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся в положении стоя в уличной одежде или сидя без уличной одежды.

Помещения 4 категории – помещения для занятий подвижными видами спорта.

Помещения 5 категории – помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т.п.).

Помещения 6 категории – помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые).

Хотя по названию ГОСТ 30494-96 должен включать в себя все параметры микроклимата помещений, но в нем представлены нормативные величины, относящиеся только к тепловому режиму.

Параметры микроклимата помещений необходимо выбирать в зависимости от назначения зданий. Для гражданских и производственных зданий Ильинский В.М. предложил классифицировать микроклимат помещений в зависимости от тепловыделений. Преобладающее большинство гражданских зданий (жилых, административных, школьных и т.д.) относится к категориям зданий с незначительными выделениями тепла (до 20 Вт/м³) [111].

- Сумма теплофизических факторов определяет тепловую обстановку в помещении. Тепловой комфорт создается наружными ограждающими конструкциями, которые изолируют помещения от воздействия внешней среды, а также системами отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха. Основными нормируемыми показателями теплового и душного режима в помещении являются параметры воздушной среды;
- температура воздуха;
- подвижность воздуха;
- количество подаваемого в помещения воздуха (кратность воздухообмена);
- относительная влажность воздуха.

Параметры воздушной среды внутреннего воздуха (температура, важность, подвижность воздуха) имеют большое значение не только для жизнедеятельности людей, но и для долговечности зданий. Ошибки при проектировании наружных ограждающих конструкций могут привести к недопустимой подвижности воздуха

в помещении, к снижению относительной влажности и температуры, отрицательной температуре на внутренней поверхности остекления, к выпадению инея и образованию наледей.

Расчетные параметры внутреннего воздуха устанавливаются для обслуживаемой или рабочей зоны помещений. Обслуживаемая (рабочая) зона определяется в соответствии с указаниями санитарно-гигиенических норм, ГОСТ 30494-96 и СНиП по проектированию отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (СНиП 41-01-2003). Обслуживаемой (рабочей) зоной в помещениях, как уже было отмечено выше, считается пространство в помещении, ограниченное горизонтальными плоскостями, параллельными полу на высоте 0,1 и 2,0 м, и вертикальными плоскостями на расстоянии 0,5 м от внутренних поверхностей наружных и внутренних стен и окон. По ширине рабочая зона производственных зданий по СНиП 41-01-2003 не нормируется.

На расход тепла при эксплуатации здания большое влияние оказывает правильный выбор требуемых параметров теплового и воздушного режимов помещений. ГОСТ 30494-96 для гражданских зданий устанавливает нормативные значения параметров теплового и воздушного микроклимата (оптимальные, допустимые или их сочетание) в зависимости от назначения помещения и периода года, нормативные значения расчетных температур, скорости движения воздуха, относительной влажности производственных помещений.

4.3. Учёт параметров комфортного микроклимата при определении энергоэффективности зданий

Определение класса энергоэффективности зданий учитывает параметры комфортного микроклимата опосредованно: во-первых, при расчёте по СП 50.13330.2012, когда определяется выполнение санитарно-гигиенических требований, а во-вторых, при расчёте удельной величины потребления энергии на отопление и охлаждение здания.

По мнению авторов, для охлаждения и кондиционирования здания необходимо учитывать расход не только тепловой, но и электрической энергии, что необходимо учитывать при формировании данного агрегата энергоэффективности.

Определение энергопотребления систем поддержания микроклимата формируется на основе величины затрат энергоресурсов на работу инженерных систем, отапливающих или охлаждающих помещения в зависимости от условий наружного воздуха и функционального назначения помещения. Он определяется как количество электрической энергии, расходуемое на работу токоприемников вентиляторов, насосов, компрессоров, клапанов, регулирующих устройств систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, теплоснабжения, холодоснабжения и горячего водоснабжения, а также неразрывно связанные с ним потери энергии в сетях (кВт*ч).

Типовой расчет позволяет найти мощность кондиционера для небольшого помещения: отдельной комнаты в квартире или коттедже, офиса площадью до 50 – 70 м² и других помещений, расположенных в капитальных зданиях. Расчет мощности охлаждения Q (в киловаттах) производится по следующей методике [109]:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (1)$$

где: Q_1 – теплопритоки от окна, стен, пола и потолка:

$$Q_1 = S * h * q / 1000, \quad (2)$$

где: S – площадь помещения (м²);

h – высота помещения (м);

q – коэффициент, равный 30 - 40 Вт/м³:

q = 30 для затененного помещения;

q = 35 при средней освещенности;

q = 40 для помещений, в которые попадает много солнечного света.

Q_2 – сумма теплопритоков от людей. Теплопритоки от взрослого человека: 0,1 кВт – в спокойном состоянии; 0,13 кВт – при легком движении; 0,2 кВт – при физической нагрузке;

Q_3 – сумма теплопритоков от бытовых приборов. Теплопритоки от бытовых приборов: 0,3 кВт – от компьютера; 0,2 кВт – от телевизора.

Для других приборов можно считать, что они выделяют в виде тепла 30% от максимальной потребляемой мощности (то есть предполагается, что средняя потребляемая мощность составляет 30% от максимальной). Мощность кондиционера должна лежать в диапазоне Q_{range} от -5% до $+15\%$ расчетной мощности Q .

В качестве примера учёта параметров комфортного микроклимата при определении энергоэффективности зданий авторами предлагается расчёт энергоресурсов на электроснабжение, освещение здания, работу систем вентиляции и поддержания микроклимата в здании (таблица 13) и расходы энергетических ресурсов на отопление здания (таблица 14).

Таблица 13 – Расходы энергетических ресурсов на электроснабжение, освещение здания, работу систем вентиляции и поддержания микроклимата в здании

Наименование расчётных параметров	Ед. измерения	Значение	Формула расчёта, примечание
Площадь офисов	м ²	546,80	
Высота помещений	м	2,40	
Теплопритоки от окна, стен, пола и потолка (Q_1)	кВт	1,31	$Q_1 = S * h * q / 1000 = 546,8 \text{ м}^2 * 2,4 \text{ м} / 1000 = 1,31 \text{ кВт}$.
Сумма теплопритоков от людей (Q_2)	кВт	3,95	$Q_2 = (546,8/18) * 0,13 = 3,95 \text{ кВт}$.
Сумма теплопритоков от бытовых приборов (Q_3)	кВт	2,75	$Q_3 = (0,3 \text{ кВт} + 0,2 \text{ кВт} + 0,05 \text{ кВт}) * 5 = 2,75 \text{ кВт}$
Расчетная мощность кондиционера	кВт	8,01	$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1,31 \text{ кВт} + 3,95 \text{ кВт} + 2,75 \text{ кВт} = 8,01 \text{ кВт}$
	т.у.т./час	0,000983909	
Время работы кондиционера (в год)	ч	720	
Расход энергоресурсов на кондиционирование здания, в год	т.у.т.	0,7084	
Расход энергоресурсов на кондиционирование здания, за 150 лет	т.у.т.	106,2621	

Удельная расчетная нагрузка электроприемников (квартиры с плитами на природном газе и бытовыми кондиционерами воздуха по зонам, расчетная температура, °С)	кВт/квартиру	1,63	ВСН 59-88
Абсолютная максимальная температура воздуха (Иваново)	°С	38,00	СНиП 23-01-99
Количество квартир	шт	72	
Расчётное электропотребление квартир	кВт	117	
Расчетная нагрузка линии питания лифтовых установок и офисов	кВт	24,4	Пояснительная записка к проекту здания
Расход энергоресурсов на электроснабжение и освещение здания, в год	кВт*ч	309666	
	т.у.т.	38,038	
Расход энергоресурсов на электроснабжение и освещение здания, за 150 лет	т.у.т.	5705,675	

Таблица 14 – Расходы энергетических ресурсов на отопление здания

Наименование расчётных параметров	Ед. измерения	Значение
Удельный расход тепловой энергии на отопление здания	кДж/(м ² ·°С·сут)	57,8
	т.у.т./((м ² ·°С·сут)	1,97216*10 ⁻⁶
Градусо-сутки отопительного периода	°С·сут	5 234
Отапливаемая площадь здания	м ²	5230
Расход энергоресурсов на отопление здания за 1 год	т.у.т.	53,985
Расход энергоресурсов на отопление здания за 150 лет	т.у.т.	8097,824

В качестве примера в таблицах 13-15 рассмотрен жизненный цикл 10-этажного жилого дома, построенного в г. Иваново. Техничко-экономические показатели здания представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Техничко-экономические показатели здания

Наименование	Значение
Шифр проекта	017/11-ОВ
Район строительства	г. Иваново
Назначение	жилое
Размещение в застройке	отдельностоящее
Тип здания	10-ти этажное
Конструктивное решение здания	Кирпичное
Наружные стены	кирпичные с утеплителем из пенополистирольных плит с противопожарными рассечками их минераловатных плит
Внутренние стены	кирпичные
Окна	ПВХ профиль с двухкамерными стеклопакетами
Двери	деревянные
Общая площадь здания	5998 м ²
Площадь квартир	4198,5 м ²
Строительный объём здания	25819,0 м ³
Водоснабжение	от существующей водопроводной сети
Горячее водоснабжение	от индивидуальных газовых котлов
Отопление	наружные сети с температурным графиком 110-70°С, системы отопления - зависимое подключение с организацией индивидуального теплового пункта

Вентиляция	приточно-вытяжная с естественным побуждением
Электроснабжение	от встроенной трансформаторной подстанции
Наличие узлов учёта расхода тепловой и электрической энергии, топлива и воды	да
Удельный расход тепловой энергии на отопление здания	57,8 кДж/(м ² ·°С·сут)
Класс энергоэффективности здания	В

Исследуемый проект разработан для строительства 72-квартирного жилого дома по ул. Революционной в г. Иваново. Многоквартирный жилой дом формируется путем блокировки 2-х секций, являющихся элементами объемно-планировочной структуры здания. Жилой дом запроектированы с развитием в двух направлениях, под углом 90° и размещением лестнично-лифтового узла в центральной части секции с ориентацией на внутреннюю (дворовую) сторону.

Наружные и внутренние стены - кирпичные. Наружные стены с утеплителем из пенополистирольных плит (устанавливаемых в разбежку с горизонтальными рассечками из минераловатных плит по ГОСТ 15588-86), предусмотрены также противопожарные рассечки из минераловатных плит по периметру оконных проемов. Объемно-пространственное и архитектурно-планировочное решение обусловлено конфигурацией участка, заданием на проектирование. Высотное решение отвечает градостроительному регламенту и правилам землепользования, и застройке г. Иваново. Жилое здание с офисными помещениями, предназначено для строительства в г. Иваново. Наружные стены – силикатный кирпич с утеплителем. Под-

вал не отапливаемый. Здание подключено к централизованной системе теплоснабжения. Окна – с тройным остеклением в двойных стеклопакетах с ПВХ переплётами.

Рабочей документацией предусмотрено размещение узла учета тепловой энергии в здании. Учет потребляемой энергии на отопление и горячее водоснабжение осуществляется в ИТП. Для учета расходов воды на вводе водопровода в здание предусмотрена установка общего счетчика ВСКМ-40 с обводной линией диаметром 65мм. Здание является энергоэффективным (согласно данных энергетического паспорта зданию присвоен класс энергоэффективности «В» по СНиП 23-02-2003).

Таким образом, на обеспечение комфортного микроклимата в 10-этажном кирпичном жилом здании общей площадью 5998 м² необходимо затратить в год 0,7084 т.у.т. (кондиционирование), 38,038 т.у.т. (электроснабжение и освещение), 53,985 (отопление) или около 15,5 кг. у.т. на 1 кв. м. в год. По мнению авторов, данные энергозатраты являются значительными, следовательно, вопросы энергоэффективности и комфортного микроклимата необходимо рассматривать совместно. При этом необходимо учитывать косвенные факторы: ориентация здания на местности, материал ограждающих конструкций, системы освещения и так далее.

Учёт параметров теплового режима здания при определении энергоэффективности производится путём теплотехнического расчёта на стадии проектирования здания при разработке энергетического паспорта. Энергосбережение является таким образом, мощным импульсом к изучению проблемы микроклимата и климатизации здания. Дальнейшее изучение проблемы энергосбережения, энергоэффективности и комфортного микроклимата по мнению авторов, находится в плоскости изучения использования солнечной радиации в тепловом балансе здания (биоклиматической архитектуры), качество микроклимата – здоровые здания, сохранение окружающей среды – sustainable building, рационального использования не только энергоресурсов, но и других видов ресурсов, потребляемых зданиями в течение жизненного цикла.

РАЗДЕЛ 5. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ В РОССИИ

5.1. Проблемы обеспечения энергоэффективности зданий на уровне нормативно-правовых документов

В настоящее время в России с появлением федерального закона № 261-ФЗ активно развивается и актуализируется нормативно-правовая и техническая базы, направленные на проектирование и эксплуатацию зданий с низким уровнем энергопотребления и высоким классом энергоэффективности. Однако существующая политика направлена на краткосрочное решение проблемы. При этом имеет место отсутствие системного взгляда на энергоэффективность, что не позволяет оценить уровень затрат энергоресурсов на всём протяжении жизненного цикла строительных объектов. Между тем данные затраты, от расхода энергоресурсов при производстве строительных материалов для будущего здания и до расхода энергоресурсов на стадии его ликвидации и утилизации строительных материалов, могут быть значительными, в том числе превышающими экономию, достигнутую в результате применения существующих норм. Согласно результатам исследований, при утилизации 40% всех стройматериалов, должно пройти 65 лет прежде, чем экологически чистое, энергоэффективное здание смогло бы полностью компенсировать энергозатраты на снос существующего здания. Таким образом, необходимо принимать обоснованные организационно-технические решения при организации жизненного цикла зданий, а именно, оценивать энергозатраты, потребляемые зданиями в течение эффективной жизни, планировать ремонты и реконструкцию с учётом фактора энергоёмкости. Сложившаяся система проектирования и строительства зданий не учитывает продолжительность их эксплуатации и потребляемые зданиями на всех

стадиях энергетические ресурсы. Существующие нормативно-технические документы и методические подходы регламентируют осуществление отдельных процессов и не гарантируют энергоэффективность всего жизненного цикла, т.е. не отвечают требованиям системного подхода к управлению его процессами.

Несмотря на становление нормативно-правовой и технической базы строительства энергоэффективных зданий, повсеместное внедрение в строительное производство энергосберегающих материалов и технологий, необходимого уровня энергоэффективности зданий в настоящее время не достигнуто, что связано со множеством проблем, а именно:

- отсутствие единого центра ответственности и контроля за энергоэффективностью зданий в течение всего жизненного цикла;
- отсутствие обязательных требований к организации и проведению строительно-монтажных работ энергосберегающими способами;
- неразвитость мотивирующих механизмов для обеспечения высокого класса энергоэффективности зданий на стадиях проектирования, строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации;
- отсутствие практики учёта затрат энергоресурсов при демонтаже здания и утилизации строительных материалов и конструкций по завершению демонтажа.

Таким образом, на всех стадиях жизненного цикла зданий возникают проблемы обеспечения необходимого уровня энергоэффективности. Выявленные проблемы являются системотехническими, так как они обусловлены неразвитостью организационных механизмов стыковки процессов организации проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий на протяжении всего жизненного цикла. Их решение можно найти путём анализа закономерностей развития жизненного цикла зданий, методологический базис которого описан в теории функциональных систем. Усложнение систем и увеличение априорной неопределённости обуславливает необходимость использования методов имитационного моделирования, а также информационной поддержки в виде баз данных.

В настоящее время в РФ основным законом, регулирующим вопросы по повышению энергоэффективности зданий, является Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», сменивший декларативный Федеральный закон от 03.04.1996 № 28-ФЗ «Об энергосбережении». Закон № 261-ФЗ устанавливает правовые, экономические и организационные основы стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий. Согласно закону, строительные объекты должны соответствовать показателям энергоэффективности, приведённым в Правилах, которые были разработаны и утверждены Правительством РФ 28 января 2011 г. Данные правила устанавливают нормативные показатели, характеризующие удельную величину энергетических ресурсов в зданиях. Применение этих правил нацелено на то, чтобы исключить нерациональный расход энергоресурсов, причём в правилах указаны отдельные процессы жизненного цикла зданий, а именно, процессы строительства, процессы эксплуатации, процессы реконструкции, процессы капитального ремонта. Процессы проектирования не указаны. Требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений подлежат пересмотру не реже чем один раз в пять лет. Закон № 261-ФЗ распространяется относительно ко всем типам зданий, для которых устанавливает общие требования к энергетической эффективности, представленные на рисунке 36. Необходимо подчеркнуть, что в законе № 261-ФЗ не упоминается про соблюдение требований к энергоэффективности в течение жизненного цикла зданий, упоминаются лишь отдельные стадии жизненного цикла (проектирование и эксплуатация строительных объектов).

Данные требования также должны быть включены в требования к содержанию общего имущества собственников помещений в многоквартирном доме. Класс энергетической эффективности многоквартирного дома, построенного, реконструированного или прошедшего капитальный ремонт и вводимого в эксплуатацию, определяется органом государственного строительного надзора в соответствии с утвержденными уполномоченным федеральным органом исполнительной власти

правилами определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов, требования к которым устанавливаются Правительством Российской Федерации.

Закон	соблюдение показателей удельной величины расхода энергоресурсов в зданиях
№ 261-ФЗ	соблюдение решений в зданиях, влияющих на энергоэффективность: архитектурные решения, функционально-технологические решения, конструктивные решения, инженерно-технические решения
	соблюдение требований к используемым в зданиях отдельных конструкций и элементов, технологий и устройств, материалов, включённых в проекты строительства, ремонта и реконструкции, исключающих нерациональный расход энергоресурсов на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации

Рисунок 39 – Требования к энергоэффективности зданий в законе № 261-ФЗ

В соответствии с принципами, установленными Правительством РФ, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации утверждают перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в отношении общего имущества собственников помещений в многоквартирном доме, подлежащих проведению единовременно и (или) регулярно.

Закон № 261-ФЗ также установил правила энергетического обследования зданий и сооружений и разработку на его основе энергетического паспорта объекта с целью определения класса энергетической эффективности зданий и разработки мероприятий по его повышению. Таким образом, федеральный закон № 261-ФЗ установил концептуальные положения организации энергосбережения и конкретные меры его стимулирования, в том числе в отрасли строительства на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий.

В декабре 2009 г. был принят Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» № 384-ФЗ, в котором также указано, что здания должны отвечать требованиям энергетической эффективности на всех стадиях жизненного цикла зданий, таким образом, процесс обеспечения энергетической эффективности зданий и сооружений должен носить непрерывный характер.

Неотъемлемой частью процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий являются показатели энергоэффективности, виды и требуемые значения которых определены в нормативно-методических документах. В настоящее время энергоэффективность зданий в России оценивается по степени их соответствия нормативным удельным показателям расхода тепла на единицу площади или объёма жилых и общественных зданий. Разрабатываемые с 1990-х годов на федеральном и региональном уровне нормативные документы содержат различные показатели оценки энергетической эффективности зданий, имеющие различное содержание и единицы измерения. В отечественных и зарубежных научно-методических работах, и регламентах разработано значительное количество методических подходов к определению показателей энергетической эффективности зданий. Большинство показателей, как правило, лимитированы одним из видов энергетических ресурсов или не позволяют оценить здание как единую энергетическую систему. Общие требования к энергоэффективности зданий определены в законе № 261-ФЗ. В нём указано, что в течение пяти лет с момента ввода здания в эксплуатацию застройщик должен обеспечивать выполнение указанных требований. Однако основным мотивом застройщиков и собственников к достижению зданиями определённого класса энергетической эффективности является экономия денежных средств на энергетические ресурсы, потребляемые зданиями, а не достижение показателя физического расхода энергетических ресурсов, являющегося понятным лишь узкому кругу специалистов. Таким образом, становится необходимым получение показателя, интегрирующего все энергетические расходы здания и позволяющего оценить их как в натуральном, так и в стоимостном выражении.

Согласно принципа нормирования тепловой защиты зданий, разработанного Госстроем РФ в 1994 году, в основу энергетической эффективности зданий положены нормируемые величины удельной потребности в тепловой энергии на отопление (или охлаждение) и вентиляцию зданий. Удельная потребность в тепловой энергии определяется количеством тепла, необходимого для отопления помещений здания в течение отопительного периода, которое необходимо отнести к общей отапливаемой площади или к отапливаемому объему здания и к градусо-суткам отопительного периода. Идея разработки такого параметра относится к 1994 году, когда этот новый параметр был предложен в качестве основного норматива в модели стандарта по энергетической эффективности зданий. Эта модель и соответствующие ей региональные нормы по тепловой защите зданий была разработана НИИСФ РААСН и ЦЭНЭФ с участием Общества по защите природных ресурсов. По этому новому принципу регламентируются требования не к отдельным частям здания (стены, перекрытия, окна и т. д.), формирующим тепловой баланс здания, а к зданию в целом с энергетической точки зрения. Такой энергетический параметр формируется теплозащитой здания, архитектурными, объемно-планировочными и компоновочными решениями, системами отопления и вентиляции, дополнительными теплопоступлениями, учетом эффективности систем теплоснабжения и климатическими параметрами.

В 1999 году были разработаны и введены в действие государственные стандарты энергетической эффективности, призванные системно упорядочить активно развивающиеся процессы нормативно-методического обеспечения энергосбережения на федеральном, региональном (субъектов Российской Федерации), ведомственном и локальном уровнях с использованием принципов, учитывающих рыночные условия хозяйствования. Основные показатели энергетической эффективности перечислены в ГОСТ Р 51541-99 «Энергетическая эффективность. Состав показателей», который устанавливает три группы показателей энергоэффективности: показатели эффективности продукции, показатели эффективности производ-

ственных процессов и удельные показатели. Однако данные показатели не формализованы, для зданий не конкретизированы, кроме того, работа по отражению этих показателей в СНиП даже не начиналась. Кроме этого, приведённая в ГОСТ 51541-99 классификация показателей энергетической эффективности не может быть в полной мере отнесена к зданиям, так как не учитывает специфики здания с точки зрения энергетической эффективности.

В ГОСТ Р 51387-99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения» установлены показатели энергоэффективности, часть из них рекомендована СНиП для оценки энергоэффективности зданий. Так, базовый по энергетической эффективности СНиП 23-02-2003 устанавливает показатели энергоэффективности, основным из которых является показатель q_h^{reg} , рассчитываемый в $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$ или $[\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})]$. Данный показатель является основным при определении класса энергетической эффективности зданий. В актуализированной версии данного СНиП (СП 50.13330.2012) основным показателем является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, $q_{от}^p$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$. Однако, несмотря на то, что данный показатель обеспечивает свободу при выборе проектных решений и возможность контроля энергопотребления при эксплуатации зданий, апробирован и применяется в настоящее время, он не мотивирует застройщиков и собственников зданий на внедрение мероприятий по повышению класса энергетической эффективности зданий, так как не имеет стоимостного выражения. Кроме этого, данный показатель не учитывает все виды энергетических ресурсов, потребляемых и производимых зданием.

Наиболее полная методика оценки энергопотребления зданий, позволяющая учитывать все основные виды энергозатрат и их снижение за счет применения практически любых известных энергосберегающих мероприятий, содержится в общественном Стандарте РНТО строителей и РОИС «Строительная теплофизика. Нормы проектирования ограждающих конструкций зданий, строений и сооружений». Стандарт введен в действие с 1 января 2006 г. и является документом добровольного применения. В качестве показателя энергоэффективности Стандарт

РНТО предлагает показатель энергетической эксплуатационной характеристики зданий. Показатель выражается в кВт·ч/(м²·год) (либо м³·год). Однако, несмотря на то, что в данном показателе учтены многие виды энергетических ресурсов, считаем, что он не может служить стимулом для собственников зданий к энергосбережению, так как содержит сложный алгоритм расчёта, понятный только узкому кругу профессионалов, которыми собственники эксплуатируемых зданий могут не явиться. Данным стимулом может служить предлагаемый стандартом РНТО показатель экономически целесообразного оптимального сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий, который может быть определён на всех стадиях жизненного цикла зданий. Однако данный показатель ориентируется только на толщину дополнительного слоя утеплителя и связанного с ним экономически целесообразного сопротивления теплопередаче и не учитывает другие возможности повышения энергетической эффективности зданий. Кроме этого, показатели энергетической эксплуатационной характеристики зданий, экономически целесообразного сопротивления теплопередаче, предлагаемые Стандартом РНТО и показатель, применяемый для присвоения зданиям класса энергоэффективности по СНиП 23-02-2003, не взаимосвязаны между собой.

Появляющиеся в нормативно-методических документах показатели энергоэффективности зданий после 2006 г. по настоящее время не являются принципиально новыми и характеризуют энергетическую эффективность зданий согласно концепции СНиП 23-02-2003. Показатель удельного расхода тепловой энергии на отопление здания за отопительный период претерпел модификацию и преобразовался в показатель удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с учетом солнечной радиации через светопроемы и тепловыделений от искусственного освещения и бытовых приборов. Таким образом, в данном показателе учтены основные, однако не все виды энергоресурсов. Новые показатели энергоэффективности зданий в отношении всех видов энергоресурсов лишь упомянуты в Плане действий Правительства по реализации положений Закона № 261-ФЗ. Актуализированный СП 50.13330.2012 содержит более подробный показатель

энергоэффективности, однако он, как и остальные принятые показатели, не учитывает расход энергоресурсов зданиями в течение всего жизненного цикла, что является актуальнейшей задачей развития строительной отрасли в настоящее время. Показатели расхода энергоресурсов зданиями (показатели энергоёмкости зданий) являются ключевыми в системе стандартизации ЕС, основанной на Директиве по энергетическим характеристикам зданий (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) (2010/31/ЕС).

В Европе в качестве критерия, характеризующего энергетическую эффективность зданий, большинство стран используют затраты первичной энергии, выражаемой, как правило, в кВт·ч/м² в год (в Италии в кВт·ч/м³ в год). Только Великобритания и Румыния используют в качестве критерия энергоэффективности количество выбросов CO₂ (в Великобритании ведутся обсуждения о возможности перехода на использование в качестве критерия затрат первичной энергии) [219]. В европейских странах энергоёмкость зданий оценивается не только по критерию тепловой защиты наружных ограждающих конструкций и энергоёмкости систем ИТО, но и оценку энергоресурсов в процессе эксплуатации здания, в том числе тепловой энергии на отопление, вентиляцию и ГВС, с учётом электроэнергии на работу систем здания.

Важно также понимание того, что энергоэффективность зданий и сооружений – это экономически целесообразное энергосбережение, т.е. показатель, характеризующий оптимизацию стоимости жизненного цикла (life cycle cost), включая первоначальные затраты на его жизнеобеспечение, на эксплуатацию, в том числе энергетические ресурсы, и на экологические издержки. Срок службы здания нередко составляет 100 лет и более, и поэтому стоимость его жизненного цикла должна учитывать прогнозы изменения энергетических ресурсов и их стоимости.

Исследование эволюции показателей энергоэффективности, проведённое авторами [8, 10], позволило сделать вывод о том, что энергетическая эффективность зданий в настоящее время в России определяется расходом всех энергетических

ресурсов на обеспечение комфортного микроклимата, а также минимизацией затрат на энергетические ресурсы. Предлагаемые показатели либо учитывают удельный расход только тепловой энергии, либо не формализованы и не конкретизированы для зданий. Существующие методики оценки энергопотребления зданий являются достаточно громоздкими и неудобными для использования и, кроме того, не учитывают расход холодной воды как вида энергоресурса, а также необходимые для определения энергетической эффективности поступления энергии от солнца, ветра, земли, теплопоступления от людей и бытовых приборов, и т.п. В связи с этим становится необходимым разработка показателя, рационально сочетающего виды энергетических ресурсов, потребляемых зданием как единой энергетической системой и обеспечивающего рост энергетической эффективности. Энергетические ресурсы зачастую взаимозаменяемы и имеют свои характеристики в виде энергии, степени загрязнения окружающей среды, стоимости приобретения, использования и утилизации, опасности и трудоемкости использования и т.п. При этом ключевой характеристикой является экономическая целесообразность использования того или иного вида энергоресурса в зданиях, так как использование источников энергии определяется множеством факторов, в числе которых наличие технических условий для подключения к инженерным сетям, географическое расположение зданий, климатические условия района строительства и т.д. Кроме того, такие абстрактные характеристики использования энергетических ресурсов как безопасность, эргономичность, загрязнение окружающей среды и прочие также могут быть оценены в стоимостном выражении. Таким образом, к энергоэффективности зданий нужно подходить системно и применять не только эффективные, но и экономически целесообразные технологии. Ключевым моментом для достижения указанной сбалансированности является учёт всех видов энергетических ресурсов. Кроме этого, актуальной остаётся проблема разработки показателя, учитывающего энергопотребление зданиями в течение всего жизненного цикла. Анализ существующих в настоящее время показателей энергетической эффективности говорит о

том, что учёт энергетических ресурсов только на стадии эксплуатации является узким местом, которое лимитирует движение к точному учёту всех видов потребляемых и производимых зданием энергетических ресурсов. Этим определяется актуальность разработки универсального, интегрирующего все энергетические ресурсы, показателя, учитывающего энергопотребление на всех стадиях жизненного цикла зданий с учётом энергозатрат на ремонтные работы, демонтаж и утилизация строительных материалов или их рециклинг после завершения демонтажа.

В развитие Федерального Закона № 261-ФЗ приняты различные нормативные документы, устанавливающие, в том числе требования к разделам проектной документации, отражающим показатели энергоэффективности объектов строительства (Постановление Правительства № 235 от 13 апреля 2010 г.), требования энергоэффективности товаров, используемых в строительных конструкциях зданий и сооружений при размещении государственного и муниципального заказа (приказ Минэкономразвития № 229 от 4 июня 2010 г.), а также требования энергетической эффективности для зданий и сооружений (приказ Минрегионразвития № 262 от 28 мая 2010 г.). При этом Постановление Правительства и приказ Минэкономразвития имеют общесистемный характер и, в основном, не устанавливают конкретных показателей энергоэффективности и данных по снижению энергопотребления. Приказ Минрегионразвития № 262 от 28 мая 2010 г. достаточно подробно описывает показатели энергоэффективности для зданий и сооружений различного исполнения и назначения с учетом региона их эксплуатации, однако эти показатели касаются только тепловой энергии, в то время как в законе № 261-ФЗ сказано, что энергоэффективность – это относительный показатель, характеризующий отношение эффекта от использования энергоресурсов к затратам энергоресурсов, обуславливающим данный эффект, то есть все виды энергетических ресурсов, а не только тепловой энергии. Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии на настоящий момент времени адекватной системы подзаконных актов к закону № 261-ФЗ.

В декабре 2009 г. вышел Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в котором утверждается, что здания

должны удовлетворять требованиям энергоэффективности на следующих стадиях жизненного цикла, а именно, проектирования (с изысканиями), строительства (включая наладку и сдачу в эксплуатацию), эксплуатации и сноса, таким образом, процесс обеспечения энергетической эффективности зданий и сооружений должен носить непрерывный характер. Во исполнение технического регламента утверждён «Перечень нормативных документов», выполнение которых на обязательной основе обеспечит выполнение требований закона № 384-ФЗ. Согласно этому регламенту правительство утвердило перечень национальных стандартов и сводов правил (или – частей этих документов), применение которых будет обеспечивать соблюдение регламента, и которые будут носить обязательный характер [194]. Согласно данному перечню, требования к высокой энергоэффективности зданий являются обязательными.

