

На правах рукописи



Опарина Людмила Анатольевна

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ
ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

Специальность:

05.02.22 – Организация производства (строительство)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Иваново – 2016

Работа выполнена в ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Научный консультант: **Алоян Роберт Мишаевич**
доктор технических наук, профессор,
чл.-корр. РААСН

Официальные оппоненты: **Шрейбер Андрей Константинович**
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
заместитель директора Центра развития
регионов Института дополнительного
профессионального образования ГАСИС НИУ ВШЭ

Савин Владимир Константинович
доктор технических наук, профессор,
чл.-корр. РААСН, заведующий лабораторией
«Теплофизика малоинерционных ограждений
и строительной климатологии»
ФГБУ «НИИСФ РААСН»

Куцыгина Ольга Александровна
доктор технических наук, доцент,
ФГОУВО «Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет»,
профессор кафедры «Экономика и основы
предпринимательства»

Ведущая организация: Акционерное общество «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий», г. Москва

Защита состоится 1 июля 2016 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.01 при ФГБОУВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, д.20, ауд. Г-202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановского государственного политехнического университета, г. Иваново, ул. 8 Марта, д. 20, <http://ivgpu.com>

Автореферат разослан _____ 2016 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент



Н.В. Заянчукская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Энергоэффективность и энергосбережение являются приоритетным направлением развития науки, технологии и техники в Российской Федерации. Проводимая во всём мире политика энергосбережения направлена на все отрасли и научные исследования во всех сферах. Крупным потребителем энергоресурсов является строительная отрасль и ЖКХ. Согласно Энергетической стратегии России на период до 2030 года объём нереализованного потенциала организационного и технологического энергосбережения составляет 40% (в т.ч. удельный вес жилых зданий 18-19%, строительство 9-10%). Общий технологический потенциал энергосбережения 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.

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 строи-

тельное 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.

Степень разработанности темы исследования. Методологические основы организации строительного производства заложены такими отечественными учёными как Шрейбер В.К., Николаев С.В., Дикман Л.Г., Цай Т.Н., Грабовый П.Г., Большаков В.А., Белоликов В.Т., Бондарь А.М. Системотехнический подход к организации строительного производства обоснован в трудах Гусакова А.А., Гусаковой Е.А., Волкова А.А. и Лебедева В.М. Вопросы организации производства на основе процессных подходов и функционального моделирования процессов рассмотрены в трудах российских (Вилков Л., Таратухин В., Нанасов П.С.), и зарубежных учёных (М. Беккер, М. Кугелер, М. Роземанн). Системный подход к объектам недвижимости как сложным динамическим системам со свойственными им закономерностям развития на всех этапах жизненного цикла рассмотрен в исследованиях Мищенко В.Я., Савина В.К., Ильичёва В.А. Вопросы информационного моделирования зданий, технологий и бизнес-процессов в строительстве рассмотрены в трудах Талапова В.В., Теличенко В.И., Лапидуса А.А., Маклакова С.В. Вопросам нормирования энергоэффективности зданий, разработке нормативно-технической литературы посвящены труды Матросова Ю.А., Бутовского И.М., Шмарова И.А., Ливчак В.И., Башмакова И.А. и др. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий как энергетических систем заложены в трудах Табунщикова Ю.А., Бродач М.М., Шилкина Н.В. Проведённый анализ научно-исследовательских работ, посвящённых

энергоэффективности зданий, показал, что все они посвящены различным аспектам обеспечения энергоэффективности. При этом единая методологическая основа обеспечения энергоэффективности здания на всех стадиях его создания и эксплуатации с взаимной увязкой всех системообразующих элементов организационных процессов отсутствует. Очевидно, что энергоэффективность здания является не только его статической, конечной характеристикой, но и динамической, формирующейся на протяжении всего жизненного цикла. Поэтому наряду с концентрацией на достижении зданием определённого показателя энергоэффективности на стадии проектирования необходимо уделять внимание эффективному и инновативному выполнению строительных и эксплуатационных операций по его достижению. На сегодняшний день в российской науке методология процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий разработана недостаточно и имеет фрагментарный характер. Таким образом, проблемы становления, эффективного функционирования и совершенствования процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий являются крайне актуальными, что определило тему настоящего диссертационного исследования.

Целью диссертационного исследования является обоснование методологических и системотехнических основ процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий. Достижение поставленной цели способствует решению научной проблемы экономии энергоресурсов и повышения энергетической эффективности на всех стадиях жизненного цикла зданий, что имеет важное хозяйственное значение для всей строительной отрасли страны, так как результаты исследования могут быть использованы для организации жизненного цикла зданий различного типа.

Задачи диссертационного исследования:

- исследование науки об организации строительного производства на современном этапе и формирование методологических основ процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий на основе системного и функционального подходов, принципов системотехники;
- уточнение понятия «энергоэффективное здание», формирование нового понятия «агрегат энергопотребления»;
- выявление организационных аспектов процессов проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий;
- исследование, анализ и выявление проблем нормативно-методической базы процессов организации проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий;
- функциональное моделирование процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий в IDEF0 методологии;
- анализ и классификация существующих показателей энергоэффективности зданий;
- разработка формулы интегрального показателя энергетической эффективности зданий, учитывающего энергопотребление здания на всём протяжении жизненного цикла;

- выявление факторов энергопотребления зданий как энергетических систем, и их формализация посредством имитационной модели энергоёмкости жизненного цикла энергоэффективных зданий;
- создание структуры реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов.

Научная новизна исследования заключается в обосновании методологических и системотехнических основ процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий, которые включают:

1. Формирование системотехнических принципов энергоэффективности зданий, основанных на системном подходе к организации процессов жизненного цикла и обеспечивающих преэминентность показателей энергоэффективности на разных стадиях жизненного цикла.
2. Уточнение понятия «энергоэффективное здание», отличающееся более полным содержанием, учитывающим безопасность, надёжность и комфортность здания, все виды потребляемых зданием энергоресурсов и его жизненный цикл.
3. Выявление проблем в нормативно-правовой базе проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий на основе построения матрицы, позволяющей определить направления развития нормативно-методического обеспечения процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий.
4. Создание функциональных моделей процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий в методологии IDEF0, позволяющих управлять процессами организации их жизненного цикла в границах существующего нормативно-правового поля.
5. Формирование классификации показателей энергетической эффективности зданий, отличающейся учётом типологии зданий, стадий жизненного цикла, методов и видов измерения показателей энергоэффективности.
6. Разработку формулы интегрального показателя энергетической эффективности зданий, позволяющей оценивать энергопотребление зданий и проводить сравнительный анализ различных вариантов энергоёмкости их жизненного цикла.
7. Выявление факторов энергопотребления зданий по общему признаку функционирования на стадиях их жизненного цикла и измеримости в едином энергетическом эквиваленте, позволяющих рассчитывать энергоёмкость жизненного цикла на основе имитационного моделирования и учитывать многовариантность и стохастичность строительного производства.
8. Разработку структуры реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов, содержащей перечень основных строительных материалов с параметрами энергоёмкости на стадиях строительного производства, эксплуатации и утилизации, позволя-