В процессе создания и эксплуатации энергоэффективных зданий необходимо руководствоваться требованиями и принципами, которые устанавливает система строительных норм и правил РФ. Так, СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения» определяет, что «строительные нормы и правила должны содержать основные организационно-методические требования, направленные на обеспечение необходимого уровня качества строительной продукции, общие технические требования по инженерным изысканиям для строительства, проектированию и строительству, а также требования к планировке и застройке, зданиям и сооружениям, строительным конструкциям, основаниям и системам инженерного оборудования. В том числе эти требования должны определять сокращение расхода топливно-энергетических ресурсов и уменьшение потерь теплоты в зданиях и сооружениях».

В перечень обязательных строительных норм и правил включён СНиП 23-02-2003 (разделы 4 - 12; приложения В, Г, Д.), и СП 23-101-2003 «Проектирование тепловой защиты зданий», СНиП 31-01-2003 «Здания жилые многоквартирные» (актуализирован как СП 54.13330.2011) и СНиП 31-02-2001 «Дома жилые од-

ноквартирные» (актуализирован как СП 55.13330.2011). Основой этой системы является СНиП 23-02-2003, в котором приводятся способы проектирования энергоэффективных зданий и требования к уровню энергоэффективности. В 2012 году данный СНиП был актуализирован и приобрёл статус свода правил (СП 50.13330.2012).

СНиП 23-02-2003 распространяется на тепловую защиту жилых, общественных, производственных, сельскохозяйственных и складских зданий и сооружений, в которых необходимо поддерживать определенную температуру и влажность внутреннего воздуха, устанавливает классификацию энергетической эффективности жилых и общественных зданий по показателю отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормативного. Нормами установлены три показателя тепловой защиты здания:

- физический – приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания;
- санитарно-гигиенический – температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы;
- экономический – удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя.

СНиП 23-02-2003 также содержит форму энергетического паспорта здания, которую следует заполнять как на стадии разработки проекта и на стадии привязки к условиям конкретной площадки, так и на стадии сдачи строительного объекта в эксплуатацию [235]. Методы проектирования, расчета теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, рекомендации и справочные материалы, позволяющие реализовывать требования СНиП 23-02-2003, содержит Свод правил по

проектированию и строительству СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». В Своде правил приведены рекомендации по выбору уровня теплозащиты на основе теплового баланса здания, по расчету приведенного сопротивления теплопередаче неоднородных ограждающих конструкций, требования к конструктивным и архитектурным решениям зданий с точки зрения их теплозащиты. Установлены методы определения сопротивления воздухо-, паропроницанию, теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций, теплоэнергетических параметров здания, предложены форма и методика заполнения электронной версии энергетического паспорта здания. Свод правил распространяется на проектирование тепловой защиты ограждающих конструкций вновь возводимых и реконструируемых зданий различного назначения [218].

Таким образом, СНиП 23-02-2003 позволяет обеспечить тепловую защиту зданий на всех стадиях создания и эксплуатации, однако он ограничивает энергетическую эффективность зданий пределами минимального расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, не рассматривая другие виды энергетических ресурсов. Также в нём не рассмотрены вопросы энергетической эффективности производственных зданий.

Проектирование и строительство вновь строящихся и реконструируемых отдельно стоящие жилых домов с количеством этажей не более чем три, предназначенных для проживания одной семьи (объекты индивидуального жилищного строительства) регламентируется СП 55.13330. 2011 «Дома жилые одноквартирные» (СНиП 31-01-2001), где указано, что по требованию застройщика в составе документации на дом должны представляться теплоэнергетический паспорт и инструкция по эксплуатации дома. Теплоэнергетический паспорт предназначен для установления теплоэнергетических характеристик теплозащиты дома и его энергопотребления. В паспорте указывается категория энергетической эффективности дома. Дом должен быть запроектирован и возведен таким образом, чтобы при выполнении установленных требований к внутреннему микроклимату помещений и другим

условиям проживания обеспечивалось эффективное и экономное расходование невозобновляемых энергетических ресурсов при его эксплуатации [216]. Соблюдение требований, касающихся норм по энергосбережению, оценивается или по характеристикам основных элементов дома – строительных конструкций и инженерных систем, или по **комплексному показателю удельного расхода энергии на отопление дома**. При оценке энергоэффективности дома по комплексному показателю удельного расхода энергии на его отопление требования настоящего свода правил считаются выполненными, если расчетное значение удельного расхода энергии q для поддержания в доме нормируемых параметров микроклимата и качества воздуха не превышает максимально допустимого нормативного значения q_h^{reg} , приведенного в СП 50.13330. При этом инженерные системы дома должны иметь автоматическое или ручное регулирование и при централизованном снабжении должны быть оснащены приборами учета расхода теплоты, холодной и горячей воды, электроэнергии и газа. В зависимости от отношения максимально допустимого нормативного значения удельного расхода тепловой энергии на отопление дома к расчетному, дом относят к одной из категорий энергоэффективности.

В зависимости от отношения максимально допустимого нормативного значения удельного расхода тепловой энергии на отопление дома к расчетному $K = \frac{q_{тр}}{q}$, дом относят к одной из следующих категорий энергоэффективности:

- при $K > 1,25$ – дом высокой энергоэффективности;
- при $K = 1,25–1,1$ – дом повышенной энергоэффективности;
- при $K = 1,1–1,0$ – дом нормальной энергоэффективности.

Категорию энергоэффективности заносят в паспорт дома при вводе его в эксплуатацию и уточняют впоследствии по результатам эксплуатации и с учетом проводимых мероприятий по энергосбережению.

Проектирование и строительство вновь строящихся и реконструируемых многоквартирных жилых зданий высотой до 75 м, общежитий квартирного типа, а также жилых помещений, входящих в состав помещений зданий другого функционального назначения, регламентируется СП 54.13330.2011 (актуализированный

СНиП 31-01-2003). Он содержит раздел «Энергосбережение», в котором указано, что здание должно быть запроектировано и возведено таким образом, чтобы при выполнении установленных требований к внутреннему микроклимату помещений и другим условиям проживания обеспечивалось эффективное и экономное расходование энергетических ресурсов при его эксплуатации [212]. Соблюдение требований сводов правил по энергосбережению оценивают по теплотехническим характеристикам ограждающих строительных конструкций и инженерных систем или по **комплексному показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания**. С целью контроля энергоэффективности здания по нормативным показателям проектная документация должна содержать раздел «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергоэффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов». Этот раздел должен содержать перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности, обоснование выбора оптимальных архитектурных, конструктивных и инженерно-технических решений; перечень требований энергетической эффективности, которым здание должно соответствовать при вводе в эксплуатацию. СНиП СП 54.13330.2011 содержит типовой перечень мероприятий по сокращению удельного расхода энергии на отопление. Теплотехнические характеристики здания и класс энергоэффективности вносят в энергетический паспорт и впоследствии уточняют их по результатам эксплуатации и с учетом проводимых мероприятий по энергосбережению. Данный СНиП дополняет Свод правил СП 31-107-2004 «Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий», который содержит раздел «Энергосберегающие объемно-планировочные решения», позволяющий повысить энергоэффективность многоквартирных зданий на стадии проектирования.

Таким образом, СП 55.13330.2011 и СП 54.13330.2011 ограничивают энергетическую эффективность зданий пределами минимального расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, не рассматривая другие

виды энергетических ресурсов. Необходимым становится разработка СНиП, регламентирующих энергетическую эффективность жилых зданий, учитывающую другие виды потребляемых энергетических ресурсов.

Анализируя строительные нормы и правила, регламентирующие энергетическую эффективность общественных зданий, можно сделать вывод об их недостаточности. Отдельных СНиП, регламентирующих энергетическую эффективность общественных зданий в настоящее время нет. СП 44.13330.2011 «Административные и бытовые здания» (актуализированные СНиП 2.09.04-87) не содержат требований к энергетической эффективности. Действующие СНиП 31-06-2009 «Общественные здания и сооружения» (актуализированные СНиП 2.08.02-89*) не содержат раздела «Энергоэффективность», таким образом, проектирование, строительство и эксплуатация энергоэффективных общественных зданий осуществляется по СП 50.13330.2012 (СНиП 23-02-2003), что существенно ограничивает их энергетическую эффективность, так как не учитывает специфику общественных зданий различного назначения. Энергетическая эффективность некоторых видов общественных зданий регламентируется СНиП 31-05-2003 «Общественные здания административного назначения», которые содержат раздел «Энергосбережение», устанавливающий, что здание должно быть запроектировано и построено таким образом, чтобы при выполнении установленных требований к микроклимату помещений и другим условиям обеспечивалось эффективное расходование невозобновляемых энергетических ресурсов при его эксплуатации. Определение теплозащитных показателей строительных конструкций здания следует осуществлять согласно СНиП 23-02-2003 по нормам приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций зданий; допускается – по нормативному значению удельного расхода тепла на отопление и вентиляцию здания в целом за отопительный период. Нормы устанавливают обязательные минимальные требования по теплозащите здания. Таким образом, основным техническим нормативным документом, регламентирующим требования к энергоэффективности жилых и общественных зданий, является СНиП 23-02-2003, актуализированный как СП 50.13330.2012.

Таблица 16 – Сравнительная характеристика показателей энергоэффективности по СНиП 23-02-2003 и СП 50.13330.2012

СНиП 23-02-2003	СП 50.13330.2012
<p>а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания</p> $R_0, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ <p>Определяются в зависимости от ГСОП района строительства</p>	<p>а) нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций</p> $R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} m_p, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ <p>Определяются в зависимости от ГСОП и особенностей района строительства</p>
<p>б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы</p>	<p>б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование)</p> $k_{об}^{\text{тп}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ <p>Определяется в зависимости от отапливаемого объёма здания и ГСОП,</p> $0,084 < k_{об}^{\text{тп}} < 1,206$
<p>в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств различных видов ограждающих конструкций зданий с учетом объемно-планировочных решений здания и выбора систем поддержания микроклимата для достижения нормируемого значения этого показателя:</p> $q_h^{\text{рег}}, \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут)}$ <p>или $\text{кДж/(м}^3 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут)}$,</p> $80 < q_h^{\text{рег}} < 140$	<p>в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование)</p>

Данные нормативные документы являются модификацией СНиП П-3-79* «Строительная теплотехника» и содержат повышенные требования к теплозащите ограждающих конструкций и расходу энергетических ресурсов зданиями. Актуализация данных строительных норм и правил вызвана необходимостью ужесточения норм по тепловой защите зданий (в 2003 году), а затем требованиями к учёту не только тепловой энергии, расходуемой зданием на отопление, но и энергии на охлаждение и вентиляцию здания, а также осознанием необходимости учёта многих факторов, формирующих тепловой баланс здания, работу бытовых приборов,

теплопоступления от людей, влияющих на микроклимат в здании. Сравнительная характеристика показателей энергоэффективности представлена в таблице 15.

Таблица 17 – Сравнение требований к энергоэффективности зданий в СНиП 23-02-2003 и СП 50.13330.2012

СНиП 23-02-2003	СП 50.13330.2012
Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания
Ограничение температуры и недопущению конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции, за исключением окон с вертикальным остеклением	Ограничение минимальной температуры и недопущению конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающих конструкций в холодные период года, за исключением светопрозрачных конструкций с вертикальным остеклением (с углом наклона заполнения к горизонту 45° и более)
Удельный показатель расхода тепловой энергии на отопление здания	Удельная теплозащитная характеристика здания
Теплоустойчивость ограждающих конструкций в теплый период года и помещений зданий в холодный период года	Теплоустойчивость ограждающих конструкций в теплый период года
Воздухопроницаемости ограждающих конструкций и помещений зданий	Воздухопроницаемости ограждающих конструкций
Защите от переувлажнения ограждающих конструкций	Влажностному состоянию ограждающих конструкций
Теплоусвоение поверхности полов	Теплоусвоение поверхности полов
Классификация, определение и повышение энергетической эффективности проектируемых и существующих зданий	Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий
Контроль нормируемых показателей, включая энергетический паспорт здания	Контроль показателей отсутствует

В таблице 16 представлено сравнение требований к энергоэффективности по СНиП 23-02-2003 и СП 50.13330.2012. Таким образом, сравнивая эти два документа, можно сделать вывод о том, что порядок проектирования уровня тепловой защиты зданий не изменился. Различия прослеживаются в требованиях к уровню энергоэффективности, а именно, какой показатель выступает в знаменателе формулы удельного расхода энергетических ресурсов: в СНиП 23-02-2003 это квадратный и метр общей площади здания или кубический метр объёма здания, а в СП 50.13330.2012 это только кубический метр объёма здания, кроме этого, в СП появились дополнительные коэффициенты.

Анализируя таблицу 16, можно сделать вывод о том, что СП 50.13330.2012 содержит требования к энергоэффективности зданий, аналогичные СНиП 23-02-2003, с некоторым уточнением и учётом расхода энергоресурсов на вентиляцию зданий. Следует подчеркнуть, что в актуализированном своде правил отсутствует показатель контроля нормируемых показателей, что противоречит закону № 261-ФЗ, в котором требования к энергоэффективности являются обязательными.

Требования СНиП 23-02-2003 выполняются, если при проектировании жилых и общественных зданий соблюдаются требования показателей групп «а» и «б» либо «б» и «в», и для зданий производственного назначения - показателей групп «а» и «б». Выбор показателей, по которым будет вестись проектирование, относится к компетенции проектной организации или заказчика. Методы и пути достижения этих нормируемых показателей выбираются при проектировании. Требования СП 50.13330.2012 выполняются при одновременном выполнении требований «а», «б» и «в». Таким образом, требования к тепловой защите здания ужесточаются.

При проектировании здания допускается применять более высокие требования по теплозащите, устанавливаемые заказчиком, для достижения более экономичного использования энергетических ресурсов. За базовый уровень энергоэффективности принимается класс энергоэффективности С. Всего в данном СНиП

указаны 5 классов энергетической эффективности зданий, устанавливаемых на стадии проектирования (таблица 18). Необходимо отметить, что стадия эксплуатации здания в СНиП 23-02-2003 отсутствует.

Таблица 18 – Классы энергетической эффективности зданий
(СНиП 23-02-2003)

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

Таким образом в СНиП 23-02-3003 установлено 5 классов энергоэффективности. За базовый уровень принимается величина удельного расхода тепловой энергии на отопление здания q_h^{reg} кДж/(м²*°С*сут) или кДж/(м³* °С*сут). В СП 50.13330.2012 установлены уже 10 классов не энергоэффективности, а энергосбережения для жилых и общественных зданий (таблица 6). За базовый уровень принята удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий ($q_{от,в}^{tr} \frac{Вт}{м^3} * °С$).

Таким образом, актуализация СНиП 23-02-2003 привела к разнице в определении терминов «энергоэффективность» и «энергосбережение», отождествляя их, что является противоречием и приводит к неверному истолкованию нормативно-

правовых документов, в том числе, основного закона об энергоэффективности № 261-ФЗ.

Таблица 19 – Классы энергосбережения жилых и общественных зданий
(СП 50.1330.2012)

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчётного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
A++	Очень высокий	Ниже -60	Экономическое стимулирование
A+		От -50 до -60 включительно	
A		От -40 до -50 включительно	
B+	Высокий	От -30 до -40 включительно	
B		От -15 до -30 включительно	
C	Нормальный	От -5 до -15 включительно	Мероприятия не разрабатываются
		От +5 до -5 включительно	
		От +15 до +5 включительно	
При эксплуатации существующих зданий			
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании или снос
E	Низкий	Более +50	

Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление зданий в СНиП 23-02-2003 находится в пределах от 80 до 140 кДж/(м² * °С * сут), для жилых многоквартирных домов и в пределах от 20 до 42 кДж/(м³ * °С * сут) для остальных домов. А в СП 50.1330.2012 аналогичный показатель имеет другие единицы измерения и находится в пределах от 0,336 до 0,579 ($q_{от}^{тр}, \frac{Вт}{м^3 * °С}$) для малоэтажных

жилых многоквартирных зданий и в пределах от 0,232 до 0,455 ($q_{от}^{тр}, \frac{Вт}{м^3 \cdot ^\circ C}$) для остальных зданий.

Таким образом, можно сделать вывод, что переход от СНиП 23-020-2003 к СП 50.13330.2012 показал ужесточение нормативных требований к энергосбережению в зданиях. По мнению автора, актуализация данного документа показала несоответствие в определениях и требованиях: так, классификация классов зданий по энергоэффективности преобразована в классификацию зданий по энергосбережению, которая не указана в законе № 261-ФЗ, и, следовательно, не является обязательным требованием. Очевидно, что такой подход к техническому нормированию в строительной отрасли является недопустимым.

Анализируя строительные нормы и правила, регламентирующие энергетическую эффективность производственных зданий, также можно сделать вывод об их недостаточности. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий производственного назначения регламентируется СНиП 31-03-2001 «Производственные здания», в котором также не содержится раздела по энергосбережению, таким образом, проектирование, строительство и эксплуатация энергоэффективных общественных зданий осуществляется по СНиП 23-02-2003, что существенно ограничивает их энергетическую эффективность. Свод правил СП 56.13330.2011 «Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001» не содержит требований к энергоэффективности производственных зданий.

В развитие и дополнение общефедеральных норм и правил в субъектах РФ приняты ТСН, которые установили обязательные для применения в пределах соответствующих территорий и рекомендуемые положения, учитывающие природно-климатические и социальные особенности, национальные традиции и экономические возможности республик, краев и областей России. Основой для ТСН по энергетической эффективности стали Московские городские строительные нормы «Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектрообеспечению» (МГСН 2.01-99), однако по существующему законодательству МГСН,

как и другие территориальные строительные нормы, не имеют юридических оснований для своего существования. ТСН, безусловно, относятся к сфере технического регулирования, но в законе от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» территориальный аспект вообще не отражен – территориальные строительные нормы не предусмотрены. В Градостроительном кодексе прописано, что техническое регулирование в строительстве относится к полномочиям федеральных властей. Фактически закон «О техническом регулировании» и Градостроительный кодекс лишают территории права устанавливать технические нормы.

Анализируя подзаконные акты к закону № 261-ФЗ, можно сделать вывод о том, что они обязывают учитывать показатели энергоэффективности зданий, но не на всех этапах жизненного цикла, а только на этапах проектирования и эксплуатации, таким образом, системный подход к организации жизненного цикла не соблюдается. Основной эффект повышения энергоэффективности планируется достигнуть начиная с 2016 года: усредненное снижение энергопотребления на 30%, а к 2020 г. на 40%. При этом обязанность обеспечения заложенных в проект показателей энергоэффективности возложена в основном на застройщика. В связи с этим становится актуальной характеристика современного состояния нормативно-методической базы создания и управления энергоэффективными зданиями, позволяющая оценить законодательный процесс в области их проектирования, строительства и эксплуатации как целостную систему, определить основное направление его развития, внутреннюю организацию, взаимодействие с внешней средой и выявить существующие противоречия. Авторы считают целесообразным представить нормативно-правовую базу процесса создания энергоэффективных зданий как систему. С этой целью предлагается использовать матричный подход. Форма матричного представления позволяет оценить нормативные документы, регламентирующие все этапы жизненного цикла энергоэффективных зданий от проектирования до эксплуатации (строки матрицы) с учётом их типов, классифицированных согласно (столбцы матрицы). Матрица представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Матрица нормативно-правовой базы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий

Стадия		Проектирование		Строительство	Эксплуатация	
Нормы						
Федеральные нормативные документы		Федеральный закон № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» Федеральный закон № 384-ФЗ от 31.12.09. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей» ГОСТ Р 51387-99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение» ГОСТ Р 51388-99 «Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения» ГОСТ Р 51379-99 «Энергетический паспорт промышленного потребителя ТЭР» ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости»				
Строительные нормы и правила и Своды правил по типам зданий	Гражданские	Одноквартирные	СП 50.13330. 2012 (СНиП 23-02-2003) «Тепловая защита зданий» СП 23-101-04 «Проектирование тепловой защиты зданий»	СП 55.13330.2011 (СНиП 31-02-2001) «Дома жилые одноквартирные»	Отсутствует	СП 50.13330. 2012 (СНиП 23-02-2003) «Тепловая защита зданий»
		Многоквартирные		СП 54.13330.2011 (СНиП 31-01-2003) «Здания жилые многоквартирные», СП 31-107-2004 «Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий»	Отсутствует	
		Общественные		СНиП 31-05-2003 «Общественные здания административного назначения»	Отсутствует	
	Производственные	СП 56.13330.2011 «Производственные здания» (показатели энергоэффективности отсутствуют)		Отсутствует		
Нормативные документы субъектов РФ		МГСН 2.01-99, ТСН «Энергетическая эффективность в жилых и общественных зданиях» Постановление Правительства Москвы от 5 октября 2010 г. № 900-ПП		Отсутствует		

На основе представленной матрицы можно сделать вывод о том, что, несмотря на то, что СП 50.13330.2012 (СНиП 23-02-2003) и СП 23-101-2004 позволяют обеспечить тепловую защиту зданий на всех стадиях создания и эксплуатации, они ограничивают энергетическую эффективность зданий пределами минимального расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, не рассматривая другие виды энергетических ресурсов. Также в них не рассмотрены вопросы энергетической эффективности производственных зданий по их типам. СП 55.13330.2011 (СНиП 31-01-2001) и СП 54.13330.2011 (СНиП 31-01-2003) также ограничивают энергетическую эффективность зданий пределами минимального расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, не рассматривая другие виды энергетических ресурсов. Таким образом, необходимым становится разработка СНиП, регламентирующих энергетическую эффективность зданий, учитывающую другие виды потребляемых энергетических ресурсов, учитывающие их на протяжении всего жизненного цикла зданий.

Обязательные и рекомендуемые положения, определяющие конкретные параметры и характеристики отдельных частей зданий и сооружений, строительных изделий и материалов и обеспечивающие техническое единство при разработке, производстве и эксплуатации этой продукции устанавливают государственные стандарты Российской Федерации в области строительства. Государственная стандартизация энергосбережения и энергоэффективности в строительстве проводится в соответствии с ГОСТ Р 1.2 и ГОСТ Р 1.5 на базе организаций Госстандарта России и Госстроя России. Основными из стандартов по энергетической эффективности в РФ можно считать ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей», ГОСТ Р 51387-99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения» и ГОСТ Р 51379-99 «Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов». Анализируя нормативно-методическое обеспечение процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий,

можно сделать вывод о том, что в целом, уровень стандартизации в данной сфере для страны явно недостаточен. Стандарты энергоэффективности в сфере строительства перерабатывались в 2000 году. В настоящее время объекты строительства, во многом, не соответствуют требованиям этих стандартов. Тем не менее, уже реализованные в стране технологии требуют введения новых стандартов энергоэффективности зданий и сооружений. Особенно это относится к реализации концепций «нулевого» и «умного» дома, применению средств энергообеспечения на возобновляемых источниках энергии (ветер, энергия солнца, тепловые насосы, геотермальные источники). С 1 марта 2013 года в России введён в действие новый стандарт ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости», рассмотренный в п. 2.1 диссертационного исследования.

Таким образом, построенная матрица обладает научной новизной, так как она основана на авторском матричном подходе и позволяет выявить проблемы и определить направления развития нормативно-методического обеспечения строительного производства энергоэффективных зданий, а именно:

- ограничение энергетической эффективности зданий пределами минимального расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, не рассматривая другие виды энергетических ресурсов;
- отсутствие учёта специфики проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных общественных зданий неадминистративного назначения и производственных зданий;
- отсутствие актуальных СНиП по организации строительного производства энергоэффективных зданий, так как в настоящее время процесс организации строительного производства регламентируется СП 48.13330.2011, не содержащий разделов по энергосбережению и энергетической эффективности. Таким образом, становится необходимым разработка СНиП, регламентирующих организацию процесса строительства энергоэффективных зданий, которые должны

обеспечивать целенаправленность всех организационных, технических и технологических решений на достижение конечного результата – ввода в действие объекта с необходимыми параметрами энергетической эффективности в установленные сроки.

В связи с этим можно сделать вывод о том, что на данный момент времени нормативно-правовая система проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий находится в начальной стадии становления, гармонизации с зарубежными нормами, частично противоречива и не способствует эффективности процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий.

5.2. Проблемы обеспечения энергоэффективности зданий на уровне организации строительного производства и процессов строительства

Эффективная организация процессов проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий неразрывно связана с выявлением организационных аспектов на всех стадиях жизненного цикла. Под организационными аспектами авторами понимаются управленческие воздействия на процессы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий, рассмотренные с точки зрения науки об организации строительного производства [87].

Необходимость выявления данных аспектов обусловлена несогласованностью действий органов, управляющих энергетической эффективностью, а также недостаточностью методологической поддержки процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий. Так, согласно «Плану мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации», направленному на реализацию Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», утверждённому распоряжением

Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2009 г. № 1830-р, ответственными исполнителями в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности определены Минэкономразвития, Минэнерго, Минромторг, Минрегион, ФАС, ФСТ, Ростехнадзор, Роспотребнадзор, а также органы исполнительной власти субъектов РФ и органы местного самоуправления. Становится очевидным, что такое количество органов приводит к неизбежным разногласиям в распорядительных документах и, как следствие, снижению эффективности организации и управления энергетической эффективностью не только в строительной отрасли, но и в экономике в целом.

Правительство России своим Постановлением № 318 от 25 апреля 2011 г. приняло «Правила осуществления государственного контроля за соблюдением требований законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». Там же внесены изменения в некоторые акты Правительства, определяющие полномочия органов исполнительной власти при осуществлении государственного контроля. Правилами установлено, что госнадзор за соблюдением требований законодательства об энергетической эффективности осуществляется уполномоченными на то органами исполнительной власти федерального и регионального уровня. Конкретно эти органы не названы.

Положение усугубляется тем, что в настоящее время большая часть нормативных документов в строительной отрасли являются рекомендуемыми, кроме тех, которые влияют на безопасность зданий и сооружений. Более того, в РФ отсутствуют актуальные СНиП по организации строительного производства энергоэффективных зданий, так как в настоящее время процесс организации строительного производства регламентируется СНиП 12-01-2004 «Организация строительства», не содержащий разделов по энергосбережению и энергетической эффективности.

Несмотря на сложившуюся ситуацию, автором проанализированы регламентирующие документы в сфере энергоэффективности строительной отрасли и

выявлены организационные аспекты процессов проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий.

Организация строительства – это комплекс взаимоувязанных организационных, технических, планово-экономических и финансовых документов и мероприятий. Организация – это управление процессами, следовательно, организационные аспекты являются управленческими, состоящими из нескольких элементов – сбор информации, обработка информации, управленческое воздействие и контроль. Необходимость выявления данных аспектов обусловлена, по мнению автора, недостаточностью методологической поддержки процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий. В настоящее время большая часть нормативных документов в строительной отрасли являются рекомендуемыми, кроме тех, которые влияют на безопасность зданий и сооружений. Одной из причин этого является то, что в обеспечении энергетической эффективности, в первую очередь, должен быть заинтересован собственник (заказчик-застройщик), от решений которого зависит уровень энергоэффективности зданий.

Положение усугубляется отсутствием актуальных СНиП по организации строительного производства энергоэффективных зданий, так как в настоящее время процесс организации строительного производства регламентируется СП 48.13330.2011 (СНиП 12-01-2004) «Организация строительства», не содержащий разделов по энергосбережению и энергетической эффективности. Таким образом, организация проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий, должна начинаться с выявления организационных аспектов процессов их жизненного цикла.

На стадии **проектирования** достижение показателей энергоэффективности зданий обеспечивается требованиями Письма Госстроя РФ № НК-5607/6 от 10 сентября 2003 г., основные требования которого к соблюдению энергетической эффективности зданий следующие:

- осуществлять жесткий контроль за соблюдением в проектных решениях нормативных требований по экономии энергоресурсов;

- уделять особое внимание применению прогрессивных энергосберегающих технологий, изделий, материалов и оборудования (эффективные утеплители в ограждающих конструкциях зданий, стеклопакеты для заполнения оконных проемов, трубы из полимерных материалов для инженерных сетей и др.);
- строго контролировать наличие в проектах приборов учета, контроля и регулирования основных энергоносителей (тепло, горячая и холодная вода, газ) как на вводах в здание, так и поквартирно;
- содействовать широкому применению наиболее перспективных источников теплоснабжения (автономные крышные, встроенные и пристроенные котельные, теплогенераторы и др.);
- не рекомендовать к утверждению и возвращать на доработку проектно-сметную документацию с отступлениями от требований действующих нормативных документов и методических рекомендаций в части энергосбережения и теплозащиты;
- не принимать к рассмотрению проектно-сметную документацию, в которой отсутствуют конкретные технические решения, обеспечивающие соблюдение обязательных нормативных требований в части энергосбережения и теплозащиты.

СНиПы и СП, регламентирующие энергоэффективность зданий, устанавливают, проектирование зданий должно быть направлено на достижение необходимого уровня энергоэффективности и энергосбережение, причём оценка этого уровня должна быть построена на теплотехнических характеристиках наружных ограждающих конструкций. Для этого в проекте становится обязательным раздел 10.1 «Энергоэффективность», содержащий в том числе энергетический паспорт здания, содержащий информацию о присвоении класса энергоэффективности здания, заключение о соответствии проекта здания требованиям норм и рекомендации по повышению энергетической эффективности в случае необходимости доработки проекта.

Необходимо подчеркнуть, что важным организационным аспектом на стадии проектирования является мотивация проектировщиков на достижение показателей энергоэффективности, так как в настоящее время мотивационные механизмы проектирования зданий с необходимым уровнем энергоэффективности недостаточно проработаны.

Принятое в нашей стране законодательство о саморегулируемых организациях создает предпосылки к введению новых правил повышения энергоэффективности при строительстве и к повышению заинтересованности проектных организаций в принятии экономичных и эффективных решений. В праве проектных СРО использовать для повышения конкурентоспособности опыт своих коллег за рубежом.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 235 от 13.04.2010, с 1 мая 2010 г. раздел 101 «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов» должен содержать:

- перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности;
- обоснование выбора оптимальных архитектурных, функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений и их надлежащей реализации при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта с целью обеспечения соответствия зданий, строений и сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов;
- перечень требований энергетической эффективности, которым здание, строение и сооружение должны соответствовать при вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации, и сроки, в течение которых в процессе

эксплуатации должно быть обеспечено выполнение указанных требований энергетической эффективности;

- в графической части – схемы расположения в зданиях, строениях и сооружениях приборов учета используемых энергетических ресурсов.

В соответствии со ст. 37 Закона № 261-ФЗ, начиная с мая 2010 г. за несоблюдение требований законодательства об энергетической эффективности (стадии проектирования, реконструкции, капитального ремонта, строительства) проектные организации могут быть оштрафованы.

Выявление организационных аспектов на стадии **строительства** энергоэффективных зданий связано, прежде всего, с тем, что во время строительства может произойти существенное отклонение от проектных показателей, что обусловлено технологическими возможностями подрядной организации, сменой поставщика материалов для строительства, форс-мажорными обстоятельствами, возникшими в процессе строительства здания. Данные изменения могут существенно повлиять на показатели энергоэффективности, заложенные в проекте, следовательно, необходим инструментальный контроль элементов здания, влияющих на его теплоэнергетические характеристики. Также важно обеспечивать организационные процессы строительства здания, направленные на энергосбережение на всех строительных работах, учитывая при этом характеристики надёжности, прочности конструкций, комфортного микроклимата в построенном здании. Вследствие этого возникает проблема строительной технологичности, в связи с необходимостью согласования требований архитектурно-строительной компоновки, с одной стороны, и организационно-технических решений, их возведения с другой.

Таким образом, организация строительства зданий должна быть направлена на достижение показателей энергетической эффективности, чему способствуют такие организационные аспекты как авторский, государственный и строительный надзор, сертификация производственного процесса строительства для получения запроектированных показателей энергоэффективности. Ввод зданий

в эксплуатацию должен осуществляться после строгого соответствия построенного здания проектным данным по энергетической эффективности, что в настоящее время не всегда соблюдается. Согласно закону № 261-ФЗ, соответствие показателям энергоэффективности зданий, а также их оснащение приборами учёта энергоресурсов обязаны застройщики. Они же наряду с Госстройнадзором несут ответственность за результаты проверки соответствия вводимых в эксплуатацию зданий. Таким образом, в иных случаях застройщик проверяет сам себя.

Энергетическая эффективность зданий на стадии эксплуатации зависит не только от организации их проектирования и строительства, но и в значительной степени от реального технического состояния этих строительных объектов. Большая часть нормативных документов по проектированию зданий и сооружений регламентирует лишь обеспечение начальной энергетической эффективности. Вместе с тем изменения, происходящие в окружающей среде, как природного (глобальное потепление климата, изменение сейсмичности и др.), так и техногенного характера (интенсивное развитие производств и транспорта, увеличивающее промышленную динамику; местные изменения экологического состояния окружающей среды и локальные изменения физико-химических свойств грунтов под зданиями и сооружениями и др.) оказывают существенное влияние на техническое состояние строительных объектов, а, следовательно, и на энергетическую эффективность, меняя её в худшую сторону.

Для принятия эффективных решений по повышению энергетической эффективности в эксплуатируемых зданиях необходима объективная информация о количестве потребляемых энергетических ресурсов, которую можно получить лишь с помощью регулярного обследования или мониторинга. Для этих целей необходим анализ не только несущей способности объектов, но и обследование технического состояния инженерных систем, теплотехнических и акустических свойств конструкций.

В настоящее время нормативными документами, связанными с обследованием технического состояния объектов являются ВСН 58-88(р) и СП 13-102-

2003, в которых приведена классификация технического состояния зданий и сооружений, даны определения категорий их состояния, включающие необходимые действия заказчика работ при установлении той или иной категории объекта обследования. Однако эти документы не касаются обследования технического состояния инженерных систем (оборудование, трубопроводы, электрические сети, сети газификации, водоснабжения и водоотведения и др.), теплотехнических и акустических свойств конструкций и мониторинга показателей потребления энергетических ресурсов зданиями. Данные организационные аспекты процесса эксплуатации зданий должны учитываться посредством периодически проводимого энергетического аудита новых и реконструируемых зданий, а также мониторинга показателей приборов учёта энергоресурсов.

Выявленные организационные аспекты процессов проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий представлены автором в таблице 21.

Таблица 21 – Организационные аспекты процессов проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий

Стадия	Организационные аспекты	Регламентирующие документы
Проектирование	выбор материалов и конструкций, оборудования, обеспечивающих оптимальное расходование энергоресурсов в конкретной ситуации	Письмо Госстроя РФ № НК-5607/6 от 10.09.2003 г. Постановление
	контроль за соблюдением в проектных решениях нормативных требований по экономии энергоресурсов	Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 г. Постановление
	контроль наличия в проектах приборов учета, контроля и регулирования основных энергоносителей	Правительства РФ № 235 от 13.04.2010 г. Приказ Минэкономраз-
	раздел «Энергетическая эффективность» проектной документации	вития РФ № 229 от 4.06.2010 г.
	энергетический паспорт здания, заполняемый на стадии проекта	Приказ Минрегион-развития № 262

	определение класса энергоэффективности здания	от 28 мая 2010 г. Постановление Правительства РФ № 318 от 25.04.2011 г.
Строительство	получение разрешения на строительство	Закон № 190-ФЗ от 29.12.2004
	выбор подрядной организации	
	сертификация производственного процесса строительства для получения запроктированных показателей энергоэффективности	Закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. Постановление Правительства РФ
	внутренний надзор за строительным процессом и контроль показателей энергоэффективности	№ 318 от 25.04.2011 г.
	внешний государственный, административный, авторский, технический строительный надзор и контроль показателей энергоэффективности	
	сдача объекта приемочной комиссии и оценка соответствия построенного здания запроктированным показателям энергоэффективности	
Эксплуатация	повторное заполнение энергетического паспорта	Приказ Минрегионразвития № 262 от 28.05.2010 г.
	контроль показателей удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания	Приказ Минэнерго России от 19.04.2010 №182 Постановление Правительства РФ № 19 от 25.01.2011
	периодичное/внеплановое обследование здания и его инженерных систем	
	периодический энергетический аудит здания и показаний приборов учета энергоресурсов	
	разработка мероприятий по повышению энергетической эффективности зданий	

Как видно из таблицы 20, законодательных и регламентирующих документов в области энергетической эффективности достаточно много, причём автором приведён не полный перечень, а только основные из них. Таким образом, можно выделить недостатки существующей нормативной базы, регламентирующей процессы жизненного цикла энергоэффективных зданий:

- Отсутствие эффективных мотивирующих механизмов к достижению проектировщиками, застройщиками и собственниками зданий показателей энергоэффективности и обеспечения в них комфортного микроклимата на всех стадиях их жизненного цикла.
- Отсутствие единой системы подзаконных актов к закону № 261-ФЗ и нескоординированность действий министерств и ведомств по обеспечению энергетической эффективности зданий.
- Отсутствие системности требований в области энергосбережения, а именно: по расходу энергии, по требованиям к ограждающим конструкциям зданий и оборудования, по требованиям к методам контроля приборов учёта и показателей энергоресурсов.
- Отсутствие единых рекомендуемых показателей энергетической эффективности зданий.

Авторы считают, что работа по преодолению выявленных недостатков является необходимым условием внедрения стратегии развития и планирования организационных структур и процессов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Необходимо разработать единую методологическую основу политики энергосбережения в зданиях, направленную, в первую очередь, на совершенствование процессов организации жизненного цикла зданий. Данный подход позволит системно подойти к проблеме повышения энергоэффективности и распространится на все аспекты проектирования,

строительства и эксплуатации: от выбора строительных материалов и энергосберегающих способов СМР до их утилизации после демонтажа здания, а также возможности рециклинга.

5.3. Проблемы обеспечения энергоэффективности зданий на уровне методологии процессов организации жизненного цикла

Необходимо подчеркнуть, что выполнение жёстких требований к повышению энергетической эффективности зданий требует от современной науки организации производства создания новой методологии, позволяющей организовывать процессы жизненного цикла зданий таким образом, чтобы на всех этапах достигался высокий уровень энергоэффективности. Энергоэффективность за рубежом давно развивается, а Россия находится в начале пути. Несмотря на принятие основополагающего закона № 261-ФЗ, до сих пор не разработано и не введено действенных механизмов и правил его реализации. За время реализации закона было принято большое количество противоречащих друг другу документов. Очевидно, что при сохранении сложившейся ситуации системы энергоэффективности в России не будет. И это очень большая проблема, требующая системного подхода во всех отраслях народного хозяйства. По мнению авторов, в рамках комплексного решения данной проблемы в строительной отрасли необходима оптимизация организационных структур и производственных процессов в строительстве, требующая применения методов системного и процессного подходов к моделированию процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий. Учитывая сложность, многоаспектность данной задачи, можно утверждать, что её решение требует от современной науки разработки такой методологии организации строительного производства, которая позволяла бы обеспечивать энергоэффективность зданий не только на стадии проектирования, но и на всех стадиях жизненного цикла. Несмотря на принятые нормативно-правовые документы, содержащие требования к повышению энергоэффективности зданий, в

настоящее время недостаточно проработана методология организации процессов по выполнению данных требований.

Несмотря на активную политику, направленную на энергосбережение и повышение энергетической эффективности, в том числе в строительной отрасли, по мнению автора, в настоящее время нерешёнными остаются многие проблемы:

1. Принятая в России практика проектирования нового здания с определённым классом энергоэффективности либо реконструкции существующего здания с целью повышения этого класса не учитывает динамики жизненного цикла: заказчик и проектировщик не заинтересованы ни в энергосбережении, ни в повышении энергоэффективности своего здания, мотивирующие механизмы для этого отсутствуют.

2. Организация строительного производства в нашей стране не направлена на энергосбережение: в настоящее время процесс организации строительного производства регламентируется СП 48.13330.2011 (актуализированном СНиП 12-01-2004 «Организация строительства»), не содержащий разделов по энергосбережению и энергетической эффективности.

3. Строительство новых зданий осуществляется без учёта принципов устойчивого развития среды жизнедеятельности, согласно которым основой гармоничного развития является разумный выбор между реконструкцией существующего здания или сносом, со строительством нового.

4. Существующая нормативно-техническая база энергоэффективного строительства регламентирует осуществление отдельных процессов, например, ужесточению теплотехнических требований к ограждающим конструкциям, повышению уровня тепловой защиты зданий в целом, в то время как повышение требований к теплозащите зданий приводит не только к повышению стоимости строительства, но и отрицательно влияет на долговечность ограждающих конструкций. Таким образом, отсутствуют требования к системного подхода к управлению процессами.

5. На государственном уровне практически не уделяется внимания к завершающей стадии жизненного цикла зданий: вывода из эксплуатации, демонтажа и утилизации и рециклингу строительных материалов после демонтажа, в то время как в России строительная индустрия потребляет до 50% общего объема добываемых природных ресурсов.

По мнению авторов, одной из основных причин появления данных проблем является отсутствие системного подхода к организации жизненного цикла зданий. Ключевым моментом здесь является взгляд на здание не только как на статический объект, но рассмотрение его в аспекте жизненного цикла, во взаимосвязи и динамике всех процессов: проектирования, строительства, эксплуатации и выводе из эксплуатации.

Организация и управление жизненным циклом зданий как энергетических систем с учётом энергосбережения и энергоэффективности является предметом изучения зарубежных учёных, изучающих эту проблему более 50 лет и достигнувших значительных результатов, в частности, известны примеры проектирования и строительства зданий с нулевым потреблением невозобновляемых энергоресурсов. Обобщённый обзор зданий с нулевым энергопотреблением и методик их расчёта, проведённый зарубежными учёными на основе результатов 51 научного исследования, представленный в [264], позволил его авторам сделать важный вывод, что несмотря на различные определения и методы расчёта «нулевых» зданий, в целом методологической основой их проектирования является системный подход, а также учёт динамики жизненного цикла зданий как системы.

Системный подход является основой методологии энергоэффективности, принятой в странах ЕС. Авторы считают целесообразным гармонизировать с европейскими стандартами энергоэффективности разработку методологии процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий, в частности, в применении системного подхода и международных стандартов ISO 14001, ISO

9001 и ISO 50001. Процесс гармонизации российских и европейских нормативных документов начался в 2003 году с появлением СНиП 23-02-2003 и в настоящее время активно развивается. По мнению авторов, концепция процессов организации жизненного цикла зданий является логическим продолжением интегрирования концепций жизненных циклов строительных материалов и конструкций зданий как элементов единой системы. В здании, спроектированном и построенном в соответствии с концепцией рационального строительства, потребление воды, сырья, энергии, земли сводится к минимуму в течение всего жизненного цикла. Согласно Европейской концепции рационального строительства важно рассматривать весь жизненный цикл здания, так как энергия, используемая зданием равна сумме энергии, необходимой в течение всего периода его эксплуатации и энергии, необходимой для строительства и сноса здания. Анализ жизненного цикла представляет собой учет всех положительных и отрицательных воздействий продукции на окружающую среду. Такие воздействия оцениваются на каждом этапе существования продукта от создания до утилизации (т.е. с момента добычи сырья до момента прекращения использования продукта, сопровождаемого сносом здания) с использованием показателей, учитывающих отходы, выбросы и потребление ресурсов.

В соответствующем методологии системной энергоэффективности документе «Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности (Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency), международная аббревиатура ENE» научно обосновано, что при планировании и проектировании строительства или реконструкции крупного строительного объекта необходимо произвести оценку затрат, связанных с энергопотреблением основных и вспомогательных производственных процессов, инженерного оборудования на протяжении всего периода эксплуатации. Это необходимо делать, так как впоследствии затраты на совокупное энергопотребление могут иметь значительную долю совокупной стоимости владения, которая должна быть рассчитана для всего срока службы строительного объекта. В

документа приведён практический пример того, что на этапе планирования и проектирования нового объекта потенциал энергосбережения оказывается выше, а инвестиционные затраты значительно ниже, чем при внедрении мероприятий по повышению энергоэффективности объекта в процессе эксплуатации. Эта закономерность проиллюстрирована на рисунке 40. По мнению авторов, данный подход должен применяться при организации жизненных циклов зданий и в России, так как его эффективность доказана многолетним опытом энергоэффективного строительства в развитых странах.



Рисунок 40 – Соотношение потенциала энергосбережения и объёма инвестиций на этапах проектирования и эксплуатации

При энергоэффективном проектировании объектов строительства, по мнению авторов, целесообразно использовать методический аппарат, используемый при проведении энергоаудита на существующих предприятиях. При этом нужно иметь в виду, что энергоэффективность оборудования при новом строительстве

наименее затратно рассчитать на этапе проектирования, в то время как для существующего строительного объекта затраты могут возрасти на величину стоимости самого оборудования. Таким образом, энергосберегающие организационно-технические решения наиболее эффективно принимать на стадии проектирования объекта. Это проиллюстрировано на рисунке 41.

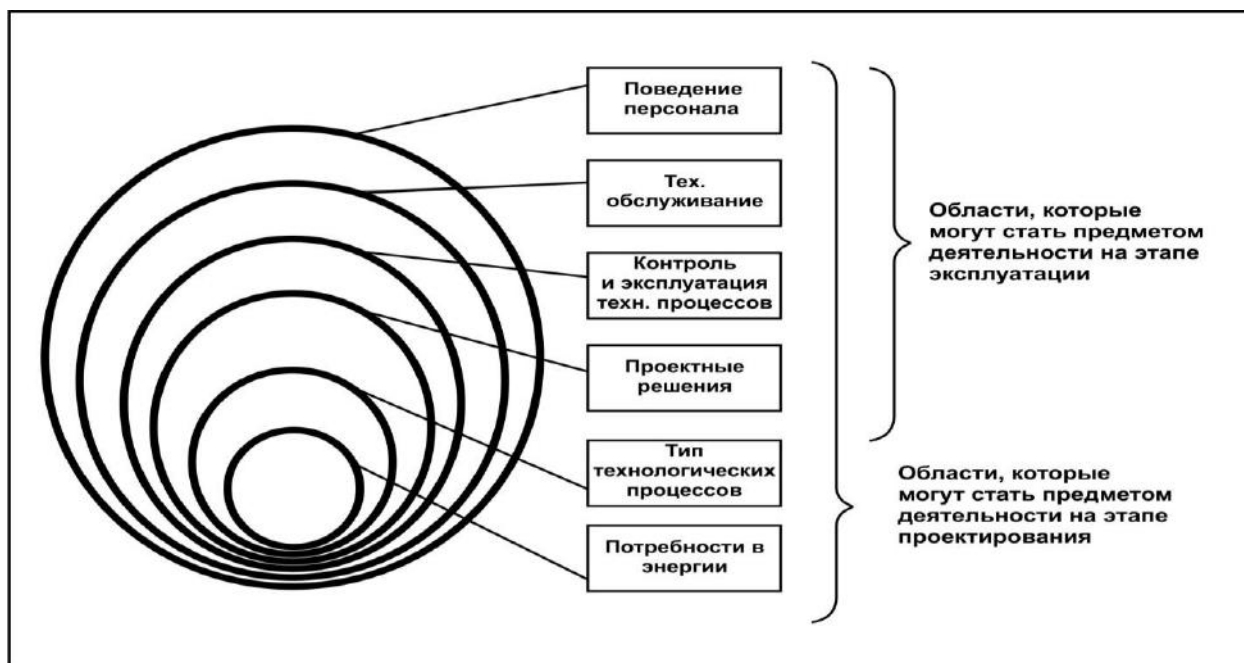


Рисунок 41 – Области деятельности на этапах проектирования и эксплуатации строительных объектов

По мнению авторов, для создания энергоэффективных зданий в России не хватает не осознания необходимости принятия концепции устойчивой архитектуры (sustainable architecture), согласно которой в расчет эффективности принимается потребления зданием энергии на протяжении всего его жизненного цикла – от производства стройматериалов, строительства, эксплуатации до утилизации. При этом важнейшее условие – обеспечение комфортного для человека микроклимата.

Большинство крупных западных производителей строительных материалов в основу концепции собственной экологичности ставят анализ жизненного цикла – life cycle analysis LCA. Этот подход подразумевает оценку экологического воздействия материала на каждом этапе его «жизни», начиная с производства, заканчивая возможностью утилизации. Данная концепция является методологической основой в разработанных «зелёных» стандартах зданий, являющихся обязательными для применения в западных странах и рекомендуемыми в России. Перечень данных стандартов представлен автором на рисунке 42.

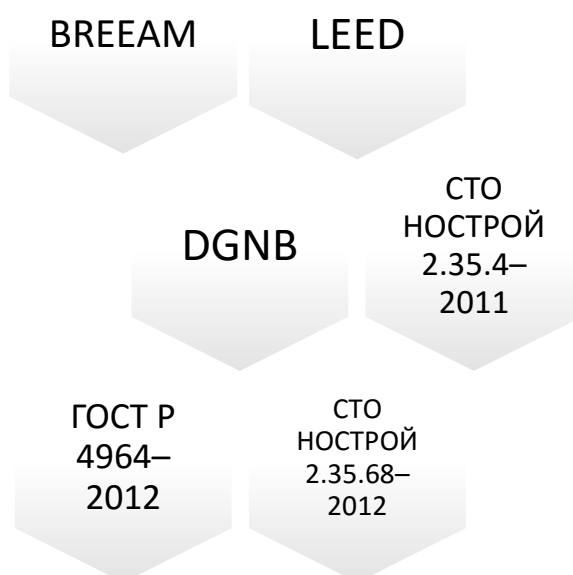


Рисунок 42 – Зарубежные и российские системы и стандарты, учитывающие энергоэффективность при оценке жизненного цикла зданий

Необходимо отметить, что отечественные гармонизированные ГОСТ Р 54964–2012 и национальные стандарты СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011, СТО НОСТРОЙ 2.35.68–2012 основаны на нормах РФ (ГОСТы и СНиПы), а также стандартах систем BREEAM (Building Research Establishment Environmental

Assessment Method, «Метод оценки экологической эффективности от Исследовательского института строительства», Великобритания) и LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, «Руководство в энергетическом и экологическом проектировании, США). Эти стандарты являются международными, применяются для рейтинговой оценки зданий по различным показателям, в том числе по уровню энергоэффективности. Однако также необходимо отметить, что в данных стандартах и системах не учитываются организационные аспекты строительного производства энергоэффективных зданий, данное направление остаётся в настоящее время актуальным.

Таким образом, только подход к процессам организации жизненного цикла строительных объектов в целом позволит достичь того уровня энергоэффективности, который необходим для соблюдения принципов устойчивого развития. Моделировать стадии жизненного цикла строительных объектов необходимо с позиции целостности, так как они диалектически взаимосвязаны, их функции, структура образуют целостную модель. Методология изучения генезиса жизненного цикла энергоэффективного здания как единого целого позволяет решить ряд вопросов, связанных с достижением необходимого уровня его энергоэффективности. Изучение жизненного цикла энергоэффективных зданий позволяет исследователю:

- установить взаимосвязи между его этапами: проектирования, строительства, эксплуатации, реконструкции и вывода из эксплуатации;
- определить значимость, длительность и энергоэффективность этапов жизненного цикла;
- разработать объективные оценки энергетической эффективности зданий в зависимости от того, на каком этапе жизненного цикла находится оцениваемый объект;
- прогнозировать сроки проведения текущего и капитального ремонтов зданий с учётом потерь энергоресурсов при износе материалов и конструкций.

РАЗДЕЛ 6. ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОЯЩИХСЯ И СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ

6.1. Внедрение системотехнических принципов энергоэффективности зданий

В процессе анализа современных методологических основ строительного производства авторы пришли к выводу, что разработка методических подходов к обеспечению энергоэффективности зданий должна осуществляться на основе фундаментальных и современных наук, таких как системотехника строительства. Данное утверждение основано на том, что энергоэффективное здание является сложной энергетической системой, представляющей собой не аддитивное сложение элементов, а их системную, синергетическую интеграцию. Системотехника как научно-техническая дисциплина изучает созданные человеком сложные технические, организационные, управленческие системы, к которым в полной мере относятся автоматизированные системы управления, планирования, проектирования, строительства. Становление и развитие системотехники строительства связано не только и не столько с его компьютеризацией, сколько с изменившимся инженерным мышлением. Оно необходимо для проектирования, строительства и эксплуатации сильно усложнившихся объектов и систем, проявивших неизвестные ранее проблемы, в том числе стыковые.

По мнению крупного специалиста в области системотехники строительства Гусаковой Е.А., для изучения жизненного цикла строительных объектов необходимо подходить к их исследованию с позиции биологических систем, функционирующих в условиях внешней среды и сохраняющих целостность при

внешних воздействиях. Изучение жизненного цикла биологических систем способствует решению организационно-технических задач и выявлению закономерностей жизненного цикла зданий.

Системотехнический подход в строительстве основан на постулате об универсальности принципов и законов организации и развития сложных природных биологических, социально-экономических и технологических (в т. ч. строительных систем). Общими являются предъявляемые требования высокой организации, экономичности, гибкости, надёжности, приспособляемости. Практическое применение таких подходов во многих областях науки и техники подтвердило их универсальность. Биологические системы являются наиболее высокоорганизованными системами. Они обладают такими качествами устойчивости функционирования, которые пока лишь частично достигаются при создании строительных объектов и их систем управления.

По мнению авторов, в настоящее время процессы жизненного цикла зданий организованы таким образом, что характеристики энергоэффективности зданий достигаются простым суммированием архитектурных, конструктивных, инженерных решений зданий, при этом не рассматривается их взаимозависимость и взаимодействие в системе и не уделяется внимание организационным аспектам жизненного цикла здания. В связи с этим не достигается необходимого уровня энергоэффективности и не обеспечивается его преемственности на всех стадиях жизненного цикла. Именно поэтому необходимо рассматривать энергоэффективные здания с позиции теории функциональных систем – динамически работающих организаций. Системный подход, основанный на теории функциональных систем, позволяет изучать системную взаимосвязь здания, его внутренней оболочки и внешней среды. Согласно академику П.К. Анохину, «функциональная система представляет собой систему активно объединённых процессов, которые, раз объединившись, стремятся сохранить созданную архитектуру соотношений». Центры, управляющие компонентами функциональной системы, стремятся к сохранению установленных определённым образом взаимодействий

между ними. По своей архитектуре функциональная система целиком соответствует любой кибернетической модели с обратной связью, и поэтому изучение свойств различных функциональных систем организма, сопоставление роли в них частных и общих закономерностей, несомненно, послужит познанию любых систем с автоматической регуляцией. Функциональная система является универсальным принципом организации процессов и механизмов, заканчивающихся получением конечного приспособительного эффекта [12]. П.К. Анохин утверждает о сходстве и различиях живого организма и замкнутых механических систем, функционирующих на основе автоматической регуляции с обратной связью. Именно такими системами являются современные энергоэффективные здания, управляемые автоматическими системами поддержания заданного уровня микроклимата и характеристиками энергоэффективности. Такое сопоставление позволяет с пользой для технических систем раскрыть необъятные возможности тех принципов организации, которыми располагает центральная нервная система живого организма.

Интерпретация жизненного цикла энергоэффективных зданий с позиции системного подхода делает обоснованным применение методов системотехники и позволяет:

- рассмотреть здание как единую энергетическую систему и понять объединяющие причинно-следственные связи, характеризующие преобразования начальной ситуации в конечную;
- установить взаимосвязи функциональных подсистем и их процессов на границах основных стадий жизненного цикла энергоэффективного здания;
- обеспечить преемственность уровня энергетической эффективности зданий на всех стадиях развития системы от проектирования до ликвидации или реконструкции зданий с переходом на новый уровень энергетической эффективности.

Новизна применения системотехнического и функционального подходов к организации жизненного цикла здания заключается в осознании здания как системы, состоящей из функциональных подсистем и проходящей в своём развитии все стадии жизненного цикла. Применение принципов системотехники строительства способствует решению организационно-технических задач, которые невозможно решить стандартными методами.

С целью совершенствования методологии организации строительного производства энергоэффективных зданий автором диссертационного исследования сформированы новые принципы, учитывающие системный подход к строительству и специфику энергоэффективности, то есть системотехнические принципы, основанные на общих принципах системотехники и новых требованиях к энергоэффективности (рисунок 43).



Рисунок 43 – Системотехнические принципы энергоэффективности зданий

1. Функционально-системный принцип энергоэффективности зданий.

Системообразующим фактором является конкретный результат (целевая функция) функционирования системы. Этот принцип полностью соответствует жизненному циклу энергоэффективных зданий как строительных систем, где сложность иерархии, множество целей, несоподчиненность и ненадежность критериев по отдельным подсистемам делают весьма актуальным достижение конечного результата по вводу и функционированию объектов строительства и

многим другим показателям. Именно результат – достижение зданиями необходимого уровня энергоэффективности является системообразующим фактором в строительном производстве и требует переориентации многих организационно-технологических и управленческих решений, которые еще часто принимаются без подчинения их достижению конечного результата, о чём свидетельствуют многочисленные разрозненные нормативно-методические акты, нормирующие энергоэффективность зданий.

2. Вероятностно-статистический принцип энергоэффективности.

Модульность и многовариантность является одним из главных принципов обеспечения гибкости строительного производства. В строительстве длительность, сметная стоимость, трудоемкость и другие показатели являются вероятностными в силу воздействия на них случайных факторов, поэтому они должны характеризоваться распределениями, отражающими вероятности достижения запроектированной величины этих показателей. Это утверждение в полной мере относится и к энергетической эффективности зданий, уровень которой находится в некоторых пределах и зависит от вероятностного изменения исходных данных (проектных решений) и влияния внешних условий (процессов строительства и эксплуатации, испытывающих влияние как внутренних, так и внешних воздействий). Изучение на основе вероятностно-статистического принципа моделей и методов, применяемых для исследования таких сложных систем как энергоэффективные здания, показало, что проблемы строительного производства могут решаться только с помощью вероятностных моделей, в которых рассматриваемые переменные (энергопотребление, теплозащита и др.) являются случайными величинами. При этом необходимо сразу отбросить предположение, согласно которому определенным значениям переменных всегда соответствует одно, поддающееся расчету, значение целевой функции. Необходимо принять, что значение целевой функции выражается статистическими распределениями, находящимися в стохастической зависимости от всех статистических распределений значений параметров системы.

3. Имитационно-моделирующий принцип энергоэффективности зданий.

Этот принцип заключается в исследовании сложных систем при помощи методов математического моделирования. В строительстве с его сложными организационно-технологическими и управленческими системами моделирование становится единственно возможным методом исследования. Этот принцип находит всё большее применение в моделировании энергоэффективных зданий, так как системы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий, безусловно, относятся к классу наиболее сложных систем, как по своей структуре, так и по функционированию. Сложные функциональные системы характеризуются показателем эффективности, в качестве которого принимают функционал от процесса функционирования. Например, в качестве основного показателя энергоэффективности зданий согласно СНиП 23-02-2003 принят показатель удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, величина которого зависит от процесса функционирования здания как единой энергетической системы. Применение имитационно-моделирующего принципа связано с усложнением строительных систем, организации их функционирования в условиях требований к энергоэффективности, когда увеличивается число параметров, наиболее существенно отражающих функционирование системы и достижение заданного результата. Проблема может быть сформулирована в виде многоцелевой оптимизационной задачи, характеризующейся наличием нескольких и конкурирующих целей, набором возможных решений, которые не predetermined, но неявно определяются набором параметров и набором ограничений, которые должны быть приняты во внимание для достижения оптимального решения. Одним из перспективных направлений реализации имитационно-моделирующего принципа является функциональное моделирование. Функциональное моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий представляет собой сложнейшую задачу, решение которой требует применения специальных методик и инструментов.

4. Интерактивно-графический принцип энергоэффективности зданий.

Методология организации и управления современным строительным производством в условиях повышения требований к энергоэффективности зданий требует применения графических способов представления информации и её корректировки и использования в интерактивном режиме. В этой связи актуальными становятся применение различных технологий моделирования энергоэффективных зданий, применяющиеся на этапах проектирования, строительства и эксплуатации. В настоящее время в архитектурно-строительном проектировании применяются системы электронного описания 3D модели здания и его информационных параметров (EPD), информационное моделирование зданий (BIM), а также 4D технологии моделирования зданий с привязкой к календарному графику строительства. В течение жизненного цикла здания информация может изменяться, дополняться и объединяться. Содержащаяся в модели информация может изменяться, дополняться, заменяться, отражая текущее состояние здания. Таким образом, информационное моделирование зданий позволяет совмещать работу над проектом не только в пространстве, но и во времени. Применение интерактивно-графического принципа позволяет управлять жизненным циклом здания, осуществлять сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании, в том числе о потреблении энергоресурсов и показателей энергоэффективности, со всеми взаимосвязями и зависимостями, когда здание и все, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект. Применение этого принципа позволяет создавать и корректировать динамические базы показателей, характеризующих энергоэффективность зданий.

5. Инженерно-экономический принцип энергоэффективности зданий.

Согласно данному принципу оценку энергоэффективности зданий необходимо производить не только с технической, но и с организационной и экономической точек зрения. Отсутствие комплексных показателей и критериев оценки

экономической эффективности – наиболее существенный методологический недостаток применяемых методов оценки энергетической эффективности в строительстве. Принятые в настоящее время показатели либо ограничены одним из видов энергетических ресурсов, либо не позволяют оценить здание как единую энергетическую систему. Показатели, применяемые в настоящее время, подходят для расчёта энергоэффективности зданий только на стадиях проектирования и строительства, а на стадии эксплуатации зданий постоянное вычисление их не имеет экономического смысла. По мнению авторов, их применение недостаточно для мотивации собственников к повышению уровня энергоэффективности зданий. Действующие методики по определению эффективности организационно-технических решений в достаточной степени не учитывают экономические интересы ни отдельных участников инвестиционно-строительного процесса, ни строительной отрасли страны в целом. Единственным ориентиром является программа по снижению энергоёмкости в 2020 году по отношению к 2007 году ВВП на 40%. Реализация сформулированных системотехнических принципов энергоэффективности обусловлена их интеграцией в существующую систему организации строительного производства и нормативно-правовое поле требований к энергоэффективности. Оценочными критериями реализации являются определённые целевые показатели, характеризующие энергоэффективность и энергосбережение. Согласно системному подходу, кроме нормируемых значений удельного расхода тепловой энергии в зданиях необходимо обеспечить необходимый уровень комфортности при экономии затрат на другие энергоресурсы и соблюдения комфортного микроклимата при оптимальных затратах материальных и финансовых ресурсов. Выполнение этой сложной задачи возможно только при помощи методологических подходов, учитывающих все стороны зданий как сложных систем. Внедрение системотехнических принципов позволит обеспечить необходимый уровень энергоэффективности на всех стадиях строительного производства. Предлагаемые принципы могут быть использованы при разработке механизмов достижения, заданных в 261-ФЗ целевых показателей и при

утверждении правил и нормативов, так как они основаны на достижениях современной фундаментальной науки – системотехники. Применение принципов системотехники позволит системно решать сложные задачи организации строительства энергоэффективных зданий, а также поддержания необходимого уровня энергоэффективности на всех стадиях их жизненного цикла. Таким образом, реализация системотехнических принципов должно стать методологической основой строительного производства энергоэффективных зданий и способствовать повышению энергетической эффективности не только в рамках нормируемых показателей, но и всей строительной отрасли в целом.