ющей внедрять в проекты строительства и реконструкции зданий строительные материалы с наименьшей энергоёмкостью.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в построении методологических основ процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий. Базисным центральным системообразующим элементом теории являются процессы организации жизненного цикла. Автором диссертационного исследования обоснованы теоретические основы методологии процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий с учётом многовариантности, стохастического характера строительного производства. Сформулирована концепция функционального развития жизненного цикла энергоэффективных зданий, которая представляет жизненный цикл как смену стадий проектирования, строительства и эксплуатации с последующей ликвидацией или реконструкцией и переходом на новый качественный уровень.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные методологические основы, а также функциональная и имитационная модели позволят обеспечить собственников зданий информацией для принятия организационно-технических проектных, строительных и эксплуатационных решений, решений о реконструкции или демонтаже зданий, направленных на снижение энергетических затрат и организацию жизненного цикла зданий в целом. Имитационная модель, построенная на основе выявленных агрегатов энергопотребления может быть использована для разработки государственных программ мотивации собственников зданий на энергосбережение в натуральных показателях энергоёмкости (т.у.т.), программ поддержки наиболее экологических и энергоэффективных решений, способствующих устойчивому развитию среды жизнедеятельности человека. Результаты диссертационного исследования позволяют совершенствовать нормативно-методическую базу строительного производства в соответствии с международными стандартами энергоэффективного строительства (ИСО 14001, ИСО 50001, ГОСТ Р 51750-2001 и др.). Разработанный комплекс функциональной и имитационной моделей является эффективным инструментом управления стратегическим и ситуационным развитием жизненного цикла энергоэффективных зданий. Предложенная структура реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов является основой для её создания и внедрения в проектных организациях, на предприятиях строительной отрасли и ЖКХ для организации энергосберегающего строительства и реконструкции, организациях инвестиционно-строительного профиля (службах заказчика) при разработке и внедрении проектов строительства и реконструкции энергоэффективных зданий, при разработке ЕРС, ЕРСМ-контрактов, а также в научных и организациях строительного профиля при разработке проектов энергоэффективных зданий.

Методология и методы исследования включают системотехнику строительства, системный анализ и проектирование, функциональное и имитационное моделирование, информационные технологии, методы математической статистики, положения теории организационно-технологической

надежности строительства, организации строительного производства, используются труды, исследования, публикации российских и зарубежных авторов в области совершенствования объектов и процессов организации строительного производства.

Положения, выносимые на защиту:

1. Системотехнические принципы энергоэффективности зданий, основанные на системном подходе к организации процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий.
2. Уточнённое понятие «энергоэффективное здание» и сформированное понятие «агрегат энергопотребления».
3. Выявленные на основе матрицы проблемы и направления развития нормативно-методического обеспечения процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий.
4. Функциональные модели процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий в методологии IDEF0.
5. Классификация показателей энергетической эффективности зданий.
6. Формула интегрального показателя энергетической эффективности зданий.
7. Факторы энергопотребления зданий в трактовке измеримости в едином энергетическом эквиваленте, позволяющие рассчитывать энергоёмкость жизненного цикла на основе имитационного моделирования.
8. Структура реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов обеспечена применением обоснованных методов системного подхода, методов проектирования функциональных систем, методов математического моделирования, имитационного моделирования и системотехники строительства, сопоставления результатов функционального и имитационного моделирования с практическими результатами. Основные результаты, выводы и предложения диссертационного исследования докладывались на международных, российских и региональных научных конференциях и семинарах, в том числе: всероссийских конференциях «Энергосбережение в регионах России – 2011» (Москва, 2011 г.), XXVII и XXVIII Конференциях «Москва: проблемы и пути повышения энергоэффективности» (Москва, 2011-2012 гг.), XVII - XXI Международных научно-технических конференциях «Информационная среда вуза» – Иваново, 2010-2014 гг.); XIV Международной конференции «Программное обеспечение для систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, тепло-холодоснабжения, водоснабжения и водоотведения» (Москва, 2012 г.), 13-16 всероссийских симпозиумах «Стратегическое планирование и развитие предприятий» ЦЭМИ РАН (Москва, 2012-2015 гг.). Апробация результатов исследования осуществлялась в строительных и исследовательских организациях г. Иваново, а также в ИВГПУ. Методологические положения были использо-

ваны в практической деятельности НК «Ивановский фонд энергосбережения» при реализации мероприятий региональной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Ивановской области на 2010 - 2020 годы». Данные по энергоёмкости жизненного цикла основных строительных материалов применяются в практической деятельности ОАО «РСУ-4» г. Иваново при выборе энергосберегающих материалов и технологий при возведении зданий. Предложенная структура базы данных энергоёмкости строительных материалов применялась при разработке методов оценки нормирования энергоресурсов в Инжиниринговом центре текстильной и лёгкой промышленности г. Иваново. Разработанная методология процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий внесла весомый вклад в развитие научной школы Ивановского государственного политехнического университета «Развитие теории и практики организации строительного производства». Методологические результаты были использованы в НИР, выполненной в рамках грантов РГНФ (проекты № 11-32-00360a2 и № 16-02-00147), при разработке «Программы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности ФГБОУВПО «ИГАСУ» на 2010 – 2014 годы», при написании НИР в рамках гранта ректора ИВГПУ в 2014 г, в работе над фундаментальной госбюджетной НИР Минобрнауки РФ «Разработка и совершенствование научных, методологических и системотехнических основ организации процессов проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий». Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс бакалавров и магистров направления 270800 «Строительство».

Публикации. По теме диссертации опубликовано две монографии, учебное пособие и 42 научные работы, в том числе 20 работ в ведущих российских периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов докторских исследований.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы (270 наименований), приложений. Диссертация содержит 300 страниц основного текста, 52 рисунка, 30 таблиц, 25 формул, 4 приложения.

Содержание диссертации соответствует п. 1 (Разработка научных, методологических и системотехнических основ проектирования организационных структур предприятий и организации производственных процессов. Стратегия развития и планирования организационных структур и производственных процессов), **п. 4** (Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов), **п. 7** (Анализ и синтез организационно-технических решений. Стандартизация, унификация и типизация производственных процессов и их элементов. Организация ресурсосберегающих и экологических производственных систем) **Паспорта специальности 05.02.22 – Организация производства (строительство).**

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, степень разработанности темы исследования, цель и задачи диссертационного исследования, научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, теоретическая работа, практическая значимость диссертационного исследования, степень достоверности и апробация результатов исследования.

В первой главе «Формирование методологических основ организации строительного производства энергоэффективных зданий» рассмотрена эволюция взглядов на проблему организации строительного производства энергоэффективных зданий. Уточнён понятийный аппарат: определено понятие «энергоэффективное здание». Обоснован системный подход к исследованию процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий, сформулированы системотехнические принципы энергоэффективности.

Научные основы энергосбережения в строительстве стали актуальными и получили своё развитие с 70-х годов XX века вследствие глобального энергетического кризиса. С этого момента в развитых странах были разработаны нормы по энергосбережению в строительстве, согласно которых к 2020 году все строящиеся здания в ЕС должны будут соответствовать показателям зданий с минимальным или нулевым потреблением энергии, и в большей степени эта энергия должна будет покрываться из возобновляемых источников. Анализ зарубежного опыта реализации программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности строительных объектов (Дания, Швеция, Финляндия, Германия и др. страны ЕС) показал, что данная проблема решается на основе системного и процессного подходов, а также концепции анализа жизненного цикла (life cycle analysis, LCA), подразумевающего оценку экологического воздействия материалов и конструкций и здания в целом как единой системы на каждом этапе «жизни», начиная с производства, заканчивая возможностью утилизации. Международные документы, рассматривающие в качестве одного из приоритетных направлений повышение энергетической эффективности в строительстве послужили основой для создания нормативно-правовой базы в России, началом которой являются «Энергетическая стратегия России до 2020 года», принятая в 1992 году и федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ. Таким образом, с конца 90-х годов развитие строительной отрасли страны неразрывно связано с переводом на энергосберегающий путь развития. В этот период появилась идеология нормирования зданий, основанная на минимизации энергетических затрат. Развитие данной идеологии, появление новых энергосберегающих методов организации строительного производства, появление в нашей стране инновационных строительных материалов и технологий, а также методологический опыт развитых стран в направлении устойчивого развития среды жизнедеятельности человека, обусловили дальнейшую эволюцию науки об организации строительного производства.