6.2. Внедрение методологии системного и процессного подходов к организации жизненного цикла энергоэффективных зданий

Главная задача системного подхода сводится к установлению заданного состояния функционирования системы, которое является её целевым ориентиром. Следовательно, главная задача системного подхода в организации жизненного цикла энергоэффективных зданий сводится к такому функционированию здания, при котором достигался бы высокий уровень энергоэффективности на всех стадиях. Системный подход к организации жизненного цикла энергоэффективных зданий отвечает также принципам устойчивого развития среды жизнедеятельности и системотехническими принципами энергоэффективности.

По мнению авторов, в настоящее время организация жизненного цикла зданий не отвечает основным принципам системного подхода, а именно:

1. Целеполагание – основной целью строительства, эксплуатации или реконструкции здания не всегда ставится высокий уровень энергоэффективности, отсутствует методика комплексной оценки энергопотребления зданием, учитывающая потребление энергоресурсов на всех стадиях жизненного цикла. Инвесторы, проектировщики, строители и эксплуатирующие организации имеют разные цели и стремятся достигнуть их на разных этапах жизненного цикла здания.

2. Внешняя среда системы – наружный климат, земная поверхность как источник энергии и энергетический обмен между зданием и внешней средой учитывается на стадии проектирования. На стадиях строительства и эксплуатации взаимодействие здания и внешней среды учитывается только со стороны внешней среды (при принятии решения об утеплении наружных ограждающих конструкций), и не учитывается влияние здания на среду (инфраструктура здания, энерго-ресурсообмен, утилизация строительных материалов после ремонтных работ, реконструкции и демонтажа здания).

3. Внутренние компоненты здания как системы – учёт взаимосвязи архитектурно-планировочных, конструктивных, инженерных, энергетических подсистем зданий, направленных на их высокую энергоэффективность, осуществляется не в массовой застройке и реконструкции, а лишь в отдельных пилотных проектах зданий, сертифицированных по «зелёным» стандартам энергоэффективности.

4. Функционирование системы – отсутствует единый центр ответственности за организацию взаимодействия энергетических ресурсов и подсистем здания по достижению высокого уровня энергоэффективности, его учёта и контроля, мотивации и регулированию.

С точки зрения системного подхода энергоэффективность здания – это не статическая характеристика, а динамическая, изменяющаяся на протяжении всего жизненного цикла: от инвестиционного замысла до вывода из эксплуатации. Необходимо подчеркнуть, что при выборе проектных решений нужно учитывать то, что совокупные энергетические затраты на строительство здания, первичные энергозатраты на добычу и переработку сырья, производство строительных материалов, конструкций, производство строительно-монтажных работ, транспортные расходы, инженерное оборудование здания могут существенно превышать суммарные эксплуатационные энергозатраты на отопление и вентиляцию здания за весь расчетный срок эксплуатации здания и затраты на его дальнейшую утилизацию.

Организация жизненного цикла здания как жизненного цикла сложной системы представляет собой целенаправленное упорядоченное взаимодействие взаимосвязанных элементов (подсистем здания) и внешней среды для достижения цели – высокой энергетической эффективности. Данная цель является основополагающей, определяющей вектор развития жизненного цикла зданий и сооружений. Изображение жизненного цикла здания как системы позволит концептуально сегментировать его по стадиям, описать контрольные точки продвижения системы по жизненному циклу и, таким образом, принимать решения по определённым критериям (например, высокая энергоэффективность) до продвижения системы на следующую стадию. Стадии жизненного цикла образуют структуру работ для детализированного моделирования жизненных циклов системы при использовании процессов жизненного цикла системы.

С целью обобщения вышеизложенного авторами разработана схема жизненного цикла здания как системы (рисунок 44).

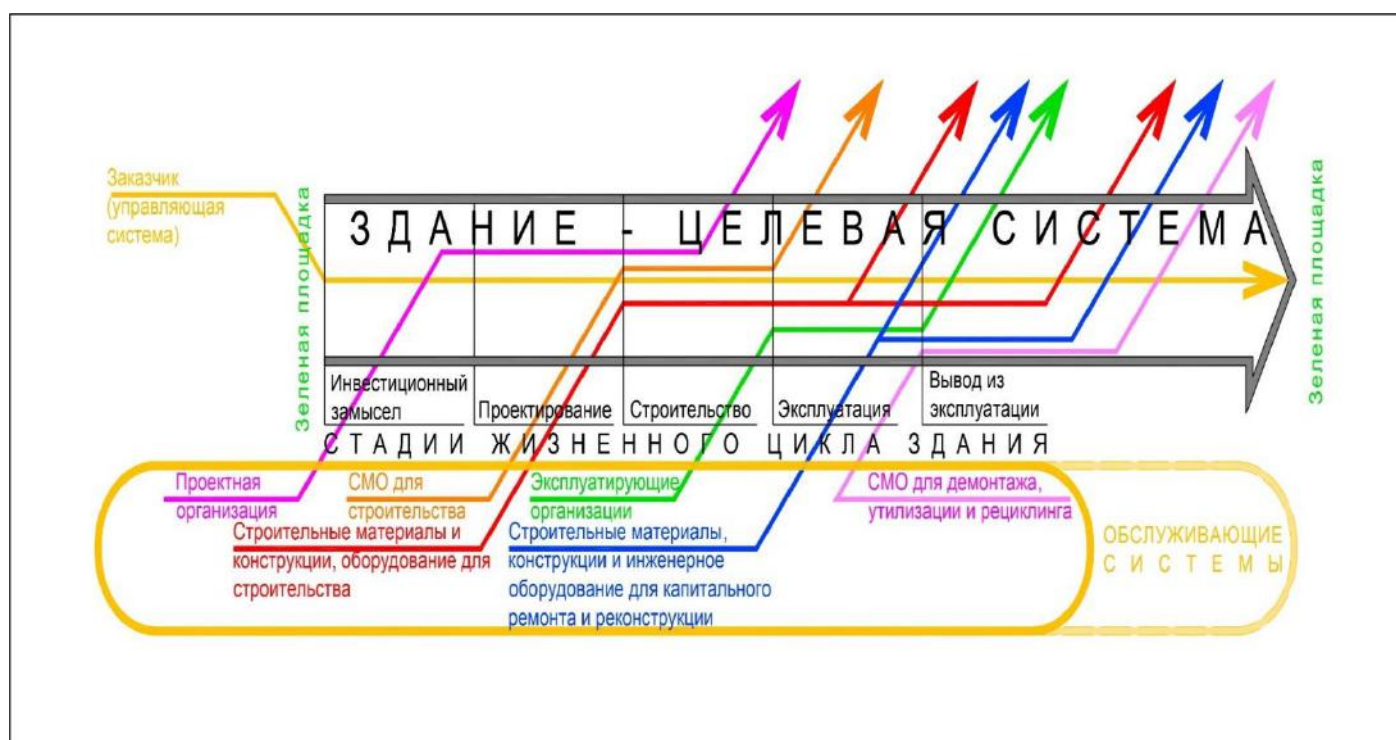


Рисунок 44 – Схема жизненного цикла здания как системы

На рисунке жизненный цикл здания представлен с позиции классического изображения жизненного цикла систем, принятом в системной инженерии [ISO/IEC 15288:2008].

Видно, что здание как система существует на всех стадиях жизненного цикла, и на всех стадиях происходит взаимодействие с внешней средой. Целевая функция системы обеспечивает его основные характеристики, если целевой функцией задать энергоэффективность, то здание на протяжении всего жизненного цикла будет являться энергоэффективным, причём понятие «энергетическая эффективность» применительно к зданиям, объединяет в себе такие важные характеристики как энергосбережение, ресурсосбережение без потери надёжности, комфортабельности и способствующее устойчивому развитию среды жизнедеятельности человека. Жизненный цикл здания как системы является, таким образом, сложной системой процессов, обычно обладающих параллельными, итеративными, рекурсивными и зависящими от времени характеристиками: в течение жизненного цикла здания как системы взаимодействуют с внешней средой, через них проходят материальные, людские, финансовые, информационные и другие потоки, являющиеся подсистемами. На разных стадиях жизненного цикла зданий эти потоки определённым образом видоизменяются и покидают систему, выполнив свои функции по отношению к ней. По мнению авторов, предлагаемая схема может служить структурной основой процессов и действий, относящихся к жизненному циклу любого здания как системы.

В настоящее время во время строительства и эксплуатации зданий не соблюдается преюмственность показателей энергоэффективности, заложенных на стадии проекта, так как отсутствует центр ответственности и контроля за их выполнением. Энергоэффективность здания должна быть обеспечена на всех стадиях жизненного цикла. Запроектированные параметры энергетической эффективности могут претерпеть существенное изменение в ходе процесса строительства и на стадии эксплуатации здания, так как имеет место ряд субъективных и

объективных факторов, таких как природно-климатические условия строительства, изменение характеристик применяемых материалов в процессе эксплуатации, замена инженерного оборудования на стадии эксплуатации и т.д.

Здания являются статическими объектами, однако их жизненные циклы происходят в динамике, проектирование, строительство и эксплуатация зданий являются процессами. Таким образом, энергоэффективность зданий должна обеспечиваться на всех стадиях жизненного цикла, от инвестиционного замысла строительства и до вывода их из эксплуатации, следовательно, жизненный цикл энергоэффективных зданий необходимо рассматривать с позиций не только системного, но и процессного подхода. Таким образом, здание как энергетическая система, проходит все стадии своего жизненного цикла, являющиеся процессами. Управление данными процессами, согласно процессного подхода, должно основываться на выделении центра ответственности за соблюдением уровня энергетической эффективности зданий.

Согласно закона № 261-ФЗ «обеспечить соответствие зданий, строений, сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов обязаны застройщики путем выбора оптимальных архитектурных, функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений и их надлежащей реализации при осуществлении строительства, реконструкции, капитального ремонта». Таким образом, главным ответственным за энергетическую эффективность зданий на протяжении всего жизненного цикла является застройщик.

Однако застройщик, осуществляющий только строительные работы, не заинтересован ни в подготовке проекта, задающего уровень энергоэффективности здания, ни в эксплуатации его после завершения строительства и подписания акта приёмки здания. Поэтому единым центром ответственности за соблюдение уровня энергоэффективности зданий должен стать заказчик, который напрямую заинтересован в появлении данного здания на стадии инвестиционного замысла

строительства. Заказчик является собственником здания и таким образом, является центром ответственности за его энергетическую эффективность.

В российском законодательстве понятия «заказчик» и «застройщик» как правило, объединяются в единое понятие «заказчик-застройщик». Если заказчик не является застройщиком, он заключает договор с инвестором и наделяется правами владения, пользования и распоряжения капитальными вложениями на определенный период. Если же застройщик выступает в качестве заказчика, тогда он и получает статус «заказчик-застройщик».

Являясь единым центром ответственности, заказчик-застройщик обеспечивает преемственность показателей энергоэффективности зданий на всех стадиях жизненного цикла, что позволяет подходить к его моделированию с позиций процессного подхода. Авторами предлагается концептуальная схема процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий, рассмотренная с позиций процессного подхода (рисунок 45).



Рисунок 45 – Концептуальная схема процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий

По мнению авторов, применение системы приёмов и принципов процессного подхода позволяет представить динамику процессов проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий, что обеспечивает успешное решение теоретических и практических проблем моделирования их жизненного цикла. Строительное производство – это, в первую очередь, процесс, отображающий последовательную смену стадий жизненного цикла зданий. Моделирование жизненного цикла зданий с позиции процессного подхода позволяет обеспечить его такую важнейшую характеристику как энергоэффективность на всех стадиях жизненного цикла – от инвестиционного замысла строительства до эксплуатации и реконструкции зданий.

6.3. Имитационное моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий

При применении системного подхода к организации жизненного цикла энергоэффективных зданий можно утверждать, что одной из основных проблем является проблема принятия организационно-технических решений, так как имеет место большой уровень неопределённости, стохастичности, многовариантности. Стохастичность, строительного производства вызвана многими факторами: неопределённостью изменения на строительной площадке, альтернативностью выбора подрядных организаций, имеющих разные технологические возможности, неопределённостью в выборе поставщика строительных материалов и конструкций, обусловленная разными логистическими возможностями, неопределённостью изменения климатических условий строительной площадки, неопределённостью поведения людей и хода технологических процессов во введённом в эксплуатацию здании, изменениями эксплуатационных условий, принятию решений о ремонтах и реконструкции и так далее.

По данным европейского справочного документа по наилучшим доступным технологиям в сфере энергоэффективности для многих технологий целесообразной является оценка затрат и выгод на протяжении всего жизненного цикла. В процессах организации жизненного цикла энергоэффективных зданий существенное значение имеет методология обоснования и оценки организационно-технических решений, направленных на достижение конечного результата – ввода зданий в эксплуатацию с необходимым уровнем энергоэффективности. Необходимость моделирования энергоэффективности обусловлена сложностью здания как энергетической системы, находящейся в непрерывном развитии и взаимосвязи с внешней средой.

Под организационно-техническими решениями понимается конкретное описание технических основ и технологической схемы реализации процессов строительного производства и используемые при этом технические, экономические, нормативно-правовые и прочие мероприятия организационного характера. Существующие в настоящее время документы, регламентирующие организационно-технические в области проектирования, строительства и эксплуатации, посвящены оптимизации расходования тепловой энергии, которая является одной из основных составляющих энергопотребления строительных объектов. Важным достоинством предлагаемой экономико-математической модели является её способность определять (с учётом указанных условий) не только экономическую эффективность рассматриваемого энергосберегающего мероприятия в период его разработки или внедрения, но и дать приближённый прогноз о возможности сохранения этой эффективности в последующий период времени.

При разработке и принятии организационно-технических решений повышения энергоэффективности зданий необходимо учитывать региональные особенности. Данный учёт разработан и применён в методиках нормирования зданий, эффективно использующих тепловую энергию, а также подходы к организации строительного производства эффективно использующих тепловую энергию зданий, разработанных НИИСФ РААСН и ЦЭНЭФ.

Согласно принятой в настоящее время методике определения энергетической эффективности зданий (СНиП 23-02-2003, СП 50.13330.2012), методы их проектирования, могут быть по-разному использованы в зависимости от творческого потенциала, квалификации проектировщиков и имеющихся технических возможностей. Здесь имеет место свобода проектирования, при которой важным является достижение конечных характеристик здания, в том числе, энергоэффективности. Установленные критерии могут также использоваться для определения необходимости улучшения энергетической эффективности существующих зданий. Соответственно, такой подход к проектированию вносит серьёзные изменения в весь процесс выработки организационно-технических решений и организации строительного производства энергоэффективных зданий.

Результативность этой работы стала итогом комплекса мероприятий, начало которым положил организационно-технический анализ территориальных решений в области эффективности теплоизоляции перспективных и существующих зданий. Несмотря на то, что предложенный комплекс мероприятий учитывает региональные особенности, что, несомненно, является важным при организации строительного производства энергоэффективных зданий, в них не учитываются использование возобновляемых источников энергии (солнечной энергии, тепловых насосов, ветровой энергии), а также влияние использования систем управления зданиями, автоматически поддерживающими заданные параметры микроклимата и контролирующими показатели расхода энергоресурсов.

По мнению авторов, при выборе стройматериалов необходимо учитывать то, что, суммарные удельные энергозатраты на строительство здания (в том числе на добычу и переработку сырья, производство строительных материалов и изделий-полуфабрикатов, строительные-монтажные работы, транспорт, оборудование здания и пр.) могут существенно превышать удельные эксплуатационные энергозатраты на отопление здания за весь расчетный срок службы дома и затраты на дальнейшую утилизацию здания. Следовательно, критерием оптимальности выбранных проектных решений, в том числе и по выбору строительного

материала, наряду с критериями экологической безопасности, должны служить совокупные удельные энергозатраты на строительство здания, его эксплуатацию (отопление, ремонт и т.п.) за весь расчетный срок службы этого здания и дальнейшую утилизацию.

В настоящее время разработаны различные методики определения энергоёмкости зданий, однако в них не учтены затраты энергоресурсов на ликвидацию здания и утилизацию строительных материалов, кроме этого, либо полная энергоёмкость здания не включает в себя расходы энергоресурсов на проведение текущих и капитальных ремонтов в течение расчётного периода, а также расчёт произведён на срок эксплуатации здания 25 лет, в то время как срок службы зданий 1 группы (каменные особо капитальные) составляет 150 лет (согласно МГСН 301.01-1996 Положение по организации капитального ремонта жилых зданий в г. Москве).

В соответствии с методологией системного и функционального подходов, системотехническими принципами энергоэффективности, разработанными автором в диссертационном исследовании, руководящими документами в области энергосбережения, принципами обоснования энергоэффективных организационно-технических решений в строительстве, а также рядом работ учёных в области системного подхода к энергоэффективности зданий, можно сделать вывод о необходимости моделирования организационно-технических решений, направленных на достижение зданиями необходимого уровня энергоэффективности на всех стадиях жизненного цикла. Учитывая сложность, многовариантность данных решений, стохастичность жизненного цикла зданий, их выбор целесообразно осуществлять на основе имитационного моделирования.

Имитационное моделирование целесообразно применять, так как в настоящее время в современной науке о процессах организации проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий не решён ряд проблемных ситуаций:

1. Не существует законченной математической постановки проблемы ответственности уровня энергоэффективности на стадиях жизненного цикла энергоэффективных зданий, поэтому показатели, сформированные на стадии проектирования, могут не соблюдаться на стадиях строительства и эксплуатации, так как не существует для этого эффективных мотивирующих и контролирующих механизмов.

2. Аналитические методы проектирования энергоэффективных зданий имеются, но математические процедуры настолько сложны и трудоёмки, что имитационное моделирование даёт более простой способ решения задачи.

3. Имитационное моделирование может оказаться единственной возможностью учёта многовариантности и вероятностного характера строительного производства вследствие трудностей подготовки экспериментов и наблюдения явлений в реальных условиях.

4. Для долговременного исследования процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий может понадобиться сжатие временной шкалы. Имитационное моделирование даёт возможность управлять временем процессов, так как модельное время в программе может изменяться.

Таким образом, имитационное моделирование является одним из инструментов методологии процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий. Целью имитационного моделирования является проработка и выбор наименее энергоёмкого варианта жизненного цикла здания. Для этого необходимо выявить факторы энергопотребления зданиями в течение жизненного цикла, которые являются переменными в модели, а затем разработать алгоритм их определения и значения занести в соответствующую информационную базу данных.

Учитывая, что энергоэффективность зданий является комплексной характеристикой, зависящей от множества факторов, имеющих вероятностный характер, и то, что здания являются сложными энергетическими системами, имитационную модель процессов их жизненного цикла целесообразно описать с позиции

стохастических агрегативных систем. Учёт всех элементов зданий, архитектурно-конструкторских решений, характеристик инженерного оборудования, теплопоступлений от людей и бытовых приборов, использование вторичных источников энергии и других параметров энергоэффективности является сложной и практически нереализуемой задачей. Однако объединение факторов энергопотребления в обобщённые агрегаты позволяет учесть интегральные эффекты от их взаимодействия внутри здания как единой энергетической системы, а также при помощи имитационного моделирования проследить функционирование системы в динамике. Агрегаты – это факторы энергопотребления здания как энергетической системы. Агрегаты имеют численное выражение в натуральных показателях (тоннах условного топлива). Агрегаты привязаны и к жизненному циклу здания и к виду фактора энергопотребления. Здание как энергетическая система представляется таким образом системой элементов, выделенных в зависимости от вида энергоресурсов и от стадии жизненного цикла здания. Таким образом, авторами предлагается ввести новый термин **«агрегаты энергопотребления – факторы энергопотребления здания как энергетической системы, интегрирующие расходы энергетических ресурсов по видам энергоресурсов и по стадиям жизненного цикла здания»** [80].

Понятие агрегата ввёл основатель имитационного моделирования сложных систем Н.П. Бусленко при исследовании сложных систем как абстрактную схему функционирования сложной системы. Объединение агрегатов представляет собой агрегативные системы (А-системы) построенные на основе универсальных схем, содержащих математические схемы как частные случаи, имеющих динамический характер, описывающих обмен с внешней средой и учитывающие случайные факторы. Агрегативные системы представляют собой сложные системы, состоящие из элементов, обладающих свойствами агрегатов (имеющими входные, выходные и управляющие сигналы). Введённое выше определение агрегата энергопотребления позволяет формально описать элементы зданий как энергетических систем.

В каждый момент времени $t \in (0, T)$ агрегат имеет определённое значение энергопотребления, которое является элементом некоторого множества Z . Агрегат имеет особые входные контакты, к которым поступают в моменты времени τ_i управляющие сигналы (изменяемые пользователем характеристики энергопотребления). Управляющий сигнал g является элементом подмножества Γ . В общем случае последовательности вида (τ_i, g_i) оказываются реализациями случайных последовательностей $L(\theta, \gamma)$. Предполагается, что за конечный интервал времени в агрегат поступает конечное число входных и управляющих сигналов. На выходе агрегата образуются выходные сигналы. Выходной сигнал y является элементом некоторого подмножества Y и определяется по состояниям агрегата $z(t)$ при помощи оператора G (рисунок 46). Аналогично предполагается, что за конечный интервал времени агрегат выдаёт лишь конечное число выходных сигналов.

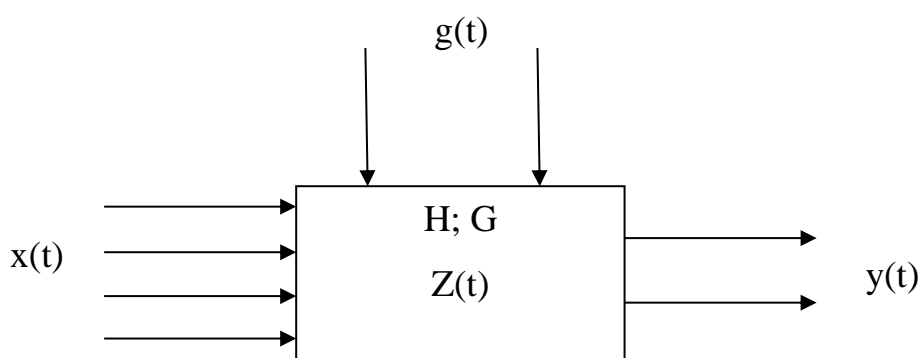


Рисунок 46 – Входные, выходные и управляющие сигналы агрегата

Оператор H называется оператором переходов (в новое состояние), а оператор G – оператор выходов. Вид оператора H зависит от того, содержит ли рассматриваемый интервал моменты времени так называемых особых состояний агрегата или не содержит. При этом под особыми состояниями агрегата понимаются его состояния в моменты получения входного управляющего сигналов или выдачи выходного сигнала.

В работах Бусленко указано, что для упрощения моделируемых алгоритмов возможно рассматривать подсистемные частные алгоритмы, которые сохраняют возможность описания достаточно широкого класса реальных систем. Стохастические динамические системы достаточно широко представляются вероятностными автоматами, переходы которых в новое состояние определяются заданными распределениями вероятностей. Поэтому решение задачи моделирования стохастических динамических систем обеспечивается применением аппарата теории марковских случайных процессов с дискретным вмешательством случая. Большое значение имеет интерпретация некоторого класса таких процессов в виде так называемых кусочно-линейных агрегатов, практически удобных для формализации таких сложных систем как энергоэффективные здания. В данных системах на агрегат не поступают управляющие сигналы g , а поступают лишь входные сигналы x . С формальной точки зрения это не ограничивает общности, поскольку в качестве x можно рассматривать входной сигнал в широком смысле (и входной, и управляющий). В моменты времени t рассматриваемый агрегат (как объект) характеризуется внутренним соотношением $z(t)$, а также он имеет вход и выход. Сигналы поступают на вход агрегата, а с выхода регистрируются аналогично выходные сигналы. Таким образом можно выделить кусочно-линейные агрегаты, формирующие общее энергопотребление здания.

Основой организации специальных вычислительных процедур для исследования аппарата стохастических агрегативных систем является методология имитационного моделирования. С помощью агрегативного подхода могут быть описаны практически все системы, а свойства структуры стохастической агрегативной системы позволяют исследователю на основе интуитивных представлений определять возможные варианты функционирования системы – другими словами задавать «каркас» эволюции системы. При использовании стохастических агрегативных систем для построения имитационных моделей процессов развития исследователь должен задать состав системы и наиболее вероятные структуры, образующиеся в различные моменты времени [28].

Основными этапами процесса имитационного моделирования являются:

1. Постановке целей моделирования.
2. Сбор данных об исследуемой системе (объекте моделирования).
3. Поиск и обоснование формализованного представления модели.
4. Формальное описание модели в текстовом виде.
5. Подготовка исходных модулей формального языка.
6. Транслирование исходных модулей в промежуточные модули и сбор в общий файл.
7. Производство вычислений.
8. Получение и обработка результатов моделирования.

В процессе обработки результатов имитационного моделирования пользователь модели получает и накапливает статистические данные, которые могут быть использованы для анализа, различных расчётов и корректировки исходных данных моделирования. После достижения условий завершения эксперимента, с помощью системы анализа результатов можно провести статистическую обработку результатов имитаций и вычислить выбранный критерий функционирования системы. Результаты эксперимента и критерий эффективности подлежит обсуждению с экспертами проблемной области для уточнения и корректировки модели [23].

Таким образом, использование имитационной модели позволяет сочетать экспертные данные и формальный аппарат стохастических агрегативных систем. Однако, несмотря на неоспоримые достоинства имитационного моделирования, в настоящее время в России этот метод исследования сложных систем используется мало, это связано с тем, что разработка таких моделей требует больших временных и стоимостных затрат. Автор считает необходимым создание концептуальной имитационной модели энергоёмкости жизненного цикла зданий, определяющей состав и структуру системы, свойства элементов и причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения целей моделиро-

вания – экономию энергоресурсов. Очевидно, что значительная часть параметров системы – это случайные величины. Поэтому особое значение при формировании исходных данных имеют выбор законов распределения случайных величин, аппроксимация функций.

Построение имитационной модели целесообразно начинать с формирования агрегатов энергопотребления. Формирование агрегатов целесообразно осуществлять в соответствии с методиками, основанными на системном подходе. Целесообразно также использовать принципы энергоэффективного проектирования, применяемые за рубежом при процессной организации проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий как сложных энергопотребляющих объектов, от уровня энергоэффективности которых зависит уровень энергоэффективности промышленности и других отраслей народного хозяйства. С точки зрения ЭЭП и системного подхода процесс достижения высокого уровня энергоэффективности зданий должен быть непрерывным и начинаться на самых ранних этапах стадии их проектирования. Важно отслеживать то, удастся ли закрепить уровни энергосбережения, достигнутые в результате внедрения новых технологий или методов. Нередко не принимается во внимание постепенное уменьшение достигнутого эффекта в результате неэффективной эксплуатации и технического обслуживания оборудования, а также других факторов. Такой подход позволяет обеспечить дополнительное энергосбережение за весь срок службы здания в объеме более 30%.

Уровень энергоэффективности зданий зависит от множества параметров и характеристик. Группировка их по признаку участия в процессах жизненного цикла зданий позволит сформировать агрегаты энергоэффективности. Крайне важным вопросом при формировании агрегатов энергоэффективности является выбор критериев их оценки, так как агрегаты имеют различную физическую природу, а также разное функциональное назначение. В процессе оптимизации энергоэффективности очень важно использовать верные, научно - обоснованные кри-

терии. Критерием оптимальности является количественный показатель, имеющий предельную меру, и пригодный для сравнительной оценки различных вариантов. Поиск оптимального (максимального или минимального) значения выбранного критерия является целью расчетов или целевой функцией.

Общепринятым в российской и зарубежной научно-технической литературе критерием энергоэффективности является удельное энергопотребление (УЭП), которое по отношению к зданиям рассчитывается как отношение потребляемой энергии к общей площади или отопливаемому объёму здания. На основе УЭП рассчитывается интегральный показатель энергоэффективности, приведённый в 1 разделе монографии. Таким образом, критерием оценки работы агрегата с точки зрения системного подхода к энергоэффективному зданию как единой энергетической системы являются удельные энергетические затраты, которые могут быть рассчитаны на всех стадиях жизненного цикла – от проектирования до утилизации здания. Для достижения цели моделирования целесообразно интегрировать затраты энергетических ресурсов, привести все данные по энергопотреблению агрегата к первичной энергии, а также оценить их в стоимостном выражении. Проигрывая различные сценарии модели, собственник здания (застройщик) может принимать различные организационно-технические решения в процессах проектирования, строительства и эксплуатации здания таким образом, чтобы затраты энергоресурсов были бы наименьшими. В настоящее время показатели энергоэффективности зданий, принятые в нормативно-методических документах, формируются на стадии проектирования зданий на основе предварительных расчётов. При этом не учитываются организационные процессы строительного производства, в результате чего здание, вводимое в эксплуатацию, может иметь уровень энергоэффективности, отличный от проекта. В процессе эксплуатации принятые показатели должны быть пересмотрены не реже, чем раз в 5 лет и приняты меры по повышению энергоэффективности зданий. Однако при этом не производится учёт влияния энергетических затрат, осуществляемых на

обеспечение необходимого микроклимата зданий, а также энергозатрат на проведение текущих и капитальных ремонтов и утилизацию здания.

Для формирования агрегатов энергопотребления, целесообразно проанализировать существующую систему показателей, и выявить организационно-технические решения, влияющие на их значение (таблица 22).

Таблица 22 – Ключевые показатели энергоэффективности зданий

Наименование, единицы измерения	Источник	ОТР, влияющие на значение показателей
Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания численно равная расходу тепловой энергии на 1 м ³ отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в один °С, $q_{от}$, Вт/(м ³ ·°С)	СП 50.13330.2012	<ul style="list-style-type: none"> – выбор наружных ограждающих конструкций; – выбор планировки и площадей помещений; – климатические условия района строительства; – выбор источников энергообеспечения здания; – выбор системы вентиляции и кондиционирования;
Удельный (на 1 м ² отапливаемой площади пола квартир или полезной площади помещений [или на 1 м ³ отапливаемого объема]) расход тепловой энергии на отопление здания, кДж/(м ² ·°С·сутки) [или кДж/(м ³ ·°С·сутки)]	СП 50.13330.2012	<ul style="list-style-type: none"> – выбор площади и размера световых проёмов; – выбор автоматизированной системы отопления здания
Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, м ² ·°С/Вт	СНиП 23-02-2003	
Энергетическая эксплуатационная характеристика зданий, кВт·ч/(м ² ·год) (либо м ³ ·год)	СТО 17532043-001-2005	<ul style="list-style-type: none"> – выбор ограждающих конструкций с высоким сопротивлением теплопередаче; – выбор окон с повышенным до 0,55 сопротивлением теплопередаче;

Окончание таблицы 23

		<ul style="list-style-type: none"> – выбор системы вентиляции и кондиционирования; – выбор энергосберегающей системы отопления и горячего водоснабжения; – выбор энергосберегающих систем освещения; – выбор энергосберегающих электробытовых приборов; – выбор площади и размера световых проёмов; – выбор отапливаемой площади здания
--	--	---

Приведённые показатели являются ключевыми при определении энергоэффективности зданий в настоящее время. Полный перечень показателей энергоэффективности зданий приведён в ГОСТ 31427-2010 «Здания жилые и общественные. Состав показателей энергетической эффективности». Анализируя приведённые показатели и организационно-технические решения, влияющие на их уровень, можно сделать вывод о том, что, несмотря на их комплексность и то, что они являются общепринятыми во всех нормативно-методических документах, они учитывают не все энергозатраты, производимые в процессах жизненного цикла энергоэффективных зданий, что является необходимым при оценке здания с точки зрения системного подхода. Объединяя агрегаты энергопотребления как ключевые системообразующие факторы энергопотребления здания по общему признаку функционирования на стадиях их жизненного цикла, автором сформированы следующие (таблица 24).

Таблица 24 – Формирование агрегатов энергопотребления

Стадия жизненного цикла	Наименование агрегата	Обозначение агрегата
Проектирование	расходы энергетических ресурсов на производство строительных материалов и конструкций	a ₁

Строительство	расходы энергетических ресурсов на организацию строительной площадки и производство СМР	a_2
Эксплуатация	расходы энергетических ресурсов на отопление здания	a_3
	расходы энергетических ресурсов на электроснабжение, освещение здания, работу систем вентиляции и поддержания микроклимата в здании	a_4
	расходы энергетических ресурсов на водоснабжение и водоотведение здания	a_5
	расходы энергетических ресурсов на производство строительных материалов для производства текущего и капитального ремонтов	a_6
	расходы энергетических ресурсов на производство работ по текущему и капитальному ремонтам	a_7
	расходы энергетических ресурсов на утилизацию строительных материалов от производства строительных материалов для производства текущего и капитального ремонтов и после демонтажа здания	a_8
	расходы энергетических ресурсов на работы по демонтажу здания	a_9

Представленные агрегаты состоят из переменных величин, в той или иной степени меняющих своё значение на протяжении жизненного цикла здания. Их комплексное изменение обеспечивает набор характеристик, определяющих величину энергетической эффективности здания. Указанные переменные задаются на стадии проектирования здания в качестве входного интервала x (x_1, x_2, \dots, x_s) и посредством управляющих воздействий z на стадии строительства преобразуются в выходной интервал y (y_1, y_2, \dots, y_s), характеризующих энергоэффективность здания на стадии эксплуатации и на протяжении всего жизненного цикла. Используя системотехнические принципы энергоэффективности, сформулированные в п. 1.3, а именно, вероятностно-статистический и имитационно-модели-

рующей, автором предлагается использование выявленных факторов в имитационной модели энергопотребления зданиями в течение жизненного цикла. При этом целесообразно использовать аппарат стохастических агрегативных систем для расчёта энергоёмкости жизненного цикла зданий как по отдельным стадиям и агрегатам, так и в течение всего жизненного цикла, что позволяет производить многовариантные расчёты и принимать на их основе многовариантные организационно-технические решения, направленные на повышение энергоэффективности зданий.

Процесс моделирования начинается с обоснования выбора и содержание каждого агрегата, а также его участие в имитационной модели.

a_1 – расходы энергетических ресурсов на производство строительных материалов. На стадии проектирования определяются строительные материалы и конструкции будущего здания. При этом важным критерием отбора является их энергоэффективность, в том числе расходы энергоресурсов на их производство. Технологические процессы производства строительных материалов, изделий и конструкций требуют значительных затрат энергетических ресурсов, особенно таких энергоёмких как бетон, стекло, металлические изделия. Технологические особенности производства стекла требуют высоких температур (до 1500 °С), пеностекла до 1900 °С, цементный клинкер требует температуры обжига 1450 °С, обжиг извести требует температуры около 1200 °С, при производстве керамического кирпича необходима температура 1100 °С. Получение таких высоких температур требует больших энергетических затрат, также больших энергетических затрат требуют технологические процессы, связанные с высокодисперсным измельчением составляющих смеси веществ, http://ais.by/sites/default/files/images/2007_9/pg_52_iim_0002.jpg и другие процессы, связанные с получением требуемых физических и химических свойств материала. Тонна алюминия в несколько раз более энергоёмка при производстве, чем тонна стали. Диаграмма энергетических ресурсов на производство основных строительных материалов, построенные авторами представлены на рисунке 47.

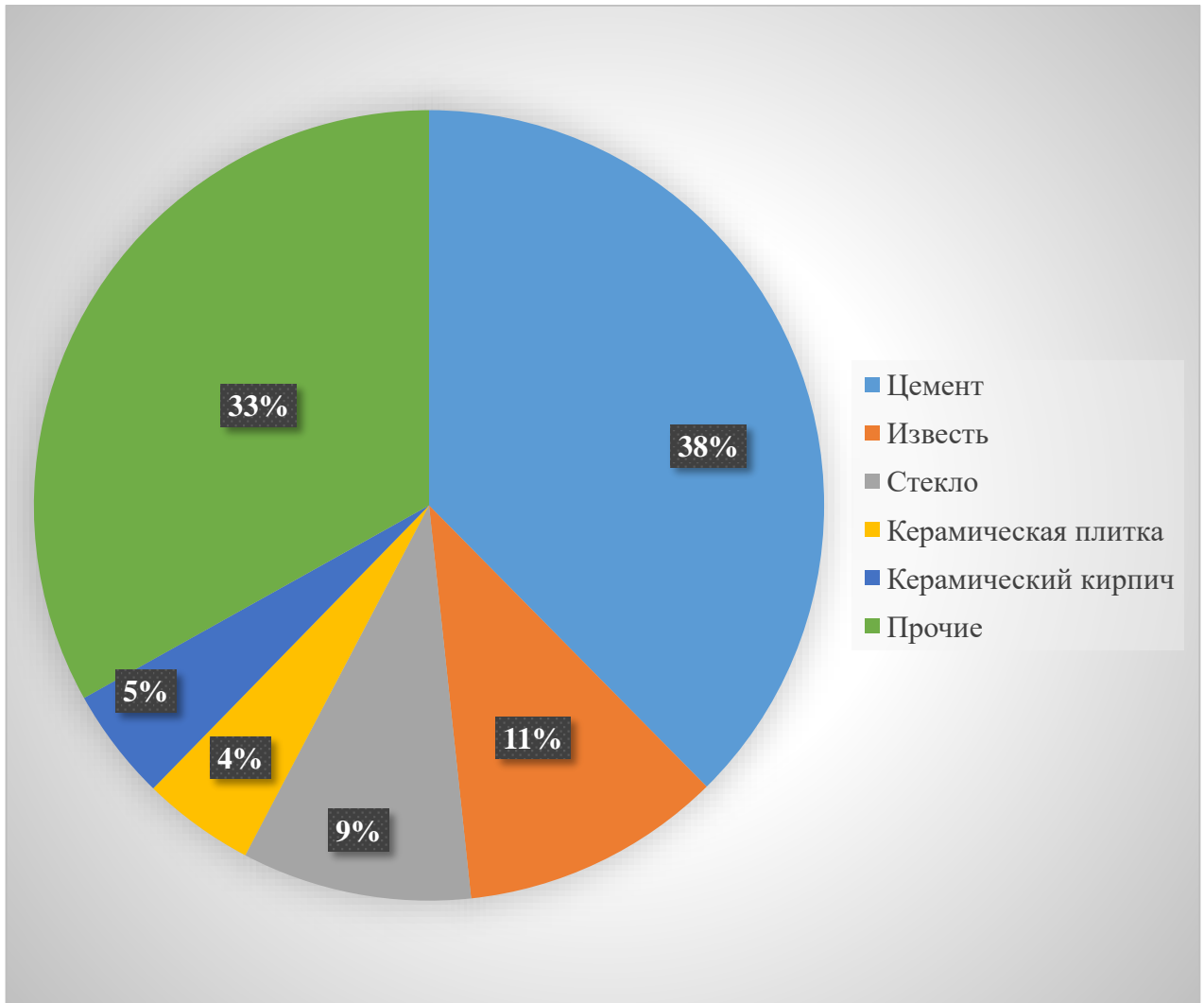


Рисунок 47 – Доли энергетических ресурсов на производство основных строительных материалов

Таким образом, производство строительных материалов сопряжено со значительными потребностями в энергетических ресурсах. По данным, приведённым в «Методических рекомендациях по разработке муниципальной программы по энергосбережению и повышению энергетической эффективности (для муниципальных образований Хабаровского края) С.В. Моториной и О.А. Поповой можно представить энергоёмкость производства основных используемых в строительстве материалов (таблица 23).

Таблица 23 – Энергоёмкость производства основных строительных материалов

Наименование материала	Ед. изм.	Энергоёмкость, кг.у.т.
Портландцемент М-400	т	280
Сталь арматурная	т	920
Металлоконструкции строительные	т	1050
Алюминиевый профиль	т	6120
Кирпич глиняный	тыс. шт. усл. кирп.	260
Кирпич силикатный	тыс. шт. усл. кирп.	85
Щебень, гравий	м ³	30
Песок	м ³	25
Полистирольный пенопласт ПС БС	м ³	35
Плиты минераловатные на синтетическом связующем жёсткие	м ³	91

Таким образом, производство строительных материалов требует значительных энергетических затрат. При выборе стройматериалов необходимо учитывать, что суммарные удельные энергозатраты на строительство здания (в том числе на добычу и переработку сырья, производство строительных материалов и изделий-полуфабрикатов, строительные-монтажные работы, транспорт, оборудование здания и пр.) могут существенно превышать удельные эксплуатационные энергозатраты на отопление здания за весь расчетный срок службы дома и затраты на дальнейшую утилизацию здания.

a₂ – расходы энергетических ресурсов на организацию строительной площадки и производство СМР.

Организация строительной площадки, технология производства строительно-монтажных работ должны быть направлены на снижение энергоёмкости своих процессов, так как все процессы, связанные с данным агрегатом являются энергопотребляющими. От качества разработанных проекта организации строительства и проекта производства работ зависит, сколько будет потреблять энергоресурсов построенное здание, от того, каким образом производятся сами работы, зависит энергоёмкость жизненного цикла зданий в целом.

На стадии строительства осуществляются значительные энергозатраты на организацию строительного производства и производство СМР. В СП 48.13330.2011 (актуализированном СНиП 12-01-2004 «Организация строительства») указано, что выбор решений по организации строительства следует осуществлять на основе вариантной проработки с широким применением методов критериальной оценки, методов моделирования и современных компьютерных комплексов. Однако данный документ не содержит организационно-технических решений и правил организации строительства энергоэффективных зданий, также отсутствует необходимость контроля и учёта экономии энергетических ресурсов в процессе СМР. Проблема энергосбережения при организационной подготовке строительства и производстве СМР остаётся актуальной, так как большинство научных работ посвящены проблемам энергосбережения на стадиях проектирования и эксплуатации зданий, однако от организации и технологии строительства зависит энергопотребление не только во время производства СМР, но затем, в процессе эксплуатации, ремонтов, реконструкции и демонтажа зданий.

При определении данного агрегата необходимо проводить сравнительный анализ энергоёмкости строительных процессов при производстве их разными организационными методами и технологическими способами. В настоящее время целостная методика определения энергоёмкости строительных работ отсутствует, отдельные авторы затрагивают разные аспекты данной проблемы. Действительно, энергоёмкость проведения СМР является сложной, многоаспектной

задачей, выбор энергосберегающих организационно-технических способов зависит от многих факторов: условия строительства. Тип, назначение здания, производство работ в тёплое или холодное время года, выбор строительных материалов, возможность организации компактной строительной площадки, возможность использования вторичных энергоресурсов при производстве СМР, возможность выбора энергоэкономичных строительных машин и так далее. По усреднённым данным, энергоёмкость процесса возведения строительных объектов составляет 0,076 т.у.т. на кв.м. площади здания [43]. Однако, по мнению автора, здесь необходимо проведение комплексных, масштабных исследований, затрагивающих все аспекты организации и технологии строительного производства, данный пласт научных исследований и методов в настоящее время ещё не освоен.

Период эксплуатации сооружения является наиболее длительной стадией жизненного цикла объекта. Все функциональные подсистемы постоянно подвергаются внешним воздействиям. Вопросы точного расчёта и прогноза всех аспектов устойчивости эксплуатационного цикла объекта строительства анализируются во многих исследованиях, посвящённых теоретической оценке надёжности и долговечности эксплуатации зданий и сооружений. Выявление количественных закономерностей эксплуатационных этапов объекта строительства и их полной формализации означало бы качественный скачок в технико-экономических обоснованиях и управлении проектами в целом. Необходимо подчеркнуть, что точное прогнозирование параметров энергетической эффективности в процессе эксплуатации здания является практически нереализуемой задачей. На этапе эксплуатации присутствует неопределённость, обусловленная как внутренними свойствами системы объекта строительства, так и объективной неполнотой сведений и реализации жизненного цикла конкретного объекта, связанная с отсутствием аналогов и индивидуальностью большинства параметров объекта. В процессе эксплуатации могут изменяться как внешние системные параметры здания (окружающая среда, нормативно-правовая и законодательная сфера, требования

технических регламентов), так и внутренняя среда здания (нелинейная динамика износа строительных материалов и конструкций, инженерных систем, воздействие теплоступлений от находящихся в здании людей и бытовых приборов, от происходящих технологических процессов), влияющих на показатели энергетической эффективности зданий. Каждое здание уникально, поэтому невозможно прогнозировать точные изменения энергетических характеристик в процессе его эксплуатации. Вследствие этого следует признать стохастическую природу развития стадии эксплуатации объекта строительства.

аз – расходы энергетических ресурсов на отопление здания.

Данный агрегат является основным при определении уровня энергетической эффективности зданий, принятым во всех нормативно-методических источниках по энергоэффективности зданий, а также научной литературе. Согласно ГОСТ 31427-2010 расход тепловой энергии на отопление здания обозначается как удельный расход тепловой энергии на отопление и определяется как количество тепловой энергии за отопительный период, необходимое для компенсации теплотерь здания с учетом воздухообмена и дополнительных тепловыделений при нормируемых параметрах теплового и воздушного режимов помещений в нем, отнесенное к единице площади квартир или полезной площади помещений здания (или их отапливаемого объема) и градусо-суткам отопительного периода ($\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$ [$\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$). Он определяется путём выбора теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания, объёмно-планировочных решений, ориентации здания и типа, эффективности и метода регулирования используемой системы отопления. Данный агрегат подробно описан в технической литературе (СП 50.13330.2012, СНиП 23-02-2003), а также в научных и учебных изданиях по теплотехнике. Его расчёт производится на стадии проектирования на основании теплотехнического расчёта при заполнении энергетического паспорта здания. Данный агрегат рассчитывается повторно при приёмке в эксплуатацию здания при повторном заполнении энергетического паспорта и в процессе эксплуатации подлежит повторному расчёту с периодичностью раз в пять лет.

Организационно-технические решения на стадии эксплуатации должны быть направлены на снижение значения данного агрегата. Соответствие проектных значений нормируемым на стадии проектирования устанавливается в энергетическом паспорте здания. При неудовлетворении приведенных выше требований усиливается теплозащита наружных ограждающих конструкций, либо выполняются мероприятия по повышению энергоэффективности систем отопления и вентиляции.

a₄ – расходы энергетических ресурсов на электроснабжение, освещение здания, работу систем вентиляции и поддержания микроклимата в здании

Формирование данного агрегата подробно описаной в 4 разделе монографии.

a₅ – расходы энергетических ресурсов на водоснабжение и водоотведение здания.

Согласно закону № 261-ФЗ вода является энергетическим ресурсом. Данный агрегат должен описывать расход энергоресурсов, как на холодное, так и горячее водоснабжение, а также на водоотведение здания. Величина данного агрегата рассчитывается на стадии проектирования здания, включая общий расход воды по зданию и стоков от здания и измеряется в м³/сут или м³/час. Вследствие того, что перевод данной величину в тонны условного топлива не имеет физического смысла, данный агрегат следует рассматривать отдельно.

a₆ – расходы энергетических ресурсов на производство строительных материалов для производства текущего и капитального ремонтов.

Данный агрегат формируется на стадии эксплуатации зданий. Методика его формирования аналогична методике формирования агрегата a₁. Производство строительных материалов, используемых для проведения текущих и капитальных ремонтов, требует значительных энергетических затрат, учитывать которые при эксплуатации энергоэффективных зданий в рамках системного подхода необходимо. Сложившаяся в настоящее время система технического обслуживания и ремонта зданий регламентирует проведение текущих и капитальных

ремонт с установленной периодичностью. Согласно ВСН 58-88р периодичность текущего ремонта должна обеспечивать эффективную эксплуатацию здания с момента ввода в эксплуатацию и до момента капитального ремонта или реконструкции. ВСН 58-88(р) устанавливает сроки минимальной продолжительности эффективной эксплуатации элементов зданий и объектов, при этом указаны элементы, не подлежащие замене на протяжении всего периода использования зданий по назначению, к ним относятся железобетонные фундаменты (срок службы 50-60 лет), крупнопанельные и кирпичные стены (срок службы 40-50 лет), деревянные стены из бруса (срок службы 30 лет). Периодичность комплексного капитального ремонта установлена равной 30 годам для всех зданий независимо от группы их капитальности.

В процессе исследования работ отечественных учёных, авторами был сделан вывод о наличии множества проблем в существующей системе текущего и капитального ремонтов. В частности, межремонтные сроки, регламентируемые нормативными документами, не соответствуют реальным потребностям в ремонтных работах, и это приводит в конечном итоге к усиленному износу отдельных элементов, конструкций, инженерного оборудования здания.

Таким образом, организация системы проведения текущих и капитальных ремонтов должна быть основана на понятии долговечности (срока службы) строительных материалов и изделий. В настоящее время единый нормативный документ, который позволил бы оценивать долговечность, отсутствует.

Тенденции современного строительства энергоэффективных зданий связаны с широким применением утеплителей наружных ограждающих конструкций, в основном это пенополистирол и минеральная вата. Более дешёвым и распространённым утеплителем является пенополистирол. С целью сохранения эксплуатационных качеств материал утеплителя необходимо защитить от атмосферных воздействий при помощи штукатурки или навесной фасадной системы, что приводит к удорожанию стоимости работ, так и повышает энергоёмкость

наружных ограждающих конструкций, обусловленной дополнительными энергозатратами на производство облицовочных материалов. Также пенополистирол применяется с целью теплоизоляции фундаментов, междуэтажных перекрытий, утепления чердаков, кровли и строительства зданий из несъёмной опалубки. Однако, несмотря на высокие теплоизоляционные качества пенополистирола ($\lambda = 0,04 \text{ Вт/м}^{\circ\text{C}}$), он имеет существенные недостатки: небольшой срок службы (от 10 до 50 лет), зависящий от качества облицовочного материала, способность к фото- и теплостарению, пожароопасностью, токсичностью при горении. Пенополистирол разрушается под действием внутренних (естественная деструкция) и внешних (атмосферные явления, жидкие агрессивные среды) факторов, изменяющих структуру материала и его физико-механические свойства. По данным исследования С.В. Коканина «при проектировании новых и реконструкции существующих зданий теплоизоляция из пенополистирола практически не поддаётся точной оценке на долговечность и гарантированный срок службы». Таким образом, критерий энергоёмкости при выборе утеплителя является чрезвычайно важным.

В монографии С.В. Александровского «Долговечность наружных ограждающих конструкций» приводятся показатели долговечности трёхслойных стен с пенополистирольным утеплителем в г. Москве. Согласно материалам данной работы снижение прочности утеплителя на 20% в стенах северной ориентации происходит в течение 54 лет, а в стенах южной ориентации – за 32 года. Ю.Д. Ясин (НИИ Строительной Физики) в своей работе «Ресурс и старение материала» приводит такие сроки службы ограждающих конструкций:

- пенополистирол внутри стены – от 15 до 50 лет;
- минеральная вата – от 20-50 лет;
- стеклопакеты клеёные – 10-15 лет;
- панели из тяжёлого бетона с утеплителем внутри – 50 лет;
- однородные стены из пустотелого керамического кирпича – от 100

до 150 лет.

Строительная индустрия в России затрачивает огромные материальные, энергетические и трудовые ресурсы на производство утеплителей и строительство с его применением внутри кладки или панели, в результате чего возводятся объекты, надёжность и долговечность которых невозможно гарантировать более чем на 25 – 30 лет. Подобный подход не только не даёт энергоресурсоэффективности, а наоборот, приводит к необоснованному перерасходу энергии и ресурсов [123]. Применение утеплителей снижает энергозатраты на отопление зданий, но повышает энергозатраты на производство работ по текущим и капитальным ремонтам зданий, требующих замены утеплителей несколько раз в течение периода эксплуатации зданий. Обосновано, что пенополистирол, которые в настоящее время широко применяется в строительстве, является экологически опасным. На основе анализа санитарно-гигиенических, физических и эстетических свойств полимерных строительных материалов или конструкций с их использованием можно утверждать, что все синтетические и полимерные строительные материалы неизбежно обладают четырьмя негативными эксплуатационными свойствами: недолговечностью, пожароопасностью, экологической небезопасностью и высокими энергозатратами на производство и утилизацию, вследствие чего их применение при строительстве любых типов жилых домов недопустимо.

a7 – расходы энергетических ресурсов на производство работ по текущему и капитальному ремонтам.

Долговечность и надёжность конструкций должна соответствовать сроку эксплуатации здания. В противном случае предусматривается возможность восстановительного ремонта ограждения, стоимость которого учитывается при определении экономической эффективности конструкции. Целью текущих и капитальных ремонтов является восстановление ресурса здания, причём текущий ремонт предполагает устранение износа без замены элемента, а капитальный ремонт подразумевает частичную или полную замену ремонтируемого элемента, конструкции, оборудования. Затраты энергоресурсов на проведение текущего и

капитального ремонта должны включать в себя затраты энергоресурсов на производство заменяемых элементов, материалов, конструкций, их транспортировку, а также производство ремонтных работ. Структура затрат материальных ресурсов и энергии при проведении ремонтных работ в целом такая же, что и при новом строительстве.

a_8 – расходы энергетических ресурсов на утилизацию строительных материалов от производства строительных материалов для производства текущего и капитального ремонтов и после демонтажа здания.

Целью утилизации является обеспечение ресурсосбережения, в том числе энергосбережения посредством вторичной переработки строительных материалов и конструкций с законченным сроком службы. Утилизируемость – требования к материалам, изделиям, продукции после истечения срока эксплуатации и/или бракованных и отходам в части их приспособленности к дальнейшему использованию или захоронению. Паспортизация отходов детализирует эти требования и обосновывает обезвреживание, утилизацию, захоронение и/или уничтожение отходов.

В настоящее время официальный документ, регламентирующий безопасность утилизации строительных материалов и изделий, находится на стадии проекта Федерального закона. Между тем проблема утилизации возрастающих объёмов строительных отходов не теряет своей актуальности как в России, так и зарубежных странах. При организации жизненного цикла энергоэффективных зданий необходимо учитывать, что на утилизацию строительных материалов требуются энергоресурсы. Грамотная утилизация позволяет экономить не только энергоресурсы, но и способствует улучшению экологической ситуации и устойчивому развитию. Вторичное использование утилизируемых материалов, например, производство щебня бетона, позволяет экономить в 8-кратном размере энергоресурсы, затрачиваемые на производства первичного щебня из сырья. Кроме этого, при утилизации железобетона получается вторично использовать энергоёмкий металл.

В России ежегодно образуется всего 15-17 млн. т строительного мусора, 60% которого составляют кирпичные и железобетонные отходы. В Москве доля строительного мусора выросла 25% от общего объема отходов и составила в 2004 году 4 млн. т (тогда как в 2001 году образовалось всего 1,7 млн. т). Темпы роста объема строительных отходов составляют до 25% в год. Ежегодно в нашей стране образуется около 12-14 млн. т строительных отходов от ремонта и реконструкции, нового строительства и разборки (сноса) зданий и сооружений, а также от брака на предприятиях строительной индустрии. Расчеты показывают, что в ближайшие годы рост строительных отходов в силу увеличения темпов разборки (сноса) жилых зданий первых индустриальных поколений составит свыше 35-45 млн. т в год. При этом отходы бетонного лома и кирпича достигнут 78% от общего объема отходов [74].

Утилизация твердых отходов и любого строительного мусора требует, прежде всего, сортировки по типу. После сноса строений остается, так называемый, бетонный или кирпичный бой, а также твердый строительный мусор разных классов опасности. Если демонтаж крупных строительных объектов сопровождается снятием верхнего слоя грунта на объекте, требуется вывоз пескогрунта и полная утилизация строительных отходов. Основные способы утилизации строительных материалов представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Основные способы утилизации строительных материалов

Наименование материала	Способы утилизации
Железобетон	<ul style="list-style-type: none"> • дробление с получением вторичного щебня; • получение металлолома из железобетона
Арматура	<ul style="list-style-type: none"> • переплавка с получением вторичных чёрных металлов
Кирпич керамический	<ul style="list-style-type: none"> • дробление с получением вторичного щебня
Кирпич силикатный	<ul style="list-style-type: none"> • дробление с получением вторичного щебня
Керамическая плитка	<ul style="list-style-type: none"> • дробление с получением вторичного щебня
Пенополистирол	<ul style="list-style-type: none"> • сортировка и измельчение с повторным использованием в производстве аналогичных изделий; утилизация на свалках ТБО

Минераловатные плиты	<ul style="list-style-type: none"> • рециклинг с изготовлением новых минераловатных изделий; • утилизация на свалках ТБО
Рубероид, битумосодержащие и гидроизоляционные материалы	<ul style="list-style-type: none"> • использование кровельных нарезок в дорожных покрытиях; • выплавление битума в битумоварочных котлах и в котлах с использованием пара; • механическое измельчение отходов битумосодержащих кровельных покрытий
ГКЛ	<ul style="list-style-type: none"> • вторично перерабатываются в цикле производства новых изделий из гипса
Линолеум и профиль ПВХ	<ul style="list-style-type: none"> • измельчение с получением ПВХ-компаунда для повторного изготовления полимерных изделий • интрузия
Металлические изделия и конструкции	<ul style="list-style-type: none"> • переплавка с повторным использованием в металлоконструкциях
Деревянные двери	<ul style="list-style-type: none"> • измельчение для повторного изготовления в теплоизоляционных цементно-стружечных конструкциях

Данный агрегат может быть рассчитан на основе данных производителей строительных материалов, а также организаций, занимающихся вторичной переработкой и утилизацией строительных материалов.

а9 – расходы энергетических ресурсов на работы по демонтажу здания

Стадия ликвидации изделия – последняя стадия жизненного цикла выводимого из эксплуатации изделия, которая предусматривает рециклинг, а для не утилизируемых его частей – их захоронение и уничтожение.

В настоящее время не уделяется должного внимания стадии ликвидации здания, однако, ликвидационные процессы требуют значительных затрат материальных, организационных, финансовых, информационных и энергетических ресурсов. Организационно-технические задачи по ликвидации здания, особенно

в условиях существующей застройки, являются сложными и требующими специальных методов решения. Здания подвержены естественному износу, который происходит неравномерно, однако неизбежно практически каждое здание должно быть ликвидировано до состояния «зелёной площадки», а так как в настоящее время построено огромное количество зданий и постоянно осуществляется строительство новых, задача их последующей ликвидации приобретает гигантский характер, является масштабной, растущей в арифметической прогрессии.

Ликвидация зданий требует материальных, финансовых, информационных, организационных и энергетических затрат. Процессы демонтажа и утилизации строительных материалов и конструкций здания связаны со значительными энергетическими затратами, так как при утилизации необходимо учитывать не только затраты энергетических ресурсов на процессы демонтажа, но и подготовительные работы и работы по вывозу материалов с площадки. Таким образом, при организации жизненного цикла энергоэффективных зданий необходимо предусмотреть и просчитать энергетические затраты на их ликвидацию, чтобы не допустить ситуации, когда энергетические затраты на ликвидацию здания окажутся выше, чем затраты на его строительство и эксплуатационные эффекты.

Демонтаж зданий и сооружений может осуществляться несколькими способами. Выбор способа сноса зависит от сложности конструкции, ее размеров, возраста, фундамента и материалов, использовавшихся при постройке. К видам демонтажа можно отнести ручной демонтаж, полумеханизированный и механизированный, электрогидравлический, взрывной, термический и комбинированный. Самым сложным считается ручной демонтаж (ручная разборка зданий), осуществляемый при помощи лома, кирки и прочих приспособлений. Иногда при ручном сносе применяются газорезательные установки. Ручная разборка зданий – это, в основном, вынужденный способ сноса. Он применяется в условиях, не позволяющих провести снос каким-либо другим способом или же при малом

объеме работ, когда использовать масштабную технику просто нецелесообразно. Полумеханизированный демонтаж зданий и сооружений подразумевает использование электрической и пневматической техники – механические пилы, бетоноломы, лопаты, лебедки, ломы, отбойные молотки, домкраты. Полумеханизированный демонтаж зданий и сооружений эффективный и наиболее популярный метод сноса строений, но имеет свои минусы – трудоемкость, немалые материальные затраты, шум и большое количество пыли. Механизированный снос зданий осуществляется ударным методом при помощи машин и механизированной техники. В качестве основного разрушительного элемента используется шар-молот, крепящийся к стреле экскаватора. Такой метод применяют для разрушения соседствующих строений, для сноса отдельно стоящих зданий и домов применяется тракторная техника и бульдозеры. Техника сноса строений бульдозером отличается от техники полумеханизированного сноса – здесь верхняя часть конструкции привязывается стальным тросом к механизму и тянется до обрушения. Бульдозеры применяются для сбора строительного лома, после чего производится утилизация твердых отходов или переработка строительного мусора во вторичное сырье. Механизированный демонтаж зданий и сооружений более рационален по сравнению с полумеханизированным, и наиболее эффективен для сноса старых построек.

В современных условиях городских и вынесенных за пределы городской черты построек, наиболее подходящим является комбинированный демонтаж зданий и сооружений, объединяющий в себе несколько видов разрушения зданий. Демонтаж разных элементов здания требует вмешательства разного вида техники – стены здания лучше всего сносить механизированным способом, для демонтажа фундамента наиболее эффективным является взрывной способ, а внутренние помещения требуют осторожной ручной разборки. Если при проведении реконструкции здания требуется демонтаж внутренних конструкций, то на каждый элемент разборки составляется ППР для установления методов и последовательности демонтажных работ. Не менее важным является определение

зон опасности и предусмотрение мер по распределению нагрузки на оставшиеся конструкции, для обеспечения устойчивости всего здания. Такой пункт как вывоз и утилизация строительных отходов также должно оговариваться условиями ППР, в частности – предварительный примерный расчет объемов строительного мусора, предназначенного для вывоза и переработки.