Однако, несмотря на копируемый опыт развитых зарубежных стран, несмотря на активную политику, направленную на энергосбережение и повышение энергетической эффективности, в том числе в строительной отрасли, в России в настоящее время нерешёнными остаются многие проблемы:

1. Принятая в РФ 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. 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.

4. 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, ежегодно на промышленных предприятиях России образуется 7 млрд. т. отходов.

По мнению автора, одной из основных причин появления данных проблем является недостаточно проработанная методология процессов организации жизненного цикла зданий как совокупности связанных причинно-следственными отношениями этапов, стадий, процессов, образующих законченный виток развития здания как системного объекта от возникновения проектного замысла до ликвидации.

Анализируя современные методологические основы, можно выделить их общий базис – это системный подход, согласно которому здание является не просто объектом строительства, а системным объектом, имеющим внутреннюю упорядоченность подсистем более низкого уровня и взаимодействующую с внешней средой, имеющим свой жизненный цикл. По мнению автора, современный системный подход к организации жизненного цикла зданий необходимо дополнить процессным подходом, так как центральным понятием системного подхода является понятие процесса. Процессный подход широко используется в западных странах при организации жизненного цикла любых объектов, в том числе строительных. Исходя из вышесказанного, автором разработана схема жизненного цикла здания как системы (рис 1).

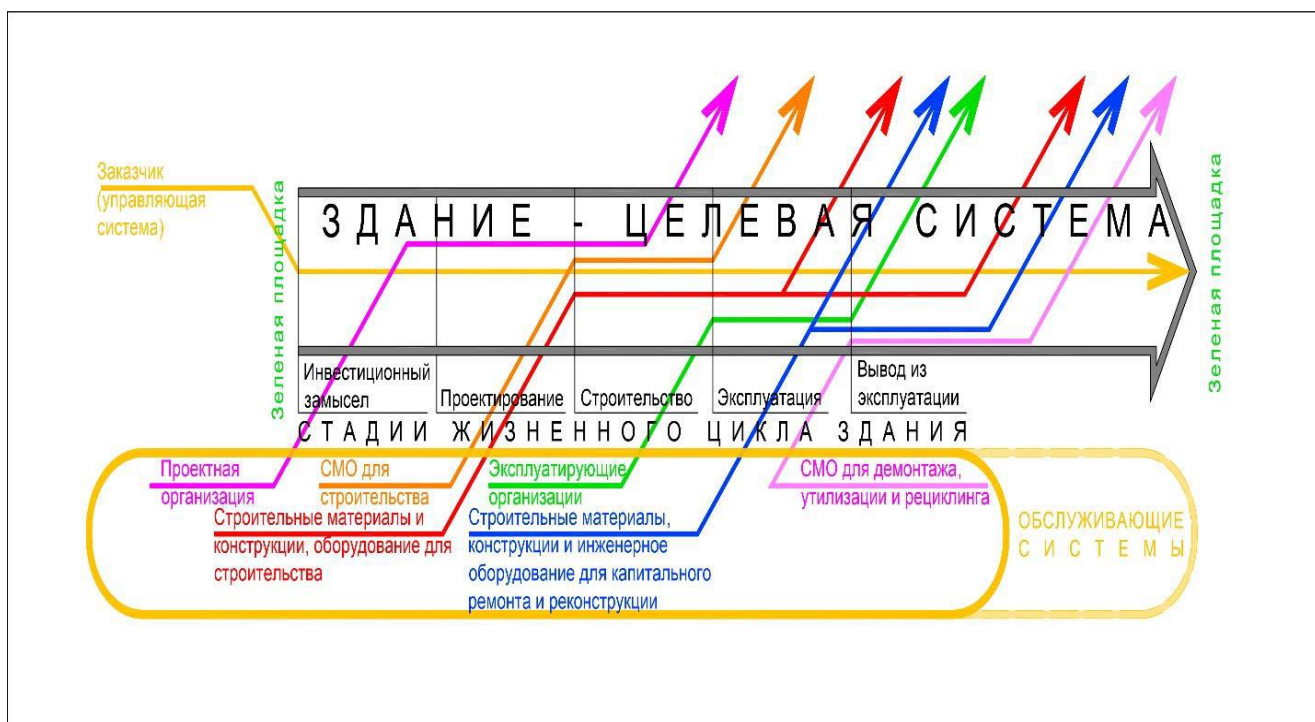


Рисунок 1. Схема жизненного цикла здания как системы

На рисунке жизненный цикл здания представлен с позиции классического изображения жизненного цикла систем, принятом в системной инженерии ISO/IEC 15288:2008. 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 взаимодействуют с внешней средой, через них проходят материальные, людские, финансовые, информационные и другие потоки, являющиеся подсистемами. По мнению автора, предлагаемая схема может служить структурной основой процессов и действий, относящихся к жизненному циклу любого здания как системы.

Закономерным звеном эволюции науки является эволюция понятийного аппарата: в строительной отрасли сформировалось и прочно установилось новое понятие – «энергоэффективное здание», в процессе формирования которого произошло расширение его содержания от требований низкой теплопроводности ограждающих конструкций к минимизации первичной энергии на обеспечение необходимого микроклимата внутри здания. Однако существующие определения не учитывают энергопотребление на протяжении всего жизненного цикла здания. Рассматривая понятие «энергоэффективное здание» как целостную совокупность суждений, автором 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».** Таким образом, предлагаемое авторское определение отличается от существующих более полным содержанием, учитываю-

щим безопасность, надёжность и комфортность здания, все виды потребляемых зданием энергоресурсов и его жизненный цикл.

Процессы организации жизненного цикла энергоэффективного здания являются системотехническими, так как жизненный цикл должен быть организован таким образом, чтобы обеспечивалась преемственность показателей энергоэффективности при смене стадий жизненного цикла. Для этого необходимо руководствоваться системотехническими принципами энергоэффективности, которые сформулированы автором и представлены в таблице 1.

Таблица 1

Системотехнические принципы энергоэффективности зданий

Наименование	Содержание
Функционально-системный	Системообразующим фактором жизненного цикла энергоэффективных зданий как строительных систем является конкретный результат (целевая функция) функционирования системы – достижение зданиями необходимого уровня энергоэффективности
Вероятностно-статистический	Процессы строительства зданий с запроектированным уровнем энергоэффективности связаны с мониторингом и контролем показателей, имеющих вероятностный характер в силу воздействия на них случайных факторов, поэтому организация процессов должна характеризоваться распределениями, отражающими вероятности достижения запроектированных величин
Имитационно-моделирующий	Здания как энергетические системы характеризуются показателем эффективности, в качестве которого принимают функционал от процесса функционирования, следовательно, для создания и последующей эксплуатации энергоэффективных зданий необходимо применения методов математического, имитационного, функционального моделирования
Интерактивно-графический	Методология организации и управления современным строительным производством в условиях повышения требований к энергоэффективности зданий требует применения технологий моделирования, как самого здания, так и процесса организации и управления его жизненного цикла
Инженерно-экономический	В процессе создания энергоэффективных зданий необходимо производить оценку энергоэффективности не только с технической, но и с организационной и экономической точек зрения

Во второй главе «Исследование и анализ организационных процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий» автором разработана концептуальная схема энергоэффективного здания построена матрица нормативно-правовой базы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий. Выявлены организационные аспекты проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий. На рисунке 2 представлена авторская концептуальная схема энергоэффективного здания, которая может быть использована при проектировании энергоэффективных зданий и дополнена инновационными энергосберегающими решениями.

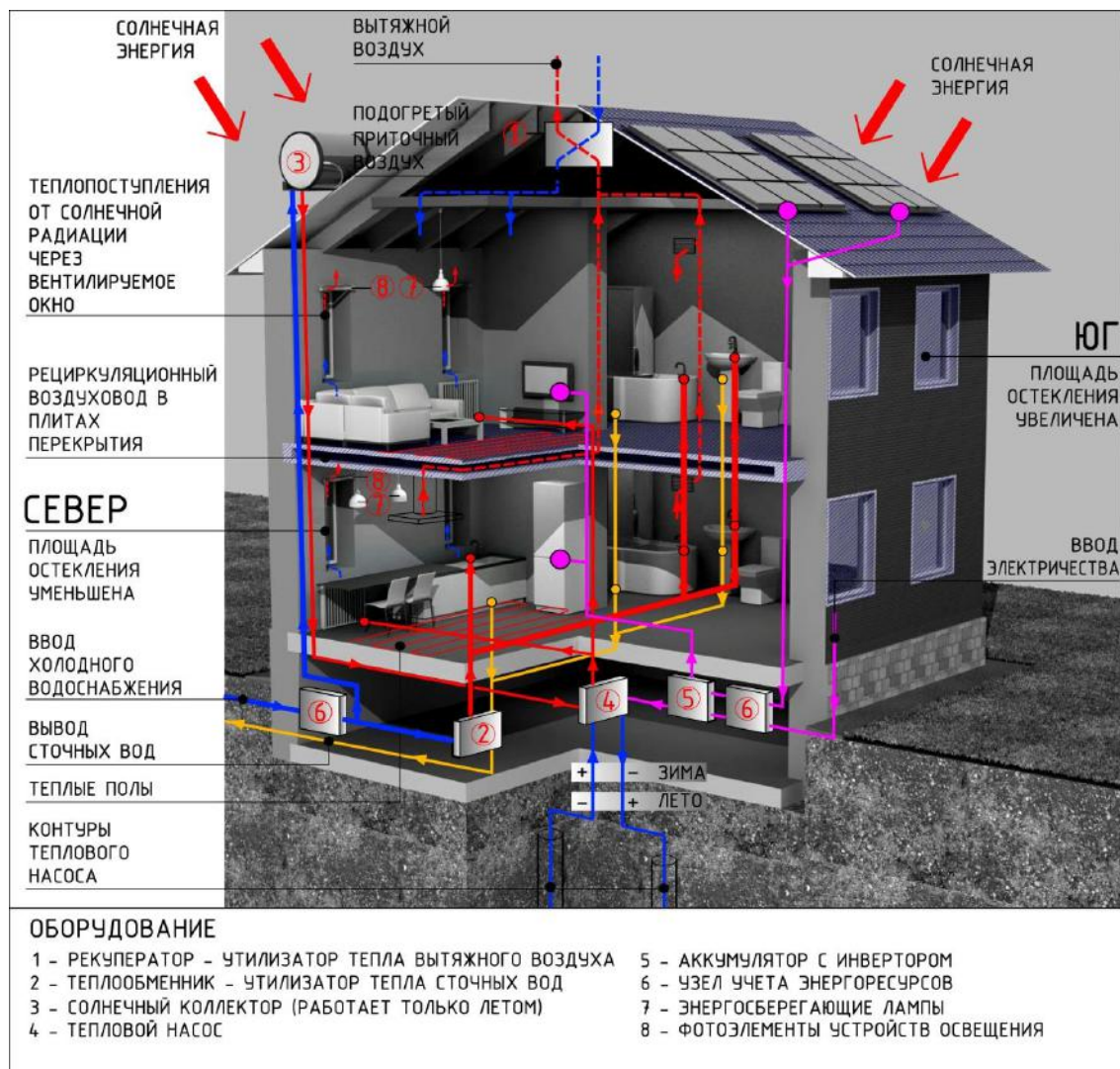


Рисунок 2. Концептуальная схема энергоэффективного здания

При организации процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий необходимо иметь в виду, что 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. Для соблюдения преемственности показателей энергоэффективности их необходимо контролировать, таким образом, становится необходимым выделить центр ответственности. Согласно закона № 261-ФЗ главным ответственным за энергетическую эффективность зданий на протяжении всего жизненного цикла является застройщик. На рисунке 3 представлена концептуальная схема процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий и выделен заказчик-застройщик, который управляет процессами организации жизненного цикла зданий и контролирует показатели энергоэффективности на протяжении жизненного цикла.

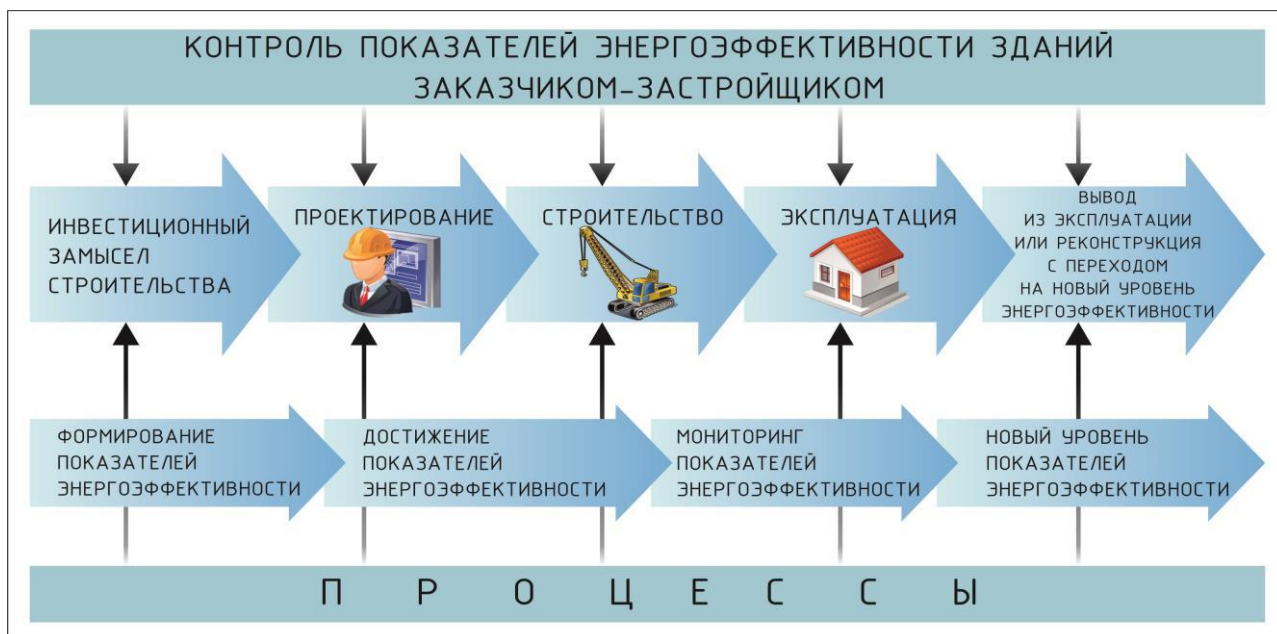


Рисунок 3. Концептуальная схема процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий

Основой методологии процессов организации жизненного цикла зданий является нормативно-правовая база. С целью системного представления нормативно-правовой базы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий автором предложена матрица (табл. 2), которая наглядно демонстрирует «пробелы» в законодательстве, а именно:

- отсутствие учёта специфики проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных общественных зданий неадминистративного назначения и производственных зданий;
- отсутствие актуальных СНиП по организации строительного производства энергоэффективных зданий. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004, свод правил СП 48.13330.2011 «Организация строительства», не содержит разделов по энергосбережению и энергетической эффективности.