Потребность в энергетических ресурсах при демонтаже зданий может быть определена путем прямого подсчета. Она определяется аналогично потребности в энергетических ресурсах для производства строительного-монтажных работ. Для производства работ по демонтажу также разрабатывается ПОС с расчётом потребности в электроэнергии на период выполнения СМР, потребности в воде на производственные и хозяйственно-бытовые потребности, пожаротушение и потребности в сжатом воздухе. По мнению авторов, энергозатраты на демонтаж здания могут быть приравнены к затратам на производство строительного-монтажных работ.

Сложность и многообразие процессов функционирования реальных систем, таких, какими являются энергоэффективные здания, не позволяют строить для них абсолютно адекватные математические модели. Математическая модель сложной системы состоит из математических моделей элементов и математической модели взаимодействия между ними [23]. Математическая модель, описывающая формализованный процесс функционирования системы, в состоянии охватить только основные, характерные его закономерности, оставляя в стороне несущественные второстепенные факторы. Данными закономерностями являются выявленные факторы энергопотребления зданий в течение жизненного цикла.

Целью создания имитационной модели энергоёмкости жизненного цикла зданий является расчёт энергопотребления по различным вариантам организации жизненного цикла зданий на основе выявленных факторов.

Согласно поставленной цели исследования приняты критерии, которым должна удовлетворять разрабатываемая модель:

1. Описывать все процессы жизненного цикла зданий.
2. Учитывать вероятностный характер изменения значений агрегатов энергопотребления в течение жизненного цикла зданий.
3. Должна быть основана на математических, вероятностных и статистических данных.
4. Учитывать системность воздействий внутренних и внешних условий на величину потребления энергоресурсов, а, следовательно, и на величину энергетической эффективности зданий на протяжении их жизненного цикла.
5. Должна быть объектно-ориентирована на применение современных компьютерных моделирующих комплексов.

Границы разрабатываемой имитационной модели энергоёмкости жизненного цикла зданий находятся в пределах организационных процессов их жизненного цикла. Модельное время дискретно-интервальное по стадиям жизненного цикла зданий: проектирование, строительство, эксплуатация.

При формализации имитационной модели в виде кусочно-линейных агрегатов, множеством основных состояний является множество $I = \{1,2,3\}$, являющихся соответственно, основными состояниями элементов $v \in I$ на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации. Основные состояния агрегата указывают на качественно различные состояния зданий. Каждому основному состоянию $v \in I$ можно представить число больше 0, целое (ранг основного состояния), в данной модели – это величина энергопотребления агрегата, определяемая по формуле (19).

Каждому $v \in I$ можно поставить в соответствие выпуклый многогранник $Z^{(v)}$ в евклидовом пространстве размерности $\|v\|$. При этом $Z = \bigcup_{v \in I} Z^{(v)}$, т.е. Z (пространство состояний) можно представлять, что оно состоит из различных пар вида $(v, z^{(v)})$, где $v \in I$, а $z^{(v)}$ представляет собой размерный вектор, который принимает значения из $Z^{(v)}$. Вектор $z^{(v)}$ является вектором дополнительных координат.

При имитационном моделировании энергоёмкости жизненного цикла зданий основное состояние соответствует заданному значению агрегатов энергопотребления на стадиях жизненного цикла, а вектор дополнительных координат содержит информацию о состоянии агрегата на предыдущей стадии, значения которого необходимы для конструирования будущего течения процесса $z(t)$. Данными являются числовые характеристики объектов, составляющих агрегат и характеризующих его энергопотребление. Динамика кусочно-линейного агрегата задаётся оператором U .

В начальный момент времени t_0 агрегат находится в состоянии $z(t_0) = (v, z^{(v)}(0))$, где $z^{(v)}(0)$ является внутренней точкой многогранника $Z^{(v)}$. Тогда при $t > t_0$ точка $z^{(v)}(t)$ ходит внутри многогранника $Z^{(v)}$, пока не достигнет его граней. Если это происходит в момент t_1 , который называется опорным, тогда при $t_0 < t \leq t_1, \Delta t = t - t_0$, движение агрегата определяется:

$$v(t) = v = \text{const}; \quad (18)$$

Данному значению v соответствует вектор $\alpha^{(v)}$ размерности $\|v\|$ и

$$z^{(v)}(t) = z^{(v)}(0) + \Delta t * \alpha^{(v)}. \quad (19)$$

Значение опорного момента времени t_1 определяется траекторией $z(t)$, при этом t_1 является функционалом, заданным на траекториях рассматриваемого процесса, и может быть найдено из соотношения

$$t_1 = \inf\{t: z^{(v)}(0) + (t - t_0)\alpha^{(v)} \notin Z^{(v)}, t > t_0\}. \quad (20)$$

Так как $Z^{(v)}$ – многогранник, то нахождение t_1 по формуле (19) сводится к следующему. Пусть $Z_j^{(v)}$ – j -я грань многогранника $Z^{(v)}$, при этом $Z^{(v)}$ содержит количество граней $m(v)$. Тогда грани можно выразить линейно:

$$\sum_{i=1}^{\|v\|} \gamma_{ij}^{(v)} z_i^{(v)} + \gamma_{j0}^{(v)} = 0, \quad j = 1, \dots, m(v), \quad (21)$$

где $z_i^{(v)}$ – компоненты вектора $z^{(v)}$, $i = 1, \dots, \|v\|$. Равенство (20) может быть записано в виде

$$t_1 = \min \left\{ t: z_{(0)}^{(v)} + (t - t_0)\alpha^{(v)} \in \bigcup_{j=1}^{m(v)} Z_j^{(v)}, t > t_0 \right\}.$$

или

$$t_1 = \min \left\{ t: t > t_0, \sum_{i=1}^{\|v\|} \left[v_{ji}^{(v)}(0) + (t - t_0)\alpha_i^{(v)} \right] + \gamma_{j_0}^{(v)} = 0 \right\}. \quad (22)$$

Минимум берётся по множеству индексов $j = 1, \dots, m(v)$.

Обозначим

$$\tau_i = - \frac{\gamma_{j_0}^{(v)} + \sum_{i=1}^{\|v\|} \gamma_{ji}^{(v)} z_i^{(v)}(0)}{\sum_{i=1}^{\|v\|} \gamma_{ji}^{(v)} \alpha_i^{(v)}} \quad (23)$$

Пусть

$$\tau = \min \{ \tau_j: \tau_j > 0 \}. \quad (24)$$

Тогда из соотношений (22) – (24) следует, что

$$t_1 = t_0 + \tau. \quad (25)$$

В момент времени t_1 состояние кусочно-линейного агрегата изменяется скачкообразно. Именно, значение $z(t_1 + 0)$ является задаваемым распределением P_1 , которое зависит от состояния $z(t_1)$. В момент времени t_1 может выдаваться выходной сигнал (оператор G), содержание которого зависит от состояния $z(t_1)$. Структура множества Y аналогична структуре множества Z , таким образом можно представить сигналы выхода $y = (\lambda, y^{(\lambda)})$, где λ является элементом счётного множества, а $y^{(\lambda)}$ является вектором, который принимает значения из пространства Евклида размерности, зависящей от λ .

Для кусочно-линейного агрегата входные сигналы x представляются в виде $x = (\mu, x^{(\mu)})$, где μ – элемент некоторого конечного множества, а $x^{(\mu)}$ – действительный вектор, размерность которого зависит от μ . Рассмотрим состояние агрегата $z(t) = (v, z^{(v)})$ в момент t , в который поступает входной сигнал $x =$

$(\mu, x^{(\mu)})$. В этот момент происходит скачкообразное изменение состояния агрегата, $z(t + 0)$ является задаваемым распределением P_2 , которое зависит от $z(t)$ и x . Далее движение агрегата происходит в соответствии с приведёнными начальными формулами пока не поступит очередной сигнал либо агрегат выйдет на границу допустимых значений. Таким образом, динамика агрегата энергоэффективности описана.

Основные состояния агрегата указывают на качественно различные состояния зданий в зависимости от стадий жизненного цикла. Дополнительные координаты характеризуют происходящие количественные изменения и носят вспомогательный характер. Следует отметить, что представление реальных систем в форме кусочно-линейных агрегатов неоднозначно, т.к. неоднозначно могут быть выбраны состояния агрегатов. Выбор состояния определяется как целями исследования, так и стремлением уменьшить размерность задачи [28]. По мнению автора, представление энергоэффективных зданий в виде кусочно-линейных агрегатов, в которых конкретизированы распределения P_1 и P_2 , гиперплоскостей $Z_j^{(v)}$ и скоростей $\alpha^{(v)}$, могут быть оставлены некоторые свободные, определяющие их, параметры. Настройка таких проблемно-ориентированных на энергоэффективность агрегатов на конкретные модели энергоэффективности зданий заключается в выборе соответствующих параметров. Целесообразным является создание информационной базы разнообразных классов причинно-следственных механизмов $(P_1, P_2, Z_j^{(v)}, \alpha^{(v)})$, определяющих функционирование кусочно-линейных агрегатов энергоэффективности, в том числе проблемно-ориентированных классов. Такая база может работать совместно с программной реализацией кусочно-линейного агрегата данного вида, и, таким образом, процесс её настройки сведётся к выбору необходимой процедуры из данной базы.

Обозначим B_1 массив, включающий в себя номера агрегатов $a_1 \dots a_{s_1}$ и содержание соответствующих входных сигналов $x_1 \dots x_s$ на очередной «стадии» пе-

редачи сигналов, B_2 – аналогичный массив, характеризующий следующую «стадию» передачи сигналов; количество номеров агрегатов, входящих в него, обозначим S_2 .

Пусть T – длина отрезка времени, на котором функционирует система, N^* – заданное количество реализаций, которое нужно получить на модели, N – номер текущей реализации.

Введём следующие операторы [23]:

F_1 – формирование номера первой реализации $N=1$ (значения и параметры агрегатов энергоэффективности по 1 сценарию: энергозатраты на изготовление строительных материалов; строительно-монтажные работы; эксплуатацию и демонтаж);

Φ_2 – формирование начальных состояний агрегатов, входящих в агрегативную систему;

F_3 – формирование начального момента времени $t=0$;

A_4 – вычисление величин τ_j , $1 \leq j \leq M$, по формулам (5.16), (5.17), где M – число агрегатов в системе;

F_5 – формирование $\theta_j = \tau_j$, $1 \leq j \leq M$;

Φ_6 – формирование времени θ , лет до очередного момента поступления входного сигнала;

A_7 – вычисление времени, через которое наступит ближайшее «особое» событие, $\theta_{\min} = \min \theta_j$, $1 \leq j \leq a$, и номера агрегата k_0 , для которого $\theta_{k_0} = \theta_{\min}$;

P_8 – проверка $t \leq T$;

P_9 – проверка условия $\theta_{\text{лет}} > \theta$;

F_{10} – формирование значения текущего момента времени $t = t + \theta_{\text{лет}}$, а также $\theta = \theta - \theta_{\text{лет}}$, $\theta_j = \theta_j - \theta_{\text{лет}}$, $1 \leq j \leq M$;

A_{11} – пересчёт состояния агрегата с номером k_0 на «текущее» время (основное значение v не изменяется, а $z^{(v)}$ заменяется на значение $z^{(v)} + \alpha^{(v)} \tau_{k_0}$);

Φ_{12} – формирование выходного сигнала агрегата k_0 (выходной сигнал зависит только от «текущего» состояния агрегата);

Φ_{13} – формирование с помощью схемы сопряжения числа s_1 , номеров агрегатов $a_1 \dots a_{s_1}$ и содержаний входных сигналов $x_1 \dots x_{s_1}$ (массива B_1);

Φ_{14} – формирование нового состояния агрегата k_0 ;

F_{15} – вычисление нового значения τ_{k_0} и $\theta_{k_0} = \tau_{k_0}$;

F_{16} – формирование значения текущего момента времени $t = t + \theta$, $\theta_{\text{лет}} = \theta_{\text{лет}} - \theta$;

Φ_{17} – формирование выходного сигнала агрегата с номером a из внешней среды;

F_{18} – формирование с помощью схемы сопряжения числа s_1 и массива B_1 ;

P_{19} – проверка $s_1 > 0$;

F_{20} – формирование $j=1$ (начальное значение счётчика числа агрегатов на очередной «стадии» передачи сигналов);

A_{21} – пересчёт состояния агрегата с номером a_j (см. массив B_1) на «текущее» время (основное состояние v не изменяется, а z_v заменяется на значение $z^v + \alpha^{(v)}(\tau_{a_j} - \theta_{a_j})$);

Φ_{22} – формирование выходного сигнала агрегата с номером a_j ;

F_{23} – формирование с помощью схемы сопряжения числа (r) агрегатов – получателей сигналов, их номеров и содержаний сигналов, посылаемых на соответствующие агрегаты;

F_{24} – пополнение массива B_2 ; $s_2 = s_2 + r$, номера агрегатов и выходные сигналы дополняются выбранным оператором F_{23} ;

Φ_{25} – формирование нового состояния агрегата a_j ;

A_{26} – вычисление τ_{a_j} ; $\theta_{a_j} = \tau_{a_j}$;

F_{27} – вычисление нового значения $j = j + 1$;

P_{28} – проверка $j = s_1$;

P_{29} – проверка $s_2 > 0$;

P_{30} – проверка $\theta < 0$;

F_{31} – формирование $s_1 = s_2; s_2 = 0$;

F_{32} – формирование $B_1 = B_2$; очистка B_2 ;

P_{33} – проверка $N \leq N^*$;

A_{34} – обработка результатов моделирования;

F_{35} – формирование номера очередной реализации $N = N + 1$;

$Я_{36}$ – выдача.

Операторная схема моделирующего алгоритма имеет вид:

$$F_1^{35} \Phi_2 F_3 A_4 F_5 \Phi_6^{19,30} A_7 P_{8 \downarrow 33} P_{9 \downarrow 10}^{\uparrow 15} F_{10} A_{11} \Phi_{12} F_{13} \Phi_{14} A_{15}^{19,9} F_{16} \Phi_{17} F_{18}^{20,15} P_{19 \downarrow 7}^{18,32}$$

$$F_{20}^{28} A_{21} \Phi_{22} F_{23} F_{24} \Phi_{25} A_{26} F_{27} P_{28 \downarrow 29}^{\uparrow 21} P_{29 \downarrow 30}^{\uparrow 31} P_{30 \downarrow 31}^{\uparrow 6} F_{32}^{20,8} A_{39} P_{34 \downarrow 36} F_{35}^2 Я_{36}$$

Операторы F_1, Φ_2, F_3 подготавливают данные для работы алгоритма.

Операторы $A_4 \div A_7$ определяют номер агрегата, у которого раньше всего наступит особый момент. Величины θ_j , вычисляемые при этом, необходимы для того, чтобы знать суммарное время, проводимое агрегатами между особыми моментами. Эта же группа операторов формирует очередной момент поступления сигнала извне.

Оператор P_8 проверяет, не окончилось ли уже заданное время моделирования. Если время моделирования не окончилось, то счёт продолжается дальше, а в противном случае, идёт обработка результатов, полученных при моделировании одной реализации (A_{33}), и либо совершается переход к очередной реализации (P_{34}, F_{35}), либо моделирование оканчивается ($P_{31}, Я_{36}$).

Оператор P_9 определяет, что произойдёт раньше: выход состояния агрегата на границу допустимых значений ($\theta_{\text{лет}} < \theta$) или поступление внешнего входного сигнала $\theta_{\text{лет}} \geq \theta$. Рассмотрим сначала случай $\theta_{\text{лет}} < \theta$. при этом оператор F_{10} производит пересчёт системного времени и величин θ, θ_j . Затем операторы $A_{11} \div A_{15}$ производят пересчёт состояния агрегата k_0 и формируют выдаваемый им выходной сигнал, который с помощью схемы сопряжения «расчленяется» на части,

идущие к различным агрегатам, и эти части вместе с соответствующими адресами записываются в массив B_1 . Если таких сигналов нет ($s_1 = 0$), то оператор P_{19} передаёт управление вновь оператору A_7 и т.д. В противном случае алгоритм осуществляет «отработку» всех сигналов, записанных в массиве B_1 (оператор F_{20} и далее).

Если при работе оператора P_9 было найдено, что $\theta_{\text{лет}} \geq \theta$, то F_{16} производит пересчёт системного времени (аналогично F_{10}). Дополнительно здесь полагается, $\theta = -1$, что является далее (см. P_{30}) признаком того, обрабатывался алгоритмом, или нет, внешний входной сигнал. Операторы Φ_{17} , F_{18} формируют содержание внешнего входного сигнала и записывают его (аналогично F_{13}) в массив B_1 , который до этого был пуст.

Далее начинается отработка сигналов, записанных в массиве B_1 . Число j показывает (F_{20}), какой по счёту сигнал из B_1 обрабатывается в цикле $A_{21} \div A_{28}$. «Длина» цикла равна s_1 – числу сигналов, записанных в B_1 . Операторы $A_{21} \div A_{26}$ (аналогично операторам $A_{11} \div A_{15}$) пересчитывают состояние агрегата с номером a_j и записывают выдаваемые им сигналы в массив B_2 .

После окончания цикла оператор P_{29} проверяет, записан ли хоть один сигнал в B_2 . Если нет, то после проверки того, обрабатывался ли внешний входной сигнал ($\theta < 0$), управление передаётся на Φ_6 (если такой сигнал обрабатывался, то необходимо сформировать новый), либо на A_7 , и работа алгоритма продолжается уже рассмотренным образом. Если же в массиве B_2 записан хотя бы один сигнал, то операторы F_{31} , F_{32} переписывают содержание массива B_2 в массив B_1 и чистят B_2 , а затем управление передаётся F_{20} для проведения очередной «стадии» отработки сигналов. Моделирующий алгоритм представлен на рисунке 42.

Таким образом, при исследовании здания как энергетической системы выявлены агрегаты энергопотребления, значение которых может быть определено посредством использования базы данных энергоёмкости строительных материалов. Целесообразно разработать структуру и затем на её основе саму базу данных энергоёмкости строительных материалов учётом их участия на стадиях жизненного цикла здания.

Предлагаемая концептуальная имитационная модель энергоёмкости жизненного цикла зданий характеризуется интеграцией агрегатов энергопотребления различной природы и сложными, неоднозначными связями между ними. В связи с этим при работе с моделью особую важность имеют возможности получения ответов на формируемые, по мере появления необходимости, запросы на информацию о показателях энергопотребления в течение жизненного цикла зданий.

С этой целью целесообразно разработать и использовать систему управления данными (СУБД). При этом в качестве модели данных автором предлагается реляционная модель, так как она обеспечивает наибольшую гибкость при отображении на неё концептуальной имитационной модели. Применение реляционных баз данных позволяет обеспечить непрерывность процессов обеспечения энергоэффективности, на что направлены все действенные стандарты, программы и руководства в области менеджмента энергоэффективности (а также экологического менеджмента), содержащие понятие постоянного улучшения (*continuous improvement*), подразумевающее, что менеджмент энергоэффективности является процессом, а не проектом, осуществление которого рано или поздно подходит к концу [223]. Для разработки структуры реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов необходимо определить предметную область – совокупность строительных материалов, участвующих в процессах жизненного цикла зданий. Далее необходимо определить модель представления данных, определить их сущности и атрибуты, описать взаимосвязи между ними. Далее необходимо определить СУБД и соответствующее программное обеспечение для хранения и работы с данными.

6.4. Создание базы данных энергоёмкости строительных материалов

В основу структуры базы данных авторами положена классификация строительных материалов, предложенная в учебнике Горчакова Г.И. и Баженова Ю.М. «Строительные материалы» [29], являющемуся базой для строительных специальностей. Строительные конструкции постоянно подвержены нагрузкам от окружающей среды, строительные материалы должны обладать многими свойствами для восприятия данных нагрузок, поэтому основу их классификации составляет признак по назначению (таблица 23).

Таблица 23 – Классификация строительных материалов по назначению

Тип назначения	Наименование группы	Вид материала
1	2	3
1. Конструкционные материалы	1.1. Природные каменные материалы	Бут, щебень, гравий, песок, блоки, стеновые камни, камни специального назначения (гидротехнические сооружения, дороги, кислотоупорные)
	1.2. Неорганические и органические вяжущие вещества	Неорганические (известь, цемент, гипсовые вяжущие, жидкое стекло) Органические (битумы, дёгти, животный клей, полимеры)
	1.3. Искусственные каменные материалы:	
	1.3.1. получаемые на основе вяжущих веществ	Бетоны, железобетоны, строительные растворы
	1.3.2. получаемые термической обработкой минерального сырья	Керамические материалы и изделия (кирпич, черепица, облицовочные изделия), керамзит, ячеистая керамика, сан-тех изделия, плитки, трубы, стекло, ситаллы, плавленные каменные изделия силикатные изделия автоклавного твердения (силикатный кирпич, силикатные бетоны)

Продолжение таблицы 23

	1.4. Металлы	Сталь, чугун, алюминий, сплавы, цветные металлы
	1.5. Полимеры	Пенопласты, поропласты, полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, поливинилацетат, органическое стекло, синтетический каучук, полимерные смолы, линолеумы, конструкционные полимерные материалы (ДСП, стеклопластики, стекловолокно, композиционные материалы (полимербетоны), отделочные материалы, полимерные краски
	1.6. Древесные материалы	Доски, бруски, паркет, столярные изделия, фанера, ДСП, ДВП
	1.7. Композиционные материалы	Асбестоцемент, полимербетон, фибробетон, стеклопластики
2. Строительные материалы специального назначения	2.1. Теплоизоляционные	Неорганические: минеральная вата, керамические теплоизоляционные изделия, теплоизоляционные лёгкие бетоны, вулканитовые изделия, пеностекло, керамзитобетон, стеклопор, перлит, асбестовые материалы, алюминиевая фольга, неорганические рыхлые материалы
		Органические: фибролит, арболит, ДСП, ДВП, камышитовые и торфяные плиты, строительный войлок, пенопласты, ячеистые пластмассы, пенополистирол
	2.2. Акустические	Звукопоглощающие минераловатные плиты, декоративно-акустические плиты, жёсткие ДВП, акустический фибролит, минераловатные рулоны и маты, гипсовые акустические плиты, керамические плиты и блоки

Окончание таблицы 23

	2.3. Гидроизоляционные	<p>Рулонные материалы: рубероид, пергамин, стеклорубероид и стекловолок, гидростеклоизол, асфальтовые армированные маты, фольгоизол, фольгорубероид, гидроизол, бризол, изол, толь, ПВХ плёнки</p> <p>Листовые материалы: битумные листы, гидроизоляционные плиты</p> <p>Мастики (битумные, дёгтевые), эмульсии, пасты, лаки</p>
	2.4. Отделочные	<p>Декоративные бумажно-слоистые пластики, декоративно-отделочные плёнки, обои, полистирольные плитки и листы, лакокрасочные материалы (полимерные эмульсионные полимерцементные, эмалевые, масляные, силикатные), олифы, обмазки</p>
	2.5. Антикоррозионные	<p>Легирующие элементы, защитные покрытия (краски, лаки, эмали, катодное анодное покрытия, фосфатирование)</p>
	2.6. Огнеупорные	<p>Кремнеземистые огнеупоры (кварцевое стекло, диоксидные); алюмосиликатные огнеупоры (полукислые, шамотные, высокоглиноземистые)</p>
	2.7. Материалы для защиты от радиационных воздействий	<p>Радиационно-защитная штукатурка, свинец, сталь, бетон</p>

Как видно из таблицы 23, классификация строительных материалов обширна, некоторые материалы повторяются в разных группах, так как могут выполнять разные функции: как конструкционного, так и специального назначения. Следовательно, целесообразно создавать структуру базы данных не по принципу классификации строительных материалов, а по принципу их места в здании как единой системе, при этом строительные материалы будут находиться на разных уровнях

иерархии: здание – отдельные элементы и строительные конструкции здания – строительные материалы. Если классифицировать строительные материалы таким образом, то высшим уровнем иерархии является здание, на первом уровне несменяемые элементы (определяющие срок жизни здания), на втором уровне сменяемые элементы, подлежащие текущему и капитальному ремонтам. Разделение элементов здания на сменяемые и несменяемые определяется по нормативным документам и способам определения физического износа элементов: для сменяемых элементов износ можно определить нормативным методом, для несменяемых нельзя. Таким образом, при проведении ремонта строительные материалы для несменяемых элементов подлежат замене при проведении капитальных ремонтов, реконструкции, демонтажу и дальнейшей утилизации или рециклингу, а строительные материалы для сменяемых элементов подлежат замене исходя из срока эксплуатации. Иерархическая база данных строительных материалов, построенная на основе базы данных элементов зданий включает описание из физических единиц измерения и энергоёмкости по каждому элементу нижнего уровня иерархии и стадии жизненного цикла здания. База данных содержит сведения о для каждого строительного материала, составляющего элемент нижнего уровня иерархии.

Таким образом, в структуре базы данных можно выделить следующие элементы: наименование материала, его тип, марка, энергоёмкость в зависимости от стадии жизненного цикла здания. Несмотря на то, что использование иерархической базы данных позволяет строить модель с древовидной структурой, она может содержать избыточные данные, так как одни и те же строительные материалы участвуют на разных стадиях жизненного цикла зданий. Схема иерархической модели строительных материалов по элементам здания представлена на рисунке 49.

Однако приведенная иерархическая модель имеет существенные недостатки, а именно, она не учитывает стадию жизненного цикла зданий, количество замен материала в течение срока службы, тип, марку материала, энергетические затраты на производство, СМР, эксплуатацию, демонтаж, рециклинг и утилизацию строительных материалов после демонтажа.

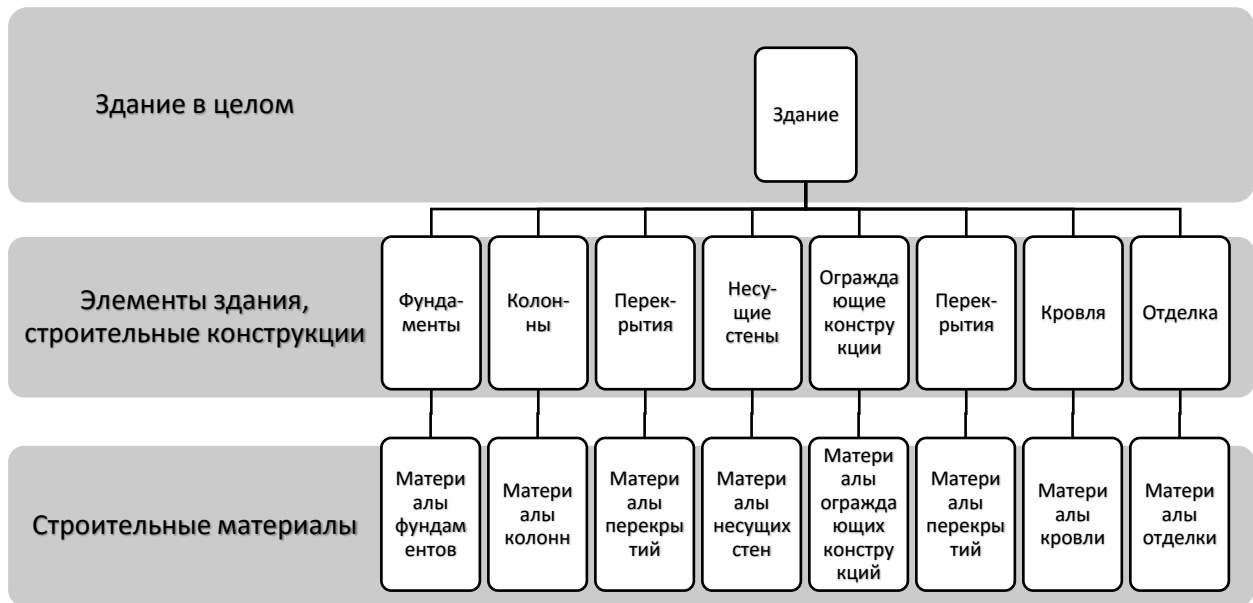


Рисунок 49 – Иерархическая модель строительных материалов по элементам здания

Для расчёта энергоёмкости всего жизненного цикла зданий возможно добавление еще одного поля данных со значениями теплопроводности строительных материалов и конструкций, однако это делать нецелесообразно, так как может быть утрачена структура первоначальной базы данных и произойти её переориентация, так как в базе появятся данные с разным физическим смыслом, кроме того, база данных существенно усложнится, так как теплопроводность материала зависит от многих факторов (влажность, воздухопроницаемость, плотность и др.) и должна определяться для каждого здания и отдельного элемента путём теплотехнического расчёта.

Кроме перечисленных недостатков, по мнению автора, формирование базы данных строительных материалов как в иерархическом, так и в виде плоской таблицы, сопряжено со сложностью как составления, так и использования. Используемых в настоящее время строительных материалов очень много, кроме того, они подразделяются по многим категориям с учётом физических свойств, технологии изготовления и эксплуатации, и так далее, что влияет и на единицы измерения, и

на типовые размеры, и на условия эксплуатации, и так далее. Учёт абсолютно всех параметров строительных материалов в одной таблице делает её громоздкой и крайне неудобной для использования, кроме того, производители данных материалов столкнутся с затруднениями в определении энергоёмкости их изготовления, также и строительные организации не смогут выделить ту или иную марку или тип материала при производстве строительного-монтажных работ при определении их энергоёмкости. То же самое касается и проведения ремонтов и иных условий эксплуатации, и определения энергоёмкости завершающей стадии жизненного цикла здания.

Таким образом, целесообразно использовать структуру именно реляционной модели данных, являющейся основой гибких и эффективных механизмов наиболее распространенных и доступных СУБД Microsoft Access.

При проектировании схемы реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов целесообразно основным элементом выбрать строительный материал по его наименованию, затем ввести уточняющие параметры: тип, марка, размер материала, его единицы измерения и значения энергоёмкости в зависимости от стадии жизненного цикла. При этом принципиальным является разделение по типу участия материала в процессах ремонта и реконструкции: для сменяемых элементов – ремонт строительного материала, для несменяемых – реконструкция. Все данные должны иметь связи между собой с целью обеспечения реляционности данных. Также необходимо учитывать тип здания, срок службы материала до замены, описание здания. Целесообразно включить в базу справочники по зданиям, строительным элементам, срокам службы, а также расчётные таблицы энергоёмкости жизненного цикла зданий в зависимости от выбранных параметров.

При создании схемы реляционной базы данных строительных материалов автор считает необходимым сделать следующие допущения:

1. Таблица материалов. Материал – это то, из чего состоит конструкция или элемент здания. В таблице материалов должны быть наименование материала, единицы измерения (устанавливаются отдельным справочником). Для многослойных

элементов целесообразно добавить композитные материалы: металл-минеральная вата-металл, металл-пенополиуретан-металл, ПВХ стеклопакет, алюминиевый стеклопакет и т.д.. Таблица должна содержать основные строительные материалы, так как учёт абсолютно всех: и основных, и вспомогательных материалов существенно затрудняет расчёт энергоёмкости жизненного цикла здания. При этом следует иметь в виду, что вспомогательные материалы (пароизоляция, отделка и т.п.) учтена в стоимости как строительно-монтажных, так и ремонтно-строительных работ.