Основным техническим нормативным документом, регламентирующим требования к энергоэффективности жилых и общественных зданий, является СНиП 23-02-2003, актуализированный как СП 50.13330.2012. 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: в СНиП 23-02-2003 указаны 5 классов энергетической эффективности зданий, а в СП 50.13330.2012 установлены 10 классов энергосбережения для жилых и общественных зданий. 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.

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

Стадия		Проектирование		Строительство	Эксплуатация	
Нормы						
Федеральные нормативные документы		<p>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»</p> <p>Федеральный закон № 384-ФЗ от 31.12.09. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»</p> <p>ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей»</p> <p>ГОСТ Р 51387-99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение»</p> <p>ГОСТ Р 51388-99 «Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения»</p> <p>ГОСТ Р 51379-99 «Энергетический паспорт промышленного потребителя ТЭР»</p> <p>ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости»</p>				
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		

Таким образом, выявлена необходимость разработки нормативных документов, которые будут являться инструментом достижения энергоэффективности на всех стадиях жизненного цикла.

В третьей главе «Функциональное моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий» исследовано развитие технологий моделирования жизненного цикла зданий, обосновано применение IDEF0 методологии для функционального моделирования жизненного цикла энергоэффективных зданий. Созданы функциональные модели жизненного цикла энергоэффективных зданий в методологии IDEF0.

Реализация системотехнических принципов энергоэффективности, системного и процессного подходов должна обеспечиваться на протяжении всего жизненного цикла зданий, что невозможно без внедрения информационных технологий моделирования, направленных на эффективное функционирование и совершенствование производственных процессов.

Одним из наиболее удобных языков моделирования процессов является IDEF (Integrated Computer Aided Manufacturing Definition), а именно IDEF0, в котором система представляется как совокупность взаимодействующих работ или функций. Функциональная модель является основой для описания процессов, процедур и инструкций, регламентов для участников жизненного цикла здания. Применение функциональной модели обеспечивает управление и координацию процессов организации жизненного цикла зданий, что по мнению автора является необходимым, так как около 30% затрат при строительстве уходит на устранение ошибок и их последствий, связанных с отсутствием координации исполнителей, общей неэффективностью процессов. Ориентация проектных и строительных организаций на эффективное выполнение отдельных функций привела к локальной оптимизации и усовершенствованию локальных областей, вследствие чего отошёл на задний план общий контекст производственных процессов.

Выявление неэффективных и избыточных процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий выявлено при помощи построенных автором в программном продукте BWin функциональных моделей процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий. Первая модель «AS-IS» («Как есть») представляет собой организационную систему взаимодействия участников процессов проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий в рамках существующей нормативно-методической документации. Представленная модель отражает существующую в настоящее время политику в сфере российского законодательства об энергоэффективных зданиях. На рисунке 4 представлена контекстная диаграмма A-0 модели «AS-IS». Дальнейшее развитие модели основано на принципе декомпозиции функционального блока. Автор считает целесообразным начать декомпозицию с трёх основных процессов: проектирование, строительство и эксплуатация. Первый уровень декомпозиции функциональной модели «AS-IS» представлен на рисунке 5.

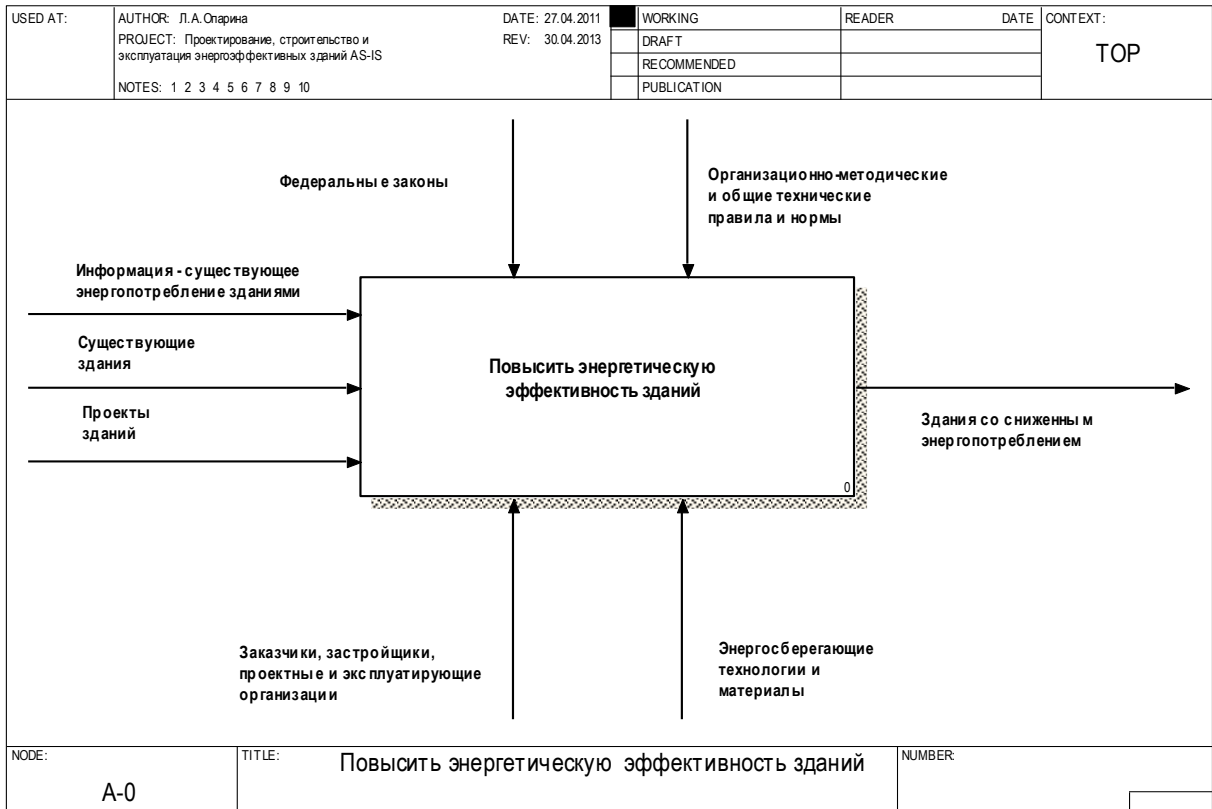


Рисунок 4. Контекстная диаграмма A-0 модели «AS-IS»

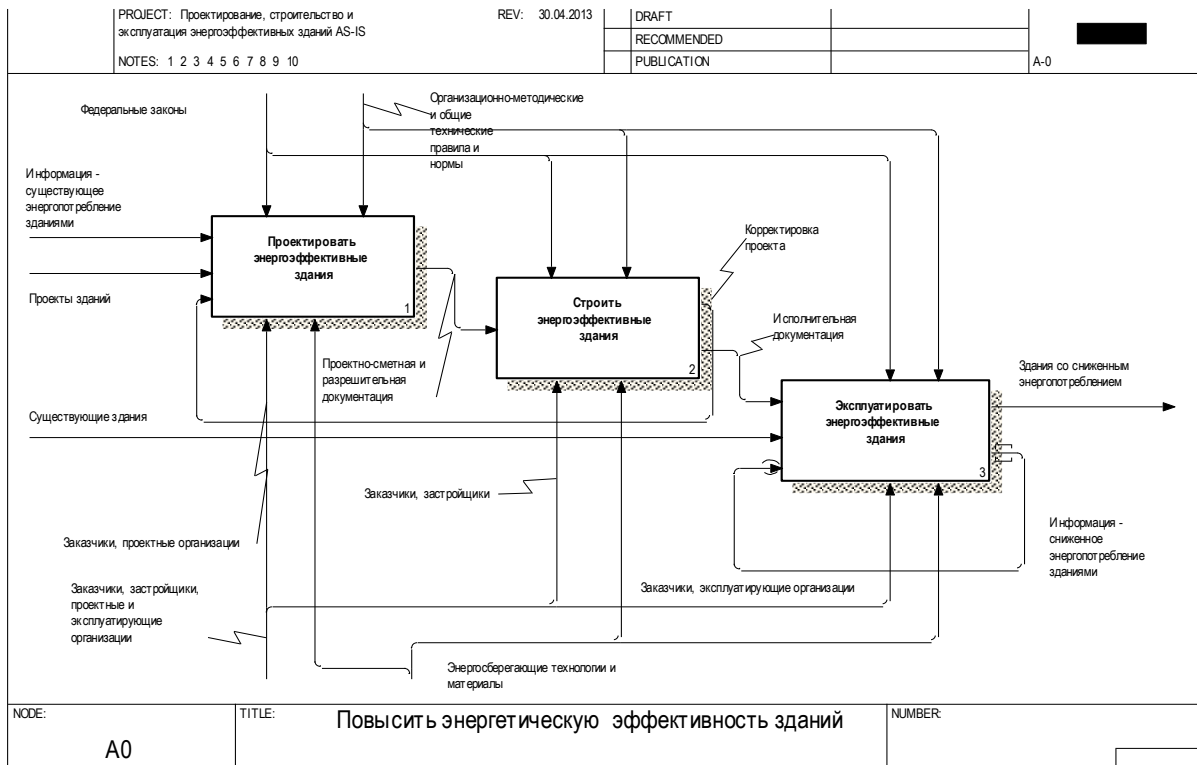


Рисунок 5. Декомпозиция первого уровня модели «AS-IS» (блоки A1, A2, A3)

В результате построения модели «AS-IS» автором выявлены недостатки существующей системы процессов организации процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий, а именно:

1. Функцию управления энергетической эффективностью зданий выполняют наряду с федеральными законами организационно-методические и общие технические правила, и нормы, а заказчику отведена второстепенная роль механизма, реализующего эти функции. Данный вывод следует из закона № 261-ФЗ. Заказчик-застройщик обеспечивает выполнение требований закона, то есть он является механизмом выполнения, а закон является управляющим воздействием. Автор считает, что данный подход не отвечает требованиям современной рыночной экономики и законам организации производства, организационно-методические и общие технические правила, и нормы должны являться механизмами для реализации процесса, а управленческую функцию должен выполнять заказчик.

2. На всех стадиях жизненного цикла отсутствуют мотивирующие механизмы достижения уровня энергоэффективности зданий, как для заказчика, так и для проектных, строительных и эксплуатирующих организаций. По мнению автора, государство должно не управлять процессом, а мотивировать заказчика на энергосбережение, а тот стимулировать проектные и строительные организации. Отсутствие мотивирующих механизмов может привести к тому, что ни застройщики, ни инвесторы, ни проектировщики и тем более строители не смогут обеспечить системного подхода к энергоэффективности зданий, т.к. не имеют для этого инструментов. Таким образом, органы Государственного строительного надзора и местные администрации в настоящее время фактически не имеют механизмов управления энергоэффективностью, следовательно, данные функции должны выполняться заказчиком.

На основе выявленных недостатков построена вторая функциональная модель «ТО-ВЕ» («Как должно быть»), направленная на достижение главной цели – организовать процессы жизненного цикла энергоэффективных зданий. При построении модели «ТО-ВЕ» учтены следующие необходимые условия:

1. На функциональные блоки модели наряду с федеральными законами основное управляющее воздействие должен осуществлять заказчик, так как он является собственником зданий и заинтересован в сбережении энергоресурсов.

2. Моделируемые процессы не должны испытывать несколько управляющих воздействий, так как такой подход приводит к затруднению управления и необходимости разграничения управляющих функций. Эффективное управление должно осуществляться одним органом.

3. Наряду с мотивирующими механизмами в модели необходимы контролирующие, посредством которых государство контролирует соблюдение закона, например, экспертиза проекта, заключение о соответствии, утверждение энергопаспорта. Механизмами контроля могут стать органы госэксперти-

зы на стадии проектирования, приёмочная комиссия на стадии строительства и контролируемые органы на стадии эксплуатации.

4. При организации жизненного цикла энергоэффективных зданий необходимо с позиции системного подхода моделировать основные процессы: проектирование, строительство, эксплуатацию и вывод из эксплуатации, который может заканчиваться как демонтаж с утилизацией и рециклингом строительных материалов либо реконструкцией здания с улучшением основных характеристик.

5. Процесс эксплуатации энергоэффективных зданий должен быть организован таким образом, чтобы принятию решений о проведении текущего или капитального ремонтов предшествовал глубокий анализ данных и разработка соответствующих проектных решений, также обязательным считаем проведение пуско-наладочных работ и проведение ремонтов с учётом энергосберегающих технологий и материалов. При этом целевым показателем является снижение энергопотребления зданием, что обеспечит системный подход, так как цели подсистем должны совпадать с целью глобальной системы – снижение энергопотребления зданиями.

Таким образом, учёт указанных условий и выявленных недостатков позволили создать модель «ТО-ВЕ» – модель организации процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий в границах существующего нормативно-правового поля. Контекстная диаграмма модели «ТО-ВЕ» представлена на рисунке 6. Декомпозиция первого уровня модели представлена на рисунке 7. Декомпозиция второго уровня представлена на рисунках 8-10.