2. Справочник несменяемых элементов здания. Данную таблицу необходимо составить на основании описания капитальности зданий. К несменяемым элементам, согласно ВСН 58-88(р) относятся каменные и бетонные фундаменты, несущие стены и каркасы зданий. Наименьший срок службы несменяемого элемента определяет срок службы здания. Обычно здание составляют несколько несменяемых элементов с разным сроком службы. Срок службы всего здания равен сроку службы наименее долговечного несменяемого элемента. Для расчета срока службы здания на основании срока службы долговечного несменяемого элемента в базе данных необходимо создать соответствующий запрос.

3. Справочник сменяемых элементов здания. В базе данных необходимо учесть сменяемые элементы – конструктивные элементы и инженерное оборудование, которое подлежит замене при проведении капитального ремонта здания. Сменяемые элементы необходимо представить в виде отдельной таблицы, связывающей сменяемые элементы и строительные материалы, например, ненесущие стены – кирпич, утеплитель стен – минеральная вата, кровля – листовой металл, утеплитель кровли – полиуретан, окна – ПВХ стеклопакет, двери – дерево и т.д. При этом целесообразно разделить сменяемые элементы здания на слои в соответствии с проводимым ремонтом, например, кровля: слой 1 – покрытие, слой 2 – утеплитель с паро- и гидроизоляцией, основание – выравнивающая стяжка. Для того, чтобы таблица не была загромождена, количество слоёв для всех элементов должно быть не-

большим, при этом некоторые слои подразумевают наличие нескольких материалов, например, пенополистирольные плиты утеплителя вместе с пароизоляцией и гидроизоляцией. Исходя из срока службы наименее долговечного сменяемого элемента (или слоя в элементе) можно спрогнозировать периодичность капитального ремонта путём деления срока службы здания на периодичность капитальных ремонтов, что так же возможно сделать с использованием механизма запросов.

4. Энергетическими затратами на проведение текущих ремонтов для вспомогательных материалов целесообразно пренебречь, так как целью текущего ремонта является поддержание здания в состоянии, которое обеспечивает его эффективную эксплуатацию [ВСН 58-88 (р)]. Таким образом, текущие ремонты предусматривают замену материалов, не оказывающих существенное влияние на тепловую защиту зданий (краски, обои т.д.), а также на его энергоёмкость жизненного цикла в целом.

5. Таблица «Описание здания», содержащая перечень элементов здания (несменяемые и сменяемые) с единицами измерения строительных материалов и их количеством. При этом устанавливается отдельно справочник зданий по типам и составу элементов.

6. Расчётные таблицы (запросы). В расчётных таблицах (запросах) производится расчёт затрат энергетических ресурсов (энергоёмкость жизненного цикла здания), отдельно по несменяемым и сменяемым элементам здания, а также в целом. При этом пользователем задаются параметры исследуемого здания либо отдельного элемента, слоя, материала в зависимости от цели использования базы данных.

С учётом принятых допущений, авторами предлагается следующая принципиальная схема данных реляционной модели энергоёмкости строительных материалов (рисунок 50).

В приведенной схеме использованы следующие условные обозначения и их расшифровка:

НЭ – несменяемый элемент; СЭ – сменяемый элемент;

ЭПМ – энергоёмкость производства материала (1 единицы измерения) – включает затраты энергоресурсов производителя на производство данного строительного материала (определяется по методике ГОСТ Р 51750-2001 как технологическая энергоёмкость продукции), т.у.т.;

ЭСМ – энергоёмкость строительства материала (1 единицы измерения) – включает затраты энергоресурсов подрядной строительной организации на производство СМР с использованием данного материала (определяются путём суммирования энергоёмкости трудозатрат и энергоёмкости работы строительных машин и механизмов при производстве СМР с использованием данного материала), т.у.т.;

ССМ – срок службы до ремонта (замены) материала (определяется по ТУ производителей данного материала как гарантийный срок службы), лет;

ЭРМ – энергоёмкость ремонта (замены) материала (1 единицы измерения) – определяется эксплуатирующими организациями и ремонтно-строительными организациями как сумма затрат энергоресурсов на производство ремонтных работ (определяются путём суммирования энергоёмкости трудозатрат и энергоёмкости работы строительных машин и механизмов при производстве РСР с использованием данного материала) и ЭСМ данного материала в объёме его частичной или полной замены при проведении текущих и капитальных ремонтов, т.у.т.;

ЭРKM – энергоёмкость реконструкции материала (1 единицы измерения) – определяется аналогично ЭРМ;

ЭДМ – энергоёмкость демонтажа материала (1 единицы измерения) – определяется аналогично ЭСМ по энергозатратам на работы по демонтажу строительного материала;

ЭРУМ – энергоёмкость рециклинга (утилизации) материала (1 единицы измерения) – определяется по данным специализированных организаций, занимающихся утилизацией или переработкой использованных строительных материалов как энергозатраты на проведение работ по утилизации или рециклингу данного материала, т.у.т.

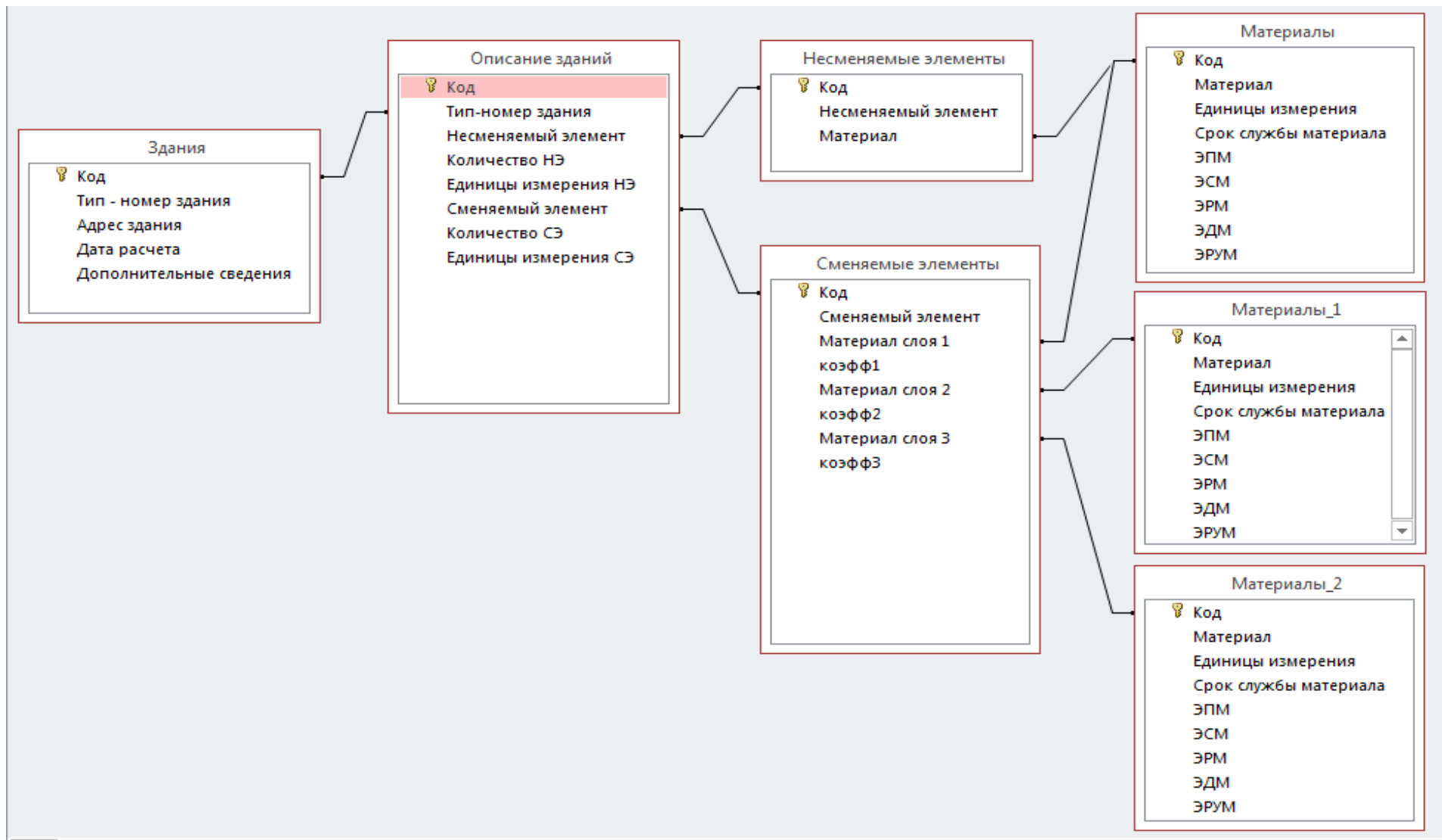


Рисунок 50 – Принципиальная схема данных энергоёмкости строительных материалов на основании реляционной модели

Таблица 24 – Справочник зданий

Наименование поля	Тип данных	Примечание
Код	Счетчик	Код здания (формируется автоматически в БД)
Тип - номер здания	Короткий текст	Тип здания: ИЖС-1 – индивидуальное жилое строение, МКД-2 – многоквартирный дом, ОЗ-3 – общественное здание, ТЦ-4 – торговый центр, ПЗ-5 – производственное здание и т.д. Цифра после номера означает номер здания данного типа
Адрес здания	Короткий текст	Адрес здания в соответствии с проектной документацией
Дополнительные сведения	OLE	Любая другая информация о здании в целом: фотографии, чертежи и т.д. Количество полей здесь может быть неограниченно, однако эта информация не является целью данного исследования

Справочник зданий формируется пользователем при работе с базой данных. При этом возможно производить расчёты энергоёмкости жизненного цикла одного и того же здания по разным вариантам проектирования или реконструкции, в зависимости от состава несменяемых и сменяемых элементов.

Таблица 25 – Справочник несменяемых элементов

Наименование поля	Тип данных	Примечание
Код	Счетчик	Код несменяемого элемента здания
Несменяемый элемент	Короткий текст	Внешний ключ – код наименования несменяемого элемента
Материал	Короткий текст	Наименование строительного материала, из которого состоит данный элемент

Таблица 26 – Справочник сменяемых элементов

Наименование поля	Тип данных	Примечание
Код	Счетчик	Код сменяемого элемента здания
Сменяемый элемент	Короткий текст	Внешний ключ – код наименования сменяемого элемента здания

Окончание таблицы 26

Материал слоя 1	Короткий текст	Наименование строительного материала, из которого состоит 1 слой данного элемента (в порядке проведения ремонтов: наружный слой)
Коэффициент 1	Числовой	Коэффициент пересчёта и единиц измерения материала таблицы (5) в единицы измерения, задаваемые пользователем соответствии с количеством слоёв материала
Материал слоя 2	Короткий текст	Наименование строительного материала, из которого состоит 1 слой данного элемента (в порядке проведения ремонтов: наружный слой)
Коэффициент 2	Числовой	Коэффициент пересчёта материала слоя 2
Материал слоя 3	Короткий текст	Наименование строительного материала, из которого состоит 1 слой данного элемента (в порядке проведения ремонтов: наружный слой)
Коэффициент 3	Числовой	Коэффициент пересчёта материала слоя 3

Таблица 27 – Описание зданий

Наименование поля	Тип данных	Примечание
Код	Счетчик	Код сменяемого элемента здания
Тип - номер здания	Короткий текст	Код типа здания (табл. 1)
Несменяемый элемент	Короткий текст	Код наименования несменяемого элемента здания (табл. 2)
Количество НЭ	Числовой	Объём несменяемых элементов по анализируемому зданию (определяется по ведомости объёмов работ, спецификации железобетонных изделий, ведомости основных строительных материалов)
Единицы измерения НЭ	Короткий текст	Единицы измерения объёма несменяемого элемента
Сменяемый элемент	Короткий текст	Код наименования сменяемого элемента здания (табл. 3)

Окончание таблицы 28

Количество СЭ	Числовой	Объём сменяемых элементов по анализируемому зданию (определяется по ведомости объёмов работ, спецификации железобетонных изделий, ведомости основных строительных материалов)
Единицы измерения СЭ	Короткий текст	Единицы измерения объёма сменяемого элемента

Таблица 28 – Справочник материалов

Наименование поля	Тип данных	Примечание
Код	Счетчик	Код строительного материала
Материал	Короткий текст	Внешний ключ – код наименования строительного материала
Единицы измерения	Числовой	Единицы измерения строительного материала, определяемый в соответствии с ведомостью потребности в основных строительных материалах, спецификацией сборных железобетонных изделий на стадиях ПОС, ППР
Срок службы материала	Числовой	Срок службы материала, лет (определяется по ВСН 58-88 (р) или специальным справочникам, прикрепляемым к базе данных как период от начала эксплуатации до капитального ремонта или демонтажа материала)
ЭПМ	Числовой	Энергоёмкость производства материала, т.у.т.
ЭСМ	Числовой	Энергоёмкость строительства материала, т.у.т.
ЭРМ	Числовой	Энергоёмкость ремонта (замены) материала, т.у.т.
ЭДМ	Числовой	Энергоёмкость демонтажа материала, т.у.т.
ЭРУМ	Числовой	Энергоёмкость рециклинга (утилизации) материала, т.у.т.

На рисунках 45-49 представлены схемы запросов, сформированных по зданию МКД-1.

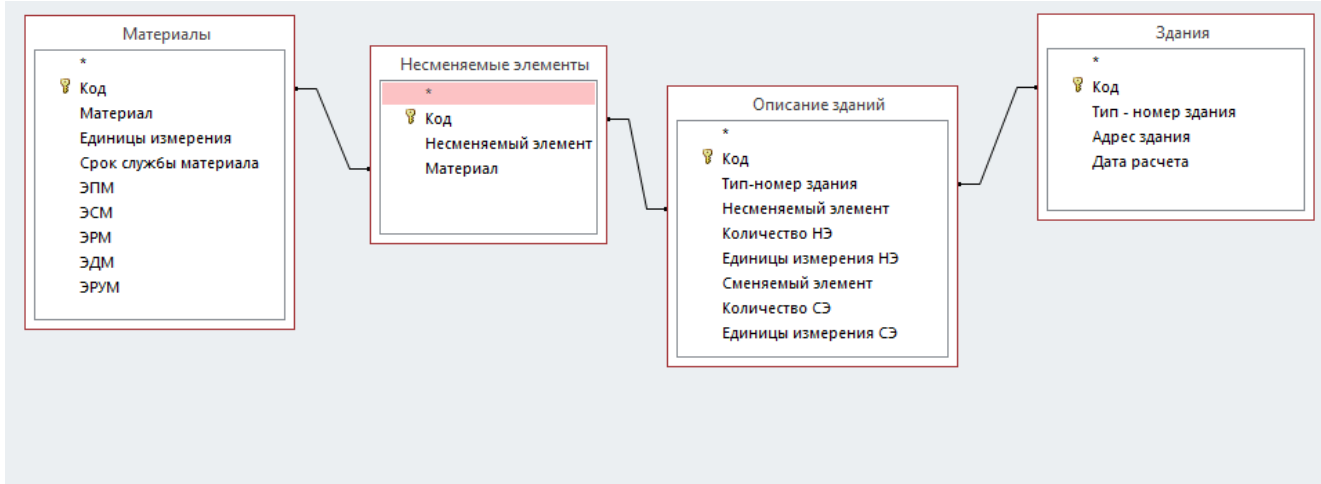


Рисунок 51 – Схема данных запроса № 1. Срок службы здания

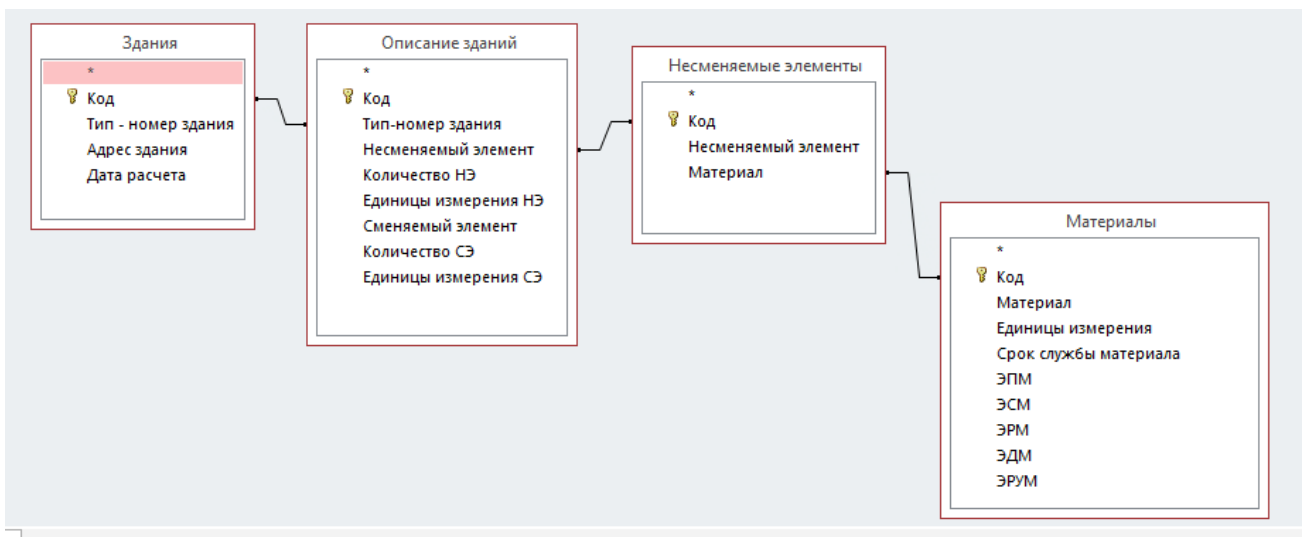


Рисунок 52 – Схема данных запроса № 2. Энергоёмкость жизненного цикла несменяемых элементов

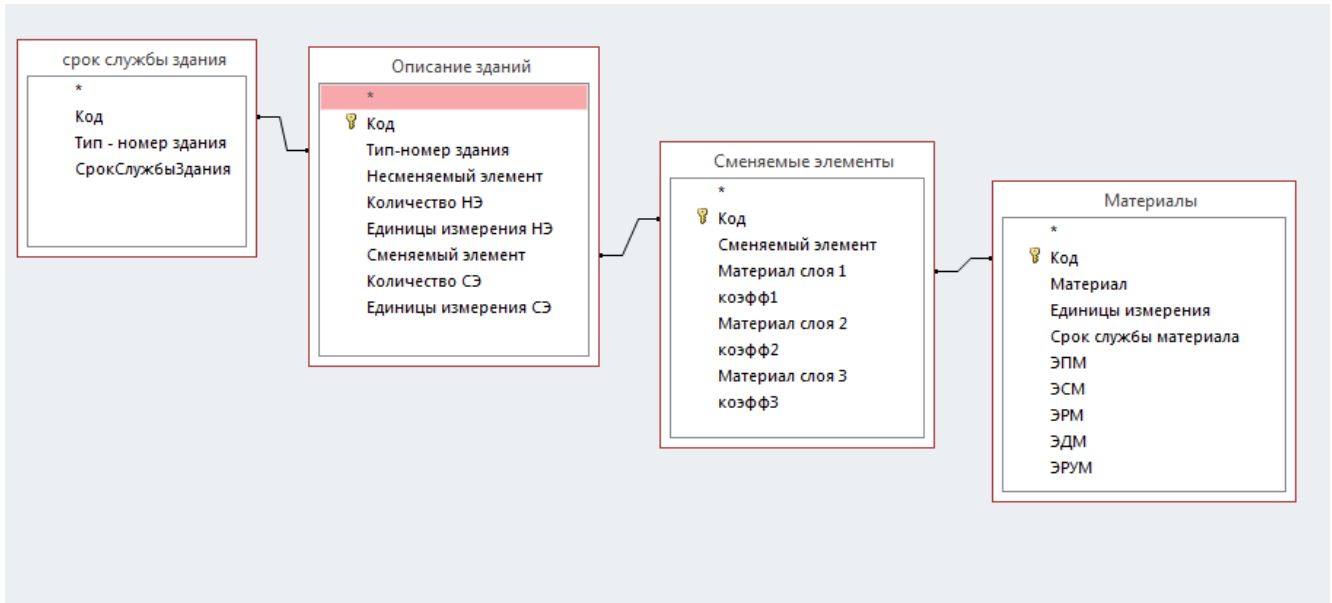


Рисунок 53 – Схема данных запроса № 3. Энергоёмкость жизненного цикла сменяемых элементов (слой 1)

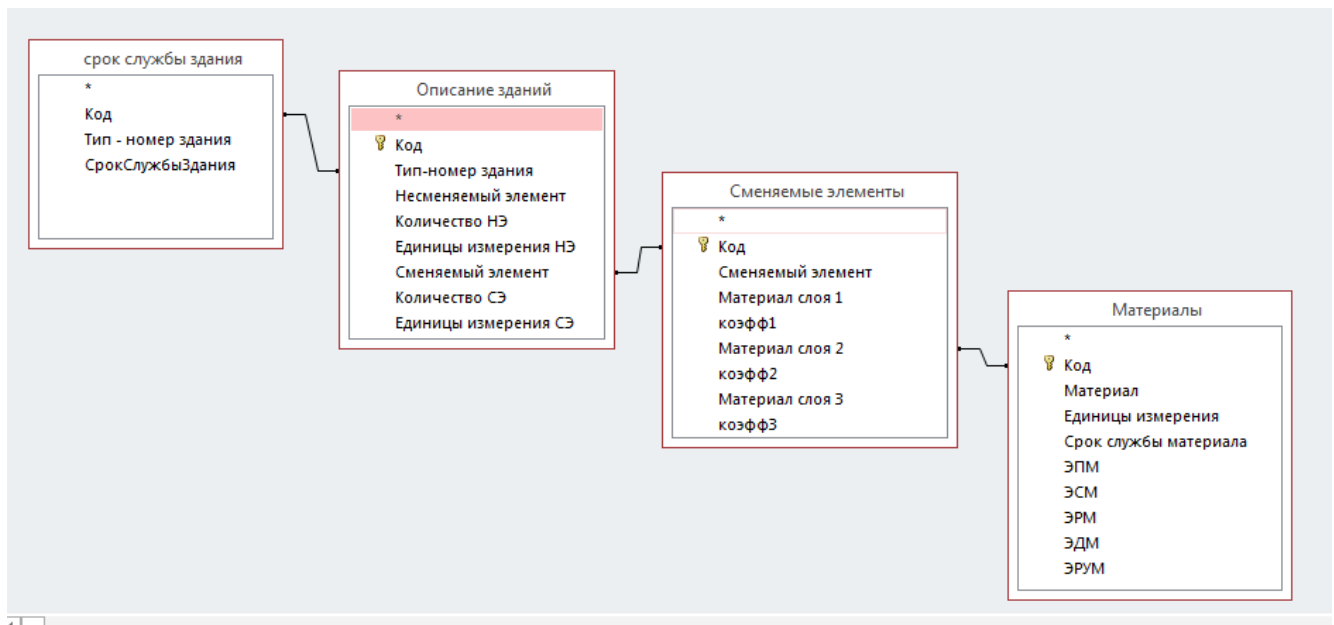


Рисунок 54 – Схема данных запроса № 4. Энергоёмкость жизненного цикла сменяемых элементов (слой 2)

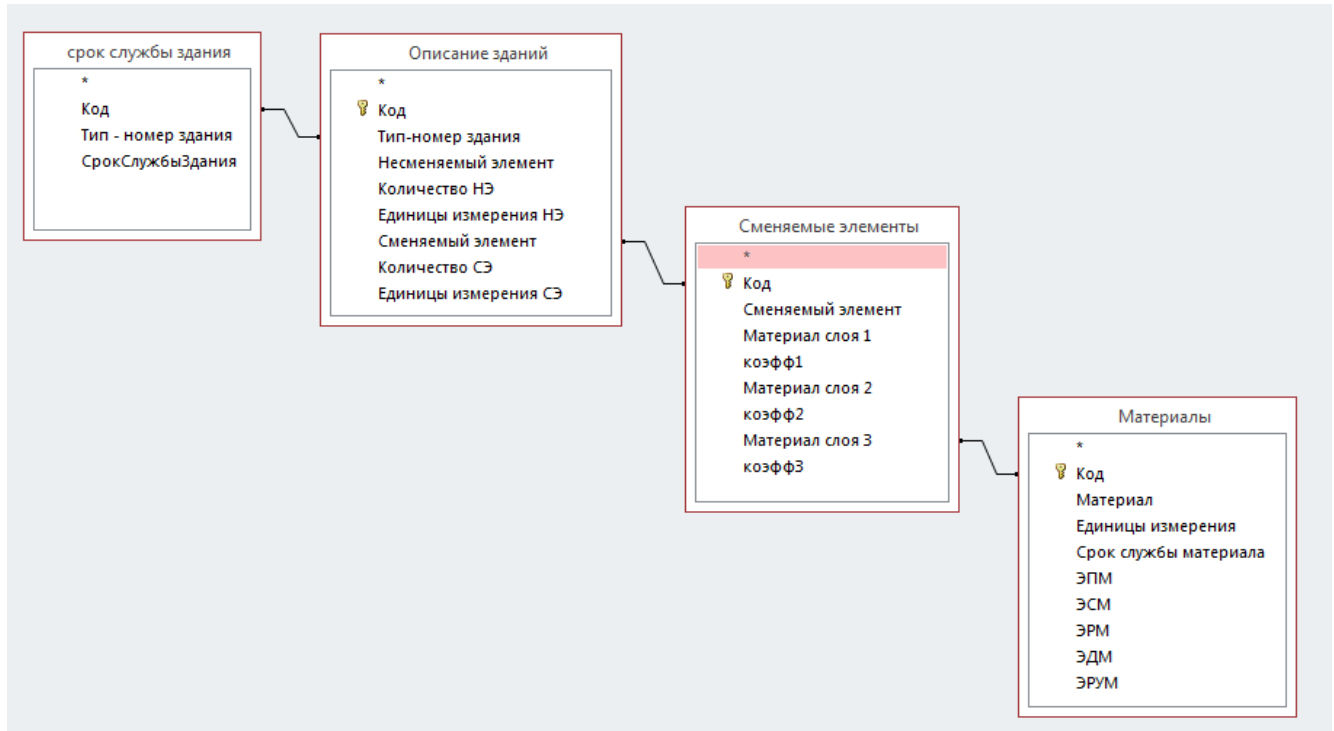


Рисунок 55 – Схема данных запроса № 5. Энергоёмкость жизненного цикла сменяемых элементов (слой 3)

Таким образом, представленная принципиальная схема базы данных энергоёмкости строительных материалов является реляционной и может быть использована при проектировании структуры базы данных практически в любой СУБД.

Запросы к создаваемой базе данных энергоёмкости строительных материалов формируются исходя из её цели – определение энергоёмкости жизненного цикла зданий. Пользователь формирует запросы как по энергетическим затратам отдельных строительных материалов или их композитов, так и по зданиям в целом. Форма запроса содержит: номер здания; пользовательское наименование здания; адрес здания; дата формирования запроса; таблица энергоёмкости жизненного цикла несменяемых элементов; таблица энергоёмкости жизненного цикла сменяемых элементов по слоям.

Заключение

Авторы данной монографии познакомили читателей с историей становления и развития энергоэффективных зданий, систематизировали факторы, определяющие их энергетическую эффективность, описали проблемы, мешающие широкому внедрению и тиражированию энергоэффективных зданий в современной строительной отрасли и предложили пути их решения. В процессе работы над книгой авторы пришли к выводу, что тема энергоэффективных зданий является огромной и комплексной по своему содержанию, не теряет своей актуальности, а наоборот, с появлением новых научных зданий она расширяется и приобретает новые горизонты и ставит задачи для дальнейших научных исследований. С развитием научного знания об энергоэффективных зданиях развивается методология научного познания процессов их жизненного цикла. Исходными эмпирическими и теоретическими основами проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий является сложившийся научно-методический аппарат в области строительных наук, а также комплекс нормативно-методических документов, принятых в соответствии с концепцией нормирования тепловой защиты зданий. Для достижения нового уровня научного знания в области энергоэффективных зданий, необходимо руководствоваться методологией, которая включает как ранее известные элементы, так и вновь предлагаемые, и, сочетая процессы исследования с процессами разработки, получать, таким образом, организацию знаний в виде совокупности избираемых известных, а также вновь предлагаемых элементов научно-методического аппарата. На основе анализа нормативно-правовой базы энергоэффективности с применением авторского матричного подхода к анализу проблем построена матрица нормативно-правового обеспечения жизненного цикла энергоэффективных зданий, позволяющая выявить проблемы и

определить пути совершенствования и актуализации нормативно-методического обеспечения строительного производства.

В монографии исследована эволюция показателей энергетической эффективности зданий, в процессе которой установлен переход от учёта только тепловой энергии, потребляемой зданиями за отопительный период к учёту всех видов энергетических ресурсов. Сделан вывод о том, что показатели энергетической эффективности зданий должны учитывать не только количество потребляемых энергетических ресурсов, но и виды и методы измерения показателей, стадии жизненного цикла зданий, целостность и тип зданий. Указанные направления учёта приняты за основу разработанной классификации показателей энергетической эффективности зданий. Предложена формула интегрального показателя энергоэффективности зданий, преимуществом которого является то, что при его расчёте отсутствует необходимость вычленения затрат различных видов энергоресурсов в общем энергопотреблении зданиями и введения вследствие этого разных коэффициентов приведения к единому энергетическому измерителю: тонна условного топлива.

Авторы представили наиболее распространённые, зарекомендовавшие себя с точки зрения эффективности и энергосбережения строительные материалы, изделия и конструкции, которые используются при строительстве, ремонте и реконструкции энергоэффективных зданий; описали инженерные методы и решения, повышающие энергетическую эффективность строительных объектов; представили интегрированную схему энергоэффективных зданий. Убедительно доказали, что энергоэффективность – это комплексная характеристика, имеющая многокритериальность, многофакторность, и наиболее эффективно изучаемая с позиции системного и процессного подходов, согласно которым здание является системным объектом, существующим в постоянной динамике процессов.

Авторами выявлены факторы энергоёмкости жизненного цикла зданий, новизна которых заключается в их использовании для расчёта энергоёмкости

жизненного цикла зданий в едином измерителе как по отдельным стадиям и агрегатам, так и в течение всего жизненного цикла. Предложено введение нового понятия «агрегаты энергопотребления» и доказана целесообразность создания имитационной модели процессов потребления зданиями энергоресурсов жизненного цикла энергоэффективных зданий на основе аппарата стохастических агрегативных систем, позволяющей производить многовариантные расчёты и принимать на их основе многовариантные организационно-технические решения, направленные на снижение энергоёмкости и повышение энергоэффективности зданий.

Разработана структура реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов с использованием MS Access, использование которой позволит проектировщикам, строителям, инжиниринговым организациям разрабатывать и внедрять в проекты строительства и реконструкции зданий строительные материалы с наименьшей энергоёмкостью без потери надёжности и комфортности.

Авторы выражают надежду, что данная книга позволит читателям проникнуться интересной темой энергоэффективности зданий и наметить для себя пути своих научных исследований в данной области, увидеть новые научные задачи, решить их и внедрить в существующую практику строительного производства на благо развития науки и народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Опарина Л.А. // Применение геосинтетических материалов в строительстве: экономический аспект Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 3 (363). С. 14-19.
2. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Расчет основных параметров конструкций дорожной одежды с применением геотекстильных синтетических защитно-дренирующих материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 2 (362). С. 51-55.
3. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Расчёт основных параметров конструкций дорожной одежды с применением геотекстильных синтетических защитно-дренирующих материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2016. № 2. С. 51-55.
4. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Совершенствование организационно-технологических решений по ресурсо- и энергосбережению в строительстве с использованием синтетических геоматериалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 6 (360). С. 9-15.
5. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Сравнительный анализ ресурсо- и энергосберегающих характеристик применения геотекстиля в строительстве // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2016. № 1. С. 10-14.

6. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Сравнительный анализ ресурсо- и энергосберегающих характеристик при применении геотекстиля в строительстве // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 1 (361). С. 10-14.
7. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б. Экономическая эффективность воздушно-тепловых насосов для объектов производственного и непромышленного назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 1 (361). С. 18-21.
8. Алоян, Р.М. Интегральный показатель энергоэффективности как основа организационного механизма строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий / Р.М. Алоян, А.Б. Петрухин, Л.А. Опарина, М.В. Ставрова // Жилищное строительство. – 2012. – № 3. – С. 46-48.
9. Алоян, Р.М. Применение принципов системотехники строительства к обеспечению энергоэффективности зданий / Р.М. Алоян, Л.А. Опарина, Н.И. Варамашвили // Актуальные вопросы строительства: материалы десятой Междунар. науч.-техн. конфер. – Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2011. – С. 292-295.
10. Алоян, Р.М. Формирование системотехнических принципов энергоэффективности зданий / Р.М. Алоян, Л.А. Опарина, Н.И. Варамашвили // Вестник МГСУ. – 2012. – № 8. – С. 147-153.
11. Алоян, Р.М. Функциональное моделирование как организационный инструмент проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий / Р.М. Алоян, А.Б. Петрухин, Л.А. Опарина, М.В. Ставрова // Жилищное строительство. – 2012. – № 2. – С. 2-5.
12. Анохин, П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П.К. Анохин. – М.: Наука, 1980. – 196 с.

13. Арабей, Е. «Европа 2020: стратегия разумного, устойчивого и всеобъемлющего роста» [Электронный ресурс] / Е. Арабей // Режим доступа: <http://eulaw.ru/content/307>. (Дата обращения 10.04.2013).
14. Баранов, С.П. Анализ затрат энергоресурсов при производстве строительного-монтажных работ / С.П. Баранов, Г.В. Земляков, А.А. Лозовский. – Мн.: БНТУ, 2004. – 465 с.
15. Барон В.Г. Рекуператор тепла вентиляционного воздуха - эффективное энергосбережение или неоправданное расточительство // Новости теплоснабжения. №1(77), 2007.
16. Батулин В.В., Шепелев И.А. Аэродинамические коэффициенты некоторых компоновок промышленных зданий. Сб. «Современные вопросы вентиляции». Госстройиздат, М-Л., 1941.
17. Батулин В.В., Эльтерман В.М. Аэрация промышленных зданий. М. Госстройиздат, 1953.
18. Беккер Й. Менеджмент процессов [пер. с нем.] / Й. Беккер, Л. Вилкова, В. Таратухин, М. Кугелер, М. Роземанн; под ред. Й. Беккера. – М.: Эксмо, 2007. – 384 с.
19. Березнюк, А.Н. Совершенствование организационно-технологических решений строительства и реконструкции с учетом ресурсосбережения / А.Н. Березнюк, Р.Б. Папирный, В.Т. Шалённый // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. – 2011. – № 3. – С. 22-28.
20. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. М.: Техносфера, 2004. – 480 с.
21. Богданов, А.Б. Причины, не позволяющие выполнить указ Президента № 889 от 4 июня 2008 г. о снижении энергоёмкости валового внутреннего продукта на 40% [Электронный ресурс] / А.Б. Богданов. – Режим доступа: <http://exergy.narod.ru/tezises.htm>

- 22.Бродач, М.М. Рынок зелёного строительства в России / М.М. Бродач, Г. Имз // Здания высоких технологий. – № 1. – 2013.
- 23.Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
- 24.Васильев, Г.П. Эффективная теплозащита – дань моде или экономическая необходимость? / Г.П. Васильев // Энергосбережение. – 2011. – № 6. – С. 14-28.
- 25.Воплощение инженерных идей (Электронный ресурс) URL: <http://zvt.abok.ru/articles/22> (Дата обращения 02.06.2016).
- 26.Гиперкуб – центр проекта Сколково (Электронный ресурс) URL: <http://sk.ru/city/hypercube/conference/> (Дата обращения 04.06.2016).
- 27.Глобальная энергетическая безопасность: Санкт-Петербургский план действий. Принят 16 июля 2006 года [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.g8russia.ru/docs/11.html> (Дата обращения 10.04.2013).
- 28.Голубцов, Н.В. Энергетическая эффективность зданий и сооружений в аспекте управления их жизненным циклом / Н.В. Голубцов, Л.Г. Ефремов, Р.Г. Исмятуллин // Вестник Чувашиского университета. – 2013. – № 11. – С. 247-255.
- 29.Горчаков, Г.И., Строительные материалы: учеб. для вузов / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
- 30.ГОСТ Р 51387-1999 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 20 с.
- 31.ГОСТ Р 51388-99 Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 19 с.
- 32.ГОСТ Р 51541-1999 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 12 с.
- 33.ГОСТ Р 52104-2003. Ресурсосбережение. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 12 с.

- 34.ГОСТ Р ИСО 14040:2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (IDT). – М.: Стандартинформ, 2014 – 17 с.
- 35.Градостроительный кодекс Российской Федерации: федер. закон № 190-ФЗ от 29.12.2004 // Рос. газ. – 2004. – 30 дек. (№ 290).
- 36.Грибов С.М. Композитная арматура для капитального строительства из стекловолокна // Информационная среда вуза (XXIII Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: ИВГПУ, 2015. С. 245-248.
- 37.Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие / Л.И. Дворкин. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 368 с.
- 38.E. Weizsacker, A.V, Lovins and L.H. Lovins. Factor Four. Doubling Wealth-Halving Resource Use. The new report to the club of Rome. Earthscan Publication Ltd, London, 1995.
- 39.Ильягуев, Р. Энергоэффективность: нормативно-правовой аспект [Электронный ресурс] / Р. Ильягуев // Режим доступа: http://esco.co.ua/journal/esco/2013_8/art41.html (Дата обращения 10.04.2013).
- 40.Кобелева, С.А. Жилищное строительство, природа, общество, экономика: направления эффективного взаимодействия / С.А. Кобелева // Строительство и реконструкция. – 2013. - № 2 (46). – с. 89-93.
- 41.Кобелева, С.А. Разработка методики определения полной энергоёмкости зданий / С.А. Кобелева // Строительство и реконструкция. – 2012. - № 1 (39). – С. 74-78.

- 42.Комплекс «Федерация». Инженерные решения башни «Восток» (Электронный ресурс) URL:http://zvt.abok.ru/articles/331/Kompleks_Federatsiya_Inzhenernie_resheniya_bashni_Vostok (Дата обращения 02.06.2016).
- 43.Кузина, О.В. Разработка организационно-экономического механизма снижения энергоёмкости строительного сектора экономики: дис. ...канд. экон. наук: 08.00.05 / Кузина Ольга Викторовна. – М.: 2011. – 137 с.
- 44.Малец, В. Проблемы энергосбережения в производстве строительных материалов / В. Малец, Е. Подлuzский [Электронный ресурс] // Архитектурно-строительный портал Ais.by. Режим доступа: <http://ais.by/node/1351> (дата обращения 22.07.2012)
- 45.Матросов, Ю.А. Могут ли современные строительные материалы обеспечить высокую энергоэффективность зданий / Ю.А. Матросов // Сборник докладов международной научно-практической конференции «Эффективные тепло- и звукоизоляционные материалы в современном строительстве и ЖКХ». – 2006. – С. 22-35.
- 46.Матросов, Ю.А. Нормативная база энергосбережения в зданиях на федеральном и региональном уровнях / Ю.А. Матросов // Теплоэнергоэффективные технологии. Информационный бюллетень. – 2003. – № 4. – С.28-33.
- 47.Матросов, Ю.А. Повышение энергоэффективности жилых зданий / Ю.А. Матросов // Бюллетень ЦЭНЭФ. – 2002. – № 35. – С.23-24.
- 48.Матросов, Ю.А. Сравнительный анализ новых территориальных норм России по энергетической эффективности жилых зданий и нового постановления Германии / Ю.А. Матросов // Энергосбережение. – № 4. – 2002. – С. 60-64.

49. Матросов, Ю.А. Стратегия устойчивого развития строительного комплекса России / Ю.А. Матросов, Г.Л. Осипов // Материалы пленарного заседания НИИСФ РААСН. – 2006. – С.6-9.
50. Матросов, Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути её решения: монография / Ю.А. Матросов. – Казань: Изд-во НИИ строительной физики РААСН, 2008. – 495 с.
51. Машкин Н.А., Лыткина Е.В. Костролитовые строительные материалы с использованием композиционного магниезиального вяжущего на основе диабазы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 15 (191). С. 8-10.
52. Методика расчета значений целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе в сопоставимых условиях (утв. Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 07.01.2010 г. № 273).
53. Методические рекомендации по экономическому обоснованию применения конструктивных элементов и технологий, обеспечивающих повышение эффективности инвестиций за счет снижения эксплуатационных затрат, повышения долговечности зданий и сооружений, сокращения продолжительности строительства и других эффективных решений при повышении единовременных затрат при проектировании и строительстве, и одновременном росте сметной стоимости. МРР-3.2.23-97. – М.: Комитет по архитектуре и градостроительству, 1997. – 97 с.
54. Методические указания по проведению энергоресурсаудита в жилищно-коммунальном хозяйстве (утв. приказом Госстроя России от 18.04.2001 г. № 81).
55. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 62 с.

56. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий. Стандарт общественной организации РНТО строителей. СТО 17532043-001-2005. – М.: ГУП ЦПП, 2006. – 20 с.
57. О внесении изменений в Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию. Постановление Правительства РФ № 235 от 13.04.2010 г. // Рос. газ. – 2010. – 20 апреля (№ 83).
58. О городской программе «Энергосберегающее домостроение в городе Москве» на 2010-2014 гг. и на перспективу до 2020 года». Постановление Правительства Москвы от 9.07.2009 № 536-ПП.
59. О концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. 1662-р) // Собрание законодательства РФ. – 2008. 24 ноября (№ 47), ст. 5489.
60. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: Указ Президента Российской Федерации № 889 от 4.06.2008 // Рос. газ. – 2008. – 7 июня (№ 4680).
61. О неукоснительном соблюдении требований действующих нормативных документов в части применения прогрессивных энергосберегающих технологий, современных материалов и оборудования. Письмо Госстроя РФ № НК-5607/6 от 10.09.2003 г.
62. О повышении энергетической эффективности жилых, социальных и общественно-деловых зданий в городе Москве и внесении изменений в постановление Правительства Москвы от 9 июня 2009 г. № 536-ПП: Постановление Правительства Москвы № 900-ПП от 5.10.2010.
63. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию. Постановление Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 г. // Рос. газ. – 2008. – 27 февраля (№ 4598).

64. О техническом регулировании: федер. закон Рос. Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 15 декабря 2002 г. // Рос. газ. – 2002. – 31 дек. (№ 245).
65. О требованиях энергетической эффективности зданий, строений, сооружений. Приказ Минрегион развития № 262 от 28 мая 2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12076199/> (Дата обращения 10.10.14).
66. Об академии Сен-Гобен (Электронный ресурс) URL: <http://www.saint-gobain.ru/ru/academy/about> (Дата обращения 02.06.2016).
67. Об утверждении государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»: Распоряжение Правительства РФ от 27 декабря 2010 года № 2446-р. // Собрание законодательства РФ – 2011. – 24 янв. (№ 4), ст.622.
68. Об утверждении Положения о требованиях, предъявляемых к сбору, обработке, систематизации, анализу и использованию данных энергетических паспортов, составленных по результатам обязательных и добровольных энергетических обследований. Постановление Правительства РФ № 19 от 25.01.2011. // Рос. газ – 2011. – 12 февраля (№ 5399).
69. Об утверждении Правил осуществления государственного контроля за соблюдением требований законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ № 318 от 25.04.2011 // Рос. газ. – 2011. – 29 апреля (№ 5469).
70. Об утверждении правил осуществления государственного контроля за соблюдением требований законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации. Постановление

- Правительства РФ № 318 от 25.04.2011 г. // Рос. газ – 2011. – 29 апреля (№ 93).
71. Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов. Постановление Правительства РФ от 25 января 2011 г. № 18 // Собрание законодательства РФ. – 2011. 31 января (№ 5), ст. 742.
72. Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования. Приказ Минэнерго России от 19.04.2010 №182. // Рос. Газ (Интернет-портал). – 2010. – 28 февр.
73. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 11 ноября 2009 г. // Рос. газ. – 2009. – 27 нояб. (№ 5050).
74. Олейник, П.П. Организация системы переработки строительных отходов / П.П. Олейник, С.В. Олейник. – М.: МГСУ, 2009. – 259 с.
75. Опарина Л.А. Декомпозиция первого уровня функциональной модели жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2012. – № 1. – С. 28-29.
76. Опарина Л.А. Имитационное моделирование энергопотребления зданиями в течение жизненного цикла на основе аппарата стохастических агрегативных систем / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2013. – № 8. – С. 22-24.

77. Опарина Л.А. Технико-экономическое обоснование утепления стен зданий // Информационная среда вуза (XVI Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т. – 2010. – С. 364-370.
78. Опарина, Л.А. IDEF0-моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2011. – № 11. – С. 18-20.
79. Опарина, Л.А. Внедрение энергосберегающих мероприятий как фактор повышения эффективности управления недвижимостью. // Учёные записки ФЭиУ– Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2011. – С. 364-370.
80. Опарина, Л.А. Имитационное моделирование расхода энергоресурсов зданиями / Л.А. Опарина // Энергосбережение. – 2012. – № 7. – С. 68-70.
81. Опарина, Л.А. К вопросу о применении программно-целевого подхода при решении проблем энергосбережения / Л.А. Опарина, М.А. Петрухин, Ю.А. Чистякова // Информационная среда вуза (XIX Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2012. – С. 436-444.
82. Опарина, Л.А. К вопросу об организации системы энергетической паспортизации зданий / Л.А. Опарина, Н.С., Агупова // Информационная среда вуза (XVII Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2011. – С. 364-370.
83. Опарина, Л.А. Классификация показателей энергетической эффективности зданий (Коллективная монография) «Архитектура и строительство. Часть II Многотомной коллективной монографии «Проблемы и пути развития Российской провинции»» / Л.А. Опарина. – Пенза: РИО ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА», 2011. – С.85-93.

84. Опарина, Л.А. Новые информационные технологии организации строительного производства / Л.А. Опарина // Информационная среда вуза (XIX Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2012. – С. 409-411.
85. Опарина, Л.А. Обоснование применения методологии процессного подхода к моделированию жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2011. – № 5. – С. 8-10.
86. Опарина, Л.А. Определение понятия «энергоэффективное здание» / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2010. – № 8. – С. 2-4.
87. Опарина, Л.А. Организационные аспекты проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2011. – № 10. – С. 8-10.
88. Опарина, Л.А. Основы ресурсо- и энергосбережения в строительстве: учебное пособие / Л.А. Опарина. – Иваново: ПресСто, 2014. – 256 с.
89. Опарина, Л.А. Построение матрицы нормативно-правовой базы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий / Л.А. Опарина // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – №4 (72). – С.22-25.
90. Опарина, Л.А. Практические примеры оценки эффективности энергосберегающих мероприятий / Л.А. Опарина // Информационная среда вуза (XVI Международная научно – практическая конференция): Сборник статей – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2010. – С. 370-376.
91. Опарина, Л.А. Развитие технологий моделирования жизненного цикла зданий / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2011. – № 12. – С. 45-46.
92. Опарина, Л.А. Результаты расчёта энергоёмкости жизненного цикла зданий / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2013. – № 11. – С. 50-52.

93. Опарина, Л.А. Системный подход к организации жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2014. – № 8. – С. 12-15.
94. Опарина, Л.А. Создание реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов / Л.А. Опарина, Н.В. Заянчуковская, И.Н. Лыкова // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 6(50). – С. 78-81.
95. Опарина, Л.А. Создание реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов / Н.В. Заянчуковская, И.Н. Лыкова // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 6(50). – С. 78-81.
96. Опарина, Л.А. Техничко-экономическое обоснование утепления стен зданий / Л.А. Опарина // Информационная среда вуза (XVI Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2010. – С. 364-370.
97. Опарина, Л.А. Учёт энергоёмкости строительных материалов в жизненном цикле зданий – путь к устойчивому развитию / Л.А. Опарина // Энергосбережение. – 2014. – № 8. – С. 66-68.
98. Опарина, Л.А. Учёт энергоёмкости строительных материалов на разных стадиях жизненного цикла зданий / Л.А. Опарина // Строительные материалы. – 2014. – № 11. – С. 44-46.
99. Опарина, Л.А. Формирование классификации показателей энергетической эффективности зданий / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2011. – № 2. – С. 18-20.
100. Опарина, Л.А. Функциональное моделирование бизнес-процессов как основа стратегического планирования в строительной отрасли / Л.А. Опарина // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы тринадцатого всероссийского симпозиума – М.: ЦЭМИ РАН, 2012 г. – С. 132-134.

101. Опарина, Л.А. Функциональное моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л.А. Опарина // Энергосбережение. – 2011. – № 7. – С. 69-71.
102. Опарина, Л.А. Экономика и организация архитектурного проектирования и строительства / Л.А. Опарина, Р.Ю. Опарин. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2011. – 282 с.
103. Организационно-экономическое моделирование процесса проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий. Грант РГНФ: целевой конкурс поддержки молодых учёных № 11-32-00360a2: отчёт о НИР № госрегистрации 01201169487 / Опарина Л.А. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2012. – 36 с.
104. Пассивные дома в России: реальность или несбыточная мечта? (Электронный ресурс) URL: <http://www.krovlirossia.ru/%D0%B1%D0%B5%D0%B7-%D1%80%D1%83%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B8/home/passivnye-doma-v-rossii-realnost-ili-nesbytochnaya-mechta> (Дата обращения 02.06.2016).
105. Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (утв. распоряжением Правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 1047-р).
106. Проекты Нормана Фостера - лучшие здания Рамблер/ (Электронный ресурс) URL: <http://travel.rambler.ru/article/2269/> (Дата обращения 02.06.2016).
107. Пулково-Скай (Электронный ресурс) URL: http://www.bizsen.ru/pulkovo_skay/ (Дата обращения 02.06.2016).
108. Пулково-Скай: новые стандарты комфорта микроклимата (Электронный ресурс) URL:

- http://zvt.abok.ru/articles/64/Pulkovo_Skai_novie_standarti_komforta_mikr_oklimata (Дата обращения 03.06.2016).
109. Расчёт мощности кондиционера [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.rfclimat.ru/htm/con_calc.htm (дата обращения: 8.11.2012).
110. Савин, В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение / В.К. Савин – М.: «Лазурь», 2005. – 432 с.
111. Савин, В.К. Строительная физика: энергоэкономика / В.К. Савин – М.: «Лазурь», 2011. – 418 с.
112. Самые известные в мире энергоэффективные здания дома (Электронный ресурс) URL: <http://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnyye-zdaniya> (Дата обращения 02.06.2016).
113. Свод правил СП 54.13330.2011: Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 / М.: Минрегион РФ. – Введ. 20.05.2011. Росстандарт, 2011. – 40 с.
114. Свод правил СП 56.13330.2011: Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001 / М.: Минрегион РФ. – Введ. 20.05.2011. Росстандарт, 2011. – 22 с.
115. Свод правил. Тепловая защита зданий. СП 50.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. / Госстрой РФ. – Введ. 01.01.2012 – М.: Минрегион России. 2012. – 100 с.
116. Свод правил: Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий: СП 31-107-2004 / М.: Госстрой РФ. – Введ. 01.06.2004. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 177 с.
117. Свод правил: Дома жилые одноквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-02-2001: СП 55.13330.2011 / Минрегионразвития РФ. – Введ. 20.05.2011. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 22 с.

118. Свод правил: Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004: СП 48.13330.201 / Минрегионразвития РФ. – Введ. 20.05.2011. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 22 с.
119. Свод правил: Проектирование тепловой защиты зданий: СП 23-101-04 / Госстрой РФ. – Введ. 01.06.2004. – М., 2004. – 79 с.
120. Сеппанен, О. Европа устанавливает новые требования к энергетическим характеристикам зданий / О. Сеппанен // Энергосбережение. – 2010. – № 4. – С.40-46.
121. Системы добровольной сертификации объектов недвижимости «Зеленые стандарты». – Рег. РОСС RU.И630.04ААДО.
122. Соколов, С.В. Эволюция энергосбережения в строительстве [Электронный ресурс] / С.В. Соколов – Режим доступа: <http://www.expertiza-kazan.ru/articles/stroyexp/?ID=45> (дата обращения 24.11.2012).
123. Соколов, С.В. Эволюция энергосбережения в строительстве [Электронный ресурс] / С.В. Соколов – Режим доступа: <http://www.expertiza-kazan.ru/articles/stroyexp/?ID=45> (дата обращения 24.11.2012).
124. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности (Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency), международная аббревиатура ENE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_dokument_es_po_e_ef.pdf (Дата обращения 3.02.15).
125. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности (Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency), международная аббревиатура ENE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_dokument_es_po_e_ef.pdf (Дата обращения 3.02.15).

126. Стандарт Национального объединения строителей «Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Учёт региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания». – СТО 017 НОСТРОЙ 2.35.4-2013. – М., 2013. – 67 с.
127. Стандарт Национального объединения строителей «Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Учёт региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания». – СТО 221 НОСТРОЙ 2.35.68-2013. – СПб., 2013. – 35 с.
128. Строительные нормы и правила: Здания жилые многоквартирные: СНиП 31-02-2003 / Госстрой РФ. – Введ. 01.10.2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 26 с.
129. Строительные нормы и правила: Общественные здания административного назначения СНиП 31-05-2003 / М.: Госстрой РФ. – Введ. 01.09.2003. М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 22 с.
130. Строительные нормы и правила: Общественные здания и сооружения (Актуализированная редакция СНиП 2.08.02-89*). СНиП 31-06-2009 / М.: Минрегион РФ. – Введ. 01.01.2010. Росстандарт, 2010. – 59 с.
131. Строительные нормы и правила: Отопление, вентиляция, кондиционирование. СНиП 2.04.05-91* / М.: Госстрой РФ. – Введ. 01.09.1991. – М.: ФГУП ЦПП, 1999 – 72 с.
132. Строительные нормы и правила: Пожарная безопасность зданий и сооружений СНиП 21-01-97 / М.: Госстрой РФ. – Введ. 01.01.1998. – М.: ФГУП ЦПП, 2000. – 35 с.
133. Строительные нормы и правила: Система нормативных документов в строительстве. Основные положения СНиП 10-01-94 / М.: Госстрой РФ. – Введ. 01.01.1995. М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 22 с.
134. Строительные нормы и правила: Строительная климатология СНиП 23-01-99 / М.: Госстрой РФ. – Введ. 01.01.2000. – М.: ФГУП ЦПП, 2000 – 91 с.

135. Строительные нормы и правила: Строительная теплотехника: СНиП II-3-79 / Госстрой СССР. – Введ. 01.07.79 – М.: Минстрой России – М.: ГП ЦПП, 1979. – 49 с.
136. Строительные нормы и правила: Тепловая защита зданий: СНиП 23-02-2003 / Госстрой РФ. – Введ. 01.10.2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 26 с.
137. Табунщиков Ю.А. Строительные концепции зданий XXI века в области теплоснабжения и климатизации // АВОК № 4, 2005 г. С 4-8.
138. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий (2-е издание, исправленное и дополненное): электронная книга / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2012. – 204 с.
139. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
140. Талапов, В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий / В.В. Талапов. – М.: ДМК, 2011. – 392 с.
141. Теличенко, В.И. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве: научное издание / В.И. Теличенко, А.А. Лapidус – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.
142. Территориальные строительные нормы: Энергетическая эффективность в жилых и общественных зданиях: МГСН 2.01-99 / Введ.23.01.99. – М., 1999. – 47 с.
143. Техничко-экономическая концепция производства и применения теплоизоляционных материалов в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uralstroyinfo.ru/?id=62&doc=79> (дата обращения: 18.10.2012)

144. Технические рекомендации по установлению долговечности (срока службы) строительных материалов и изделий. ТР 165-05. – Введ. 1.06.2005. – М.: ГУП «НИИМОССТРОЙ», 2005. – 10 с.
145. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федеральный закон Рос. Федерации от 31 декабря 2009 г. № 384-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 31 декабря 2009 г. // Рос. газ. – 2009. – 31 дек. (№ 5079).
146. Требования к энергоэффективности зданий в странах ЕС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/543> (Дата обращения 09.06.2012).
147. Требования энергетической эффективности в отношении товаров, используемых для создания элементов конструкций зданий, строений, сооружений, в том числе инженерных систем ресурсоснабжения, влияющих на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений. Приказ Минэкономразвития РФ № 229 от 4.06.2010 г. // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2010. – 12 июля (№ 28).
148. Федосов С.В., Акулова М.В., Кокшаров С.А., Метелева О.В. Теоретические основы тепломассопереноса в перспективных технологиях производства материалов текстильной и строительной отраслей промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 6 (360). С. 170-175.
149. Федосов С.В., Баканов М.О., Никишов С.Н. Основные принципы технологии получения теплоизоляционного пеностекла, подходы к моделированию // Эффективные строительные композиты Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 690-699.

150. Федосов С.В., Кузнецов А.Н., Соколов А.М. // Оценка энергетических показателей процесса электротепловой обработки газобетона В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XVIII Бенардосовские чтения) Материалы Международной научно-технической конференции. 2015. С. 128-131.
151. Федосов С.В., Масленников В.А., Осадчий Ю.П., Маркелов А.В. Ресурсосберегающие технологии в подготовке производства // КАЧЕСТВО В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ сборник научных трудов 2-ой Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Юго-Западного государственного университета: в 2-х томах. Ответственный редактор Павлов Е.В.. 2014. С. 384-385.
152. Федосов С.В., Осадчий Ю.П., Пахотин Н.Е., Пахотина И.Н. Ресурсосберегающие технологии на производстве // Современные материалы, техника и технология материалы 4-й Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2014. С. 450-452.
153. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваев И.В. Композитная арматура как способ повышения долговечности строительных конструкций // Эффективные строительные композиты Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 700-710.
154. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А. Математическое моделирование массопереноса в процессах коррозии бетона для обеспечения безопасности и долговечности зданий и сооружений // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различ-

- ных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе сборник научных статей Первых Международных Лыковских научных чтений, посвящённых 105-летию академика А.В. Лыкова. 2015. С. 260-262.
155. Фокин, В.М. Основы энергосбережения в вопросах теплообмена / В.М. Фокин, Г.П. Бойков, Ю.В. Видин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2005. – 192 с.
156. Фокин, В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 256 с.
157. Фокин, К.В. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.В. Фокин. М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
158. Хайт, В.Л. Фундаментальная наука и жилище будущего / В.Л. Хайт // Жилищное строительство. – 2004. – № 10. – с. 74-78
159. Цай, Т.Н. Организация строительного производства: учебник для вузов / Т.Н. Цай, П.Г. Грабовый, В.А. Большаков и др. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 432 с.
160. Энергоэффективные дома (Электронный ресурс) URL: <http://echo-dom.tripod.com/site/energy.html> (Дата обращения 11.05.2016).
161. Энергоэффективные и комфортные дома Дании (Электронный ресурс) URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/823> (Дата обращения 02.06.2016).
162. A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies // Energy and Buildings. 2011. no. 43. pp. 971-979.
163. Bertalanffy L. An Outline of General System Theory // British J. For Phil. Of Sci. – 1950. – V. 1. – №2. – P. 134-165.
164. Commerzbank Foster + Partners Archinect (Электронный ресурс) <http://archinect.com/fosterandpartners/project/commerzbank> (Дата обращения 02.06.2016).

165. Ehsan Asadia, Manuel Gameiro da Silva, Carlos Henggeler Antunes, Luis Diasc. Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application // *Energy and Buildings*. 2012. № 44. p. 81–87.
166. Energy Performance of Buildings Directive, EPBD. (2010/31/EC).
167. ISO 15392:2008 «Sustainability in building construction – General principles». TC/SC: ISO/TC 59/SC 17 ICS: 91.040.01 Stage: 90.93 (2014-10-31).
168. Saint-Gobain Isover. «Les Miroirs» 18, avenue d’Alsace. 92100 Courbevoie. France. 2009 г. Publication director: Pascal Eveillard • Editor-in-Chief: Colombe Roger-Machart Design - Production and art direction: TMG 01 39 59 64 39 • Printing: TPI (France) Printed on Satimat GREEN recycled paper • May 2009.
169. ВПККИ – новый взгляд на энергосбережение (Электронный ресурс) URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1840 (Дата обращения 02.06.2016).

Об авторах

Алоян Роберт Мишаевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук. Ректор Ивановского государственного политехнического университета. Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации,



Почетный строитель России, Почетный профессор Ассоциации строительных вузов России. Автор более 200 научных работ, включая 8 монографий, 5 авторских свидетельств, 3 патента на изобретения. Пять учебных изданий получили гриф Ассоциации строительных вузов и рекомендованы Министерством образования и науки в качестве учебных пособий для строительных вузов РФ. Научную школу Р.М. Алояна составляют 26 кандидатов наук, он является научным консультантом 3 докторантов. Основные научные направления: формирование организационных механизмов развития жилищно-строительного комплекса; разработка новых строительных материалов и изделий на базе прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий; прогрессивные строительные машины, механизмы, агрегаты и процессы в строительстве.

Федосов Сергей Викторович,

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии архитектуры и строительных наук. Президент Ивановского государственного политехнического университета, заведующий кафедрой Техносферной безопасности. Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, Почетный строитель России, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники. Автор более 400 научных работ, включая 16 монографий, 5 авторских свидетельств, более 10 учебных пособий, 3 патента на изобретения. Подготовил 20 докторов наук и 62 кандидата наук. Научный руководитель НОЦ «Новые материалы и технологии для текстильной, легкой и строительной индустрии». Основатель научных школ ИВГПУ «Физико-химические и математические аспекты строительного материаловедения и технологий»; «Разработка новых строительных материалов на базе прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий с использованием техногенных отходов. Термическая обработка материалов в технологических процессах». Основные научные направления: тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии; разработка новых строительных материалов и изделий на базе прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий.



Опарина Людмила Анатольевна,

кандидат экономических наук, доцент кафедры организации производства и городского хозяйства Ивановского государственного политехнического университета. Защитила докторскую диссертацию на тему: «Теоретические основы процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий».



Автор более 70 научных работ, включая 3 монографии, 2 учебных пособия. Активный участник научной школы ИВГПУ «Развитие теории и практики организации строительного производства». Победитель конкурса РГНФ для молодых учёных 2011 г. (НИР «Организационно-экономическое моделирование процесса проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий»), гранта ректора ИВГПУ для молодых исследователей (НИР «Создание реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов»), основного конкурса РГНФ 2016 г. (НИР «Социально-экономические эффекты от снижения энергоёмкости российской экономики»). Основные научные направления: формирование организационных механизмов развития жилищно-строительного комплекса; организация процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий; экономика энергосбережения, энергоэффективные здания, функциональное моделирование, имитационное моделирование, математическая статистика.