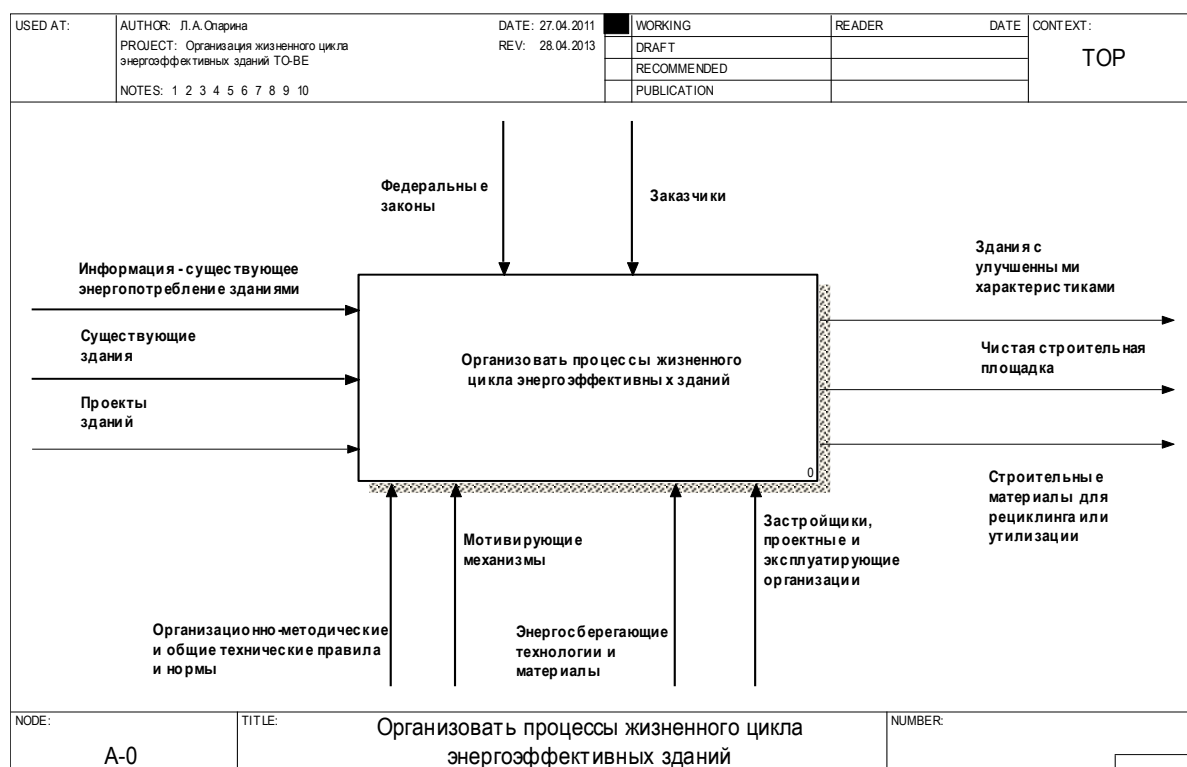


Рисунок 6. Контекстная диаграмма А-0 модели «ТО-ВЕ»

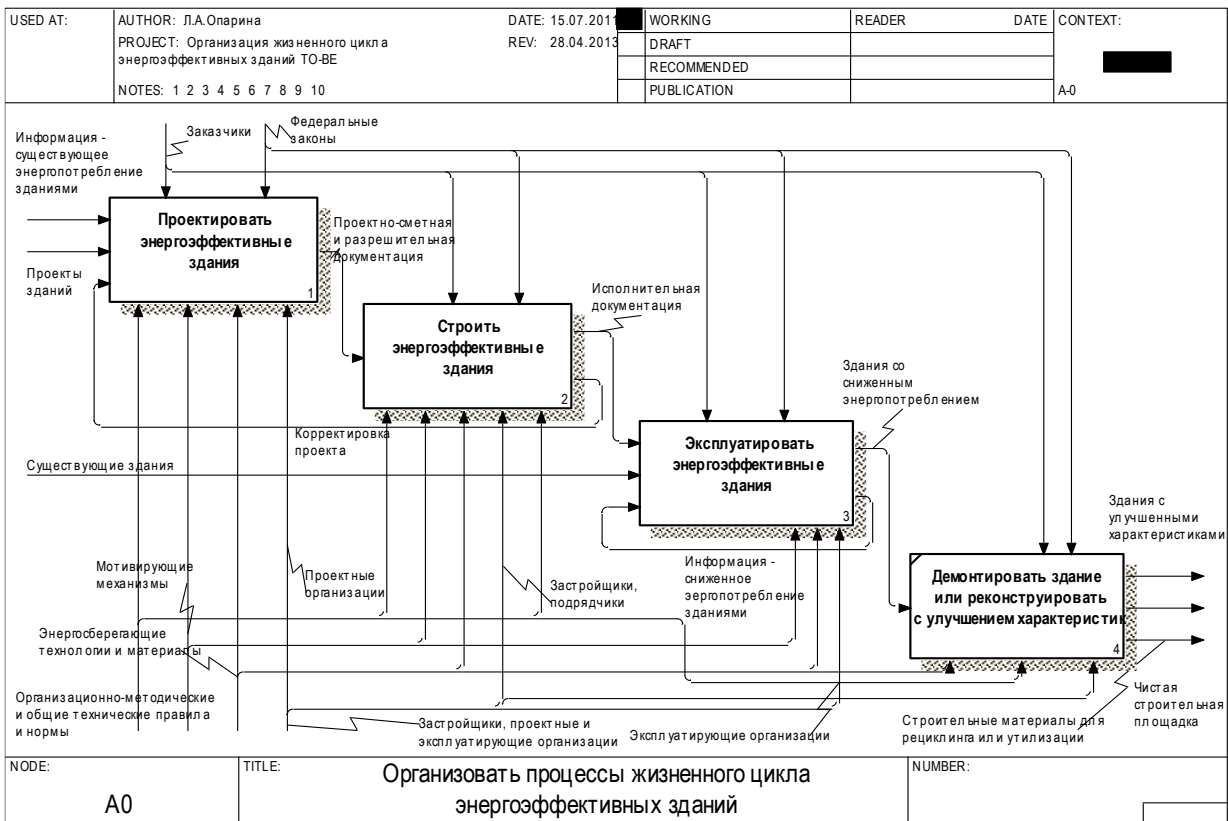


Рисунок 7. Декомпозиция первого уровня модели «ТО-ВЕ» (блоки А1, А2, А3)

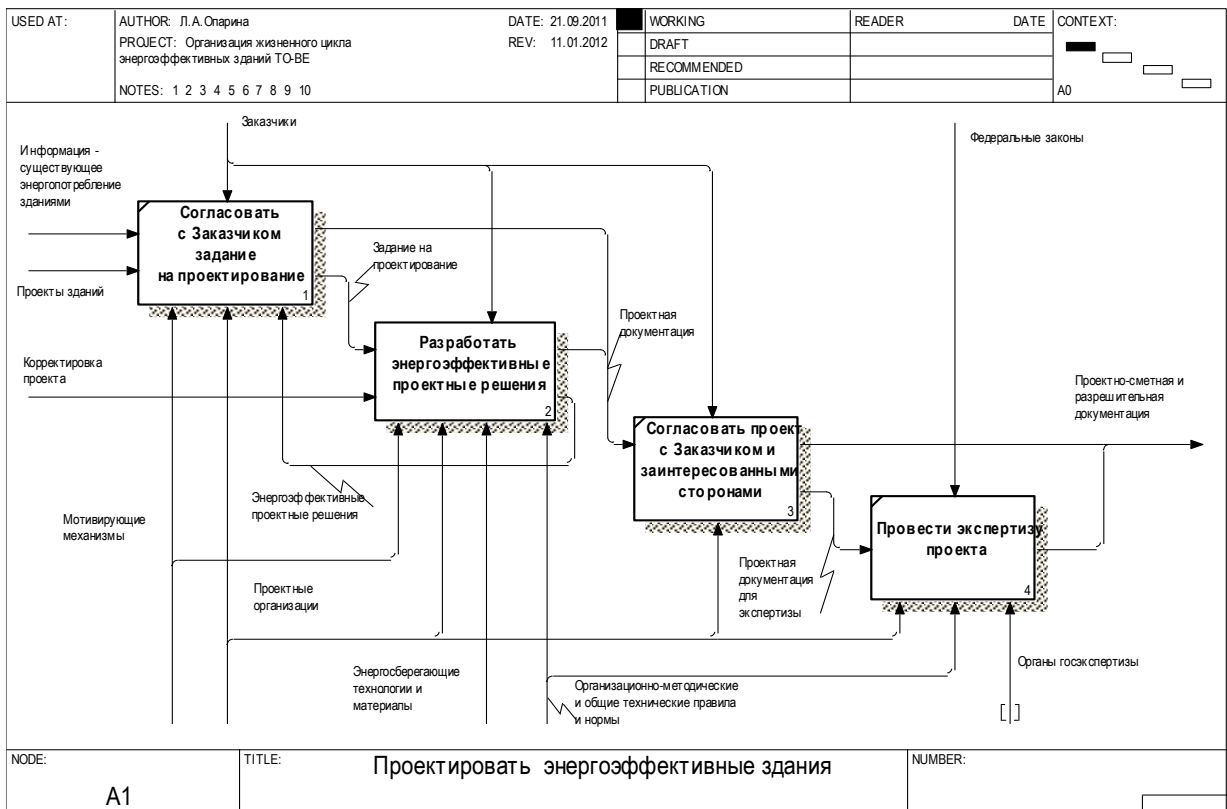
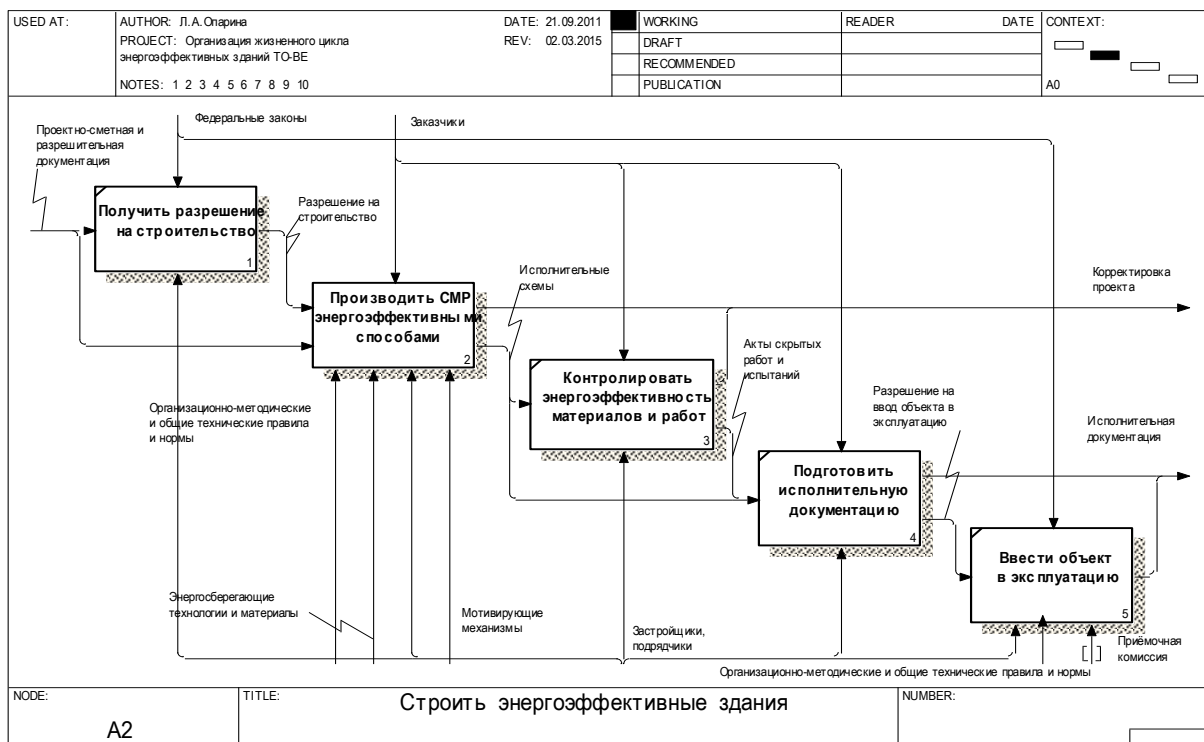
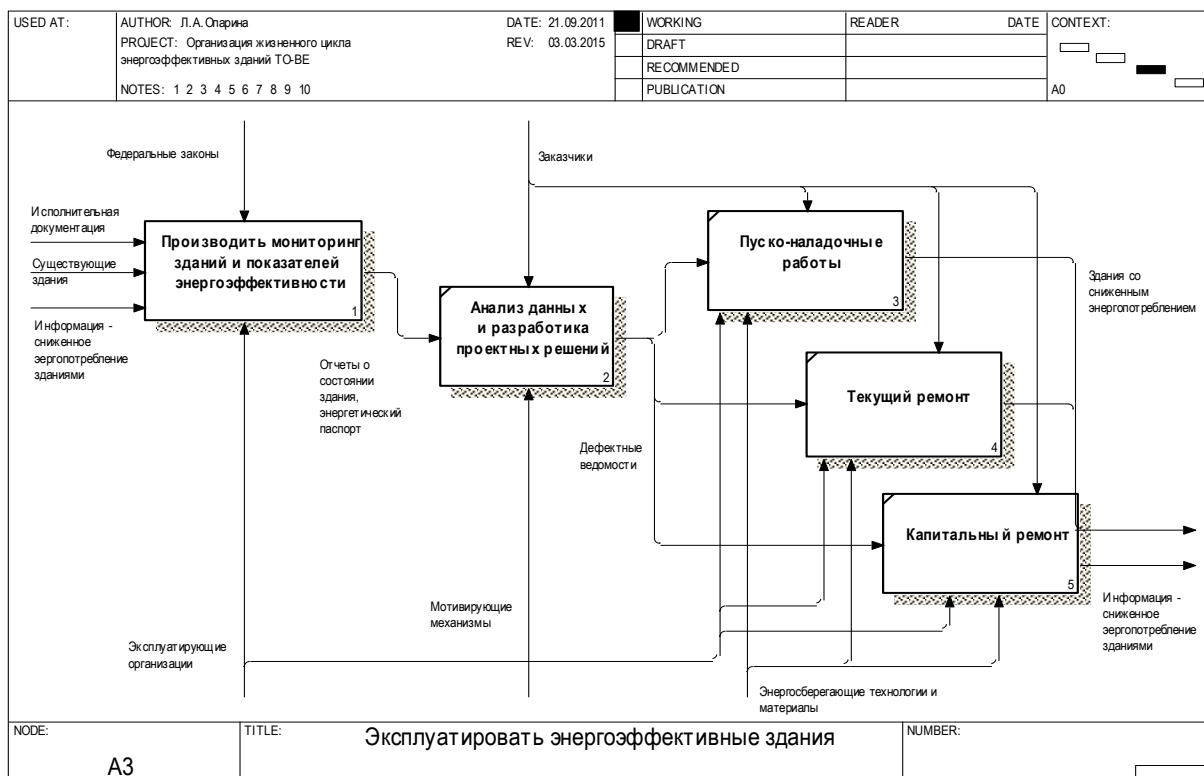


Рисунок 8. Декомпозиция второго уровня модели «ТО-ВЕ» (блоки А11, А12, А13, А14)



**Рисунок 9. Декомпозиция второго уровня модели «ТО-ВЕ»
(блоки A21, A22, A23, A24, A25)**



**Рисунок 10. Декомпозиция второго уровня модели «ТО-ВЕ»
(блоки A31, A32, A33, A34, A35)**

Новизна созданных функциональных моделей состоит в том, что впервые создано графическое представление процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий в методологии IDEF0, с учётом нормативно-правового поля строительной отрасли РФ. Модели показывают взаимосвязи процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий, входные и выходные потоки, управляющие воздействия и механизмы функционирования. С помощью модели «ТО-ВЕ» автором предлагается перераспределить центры ответственности, внедрить мотивирующие механизмы, процессы демонтажа и план-фактный анализ энергоёмкости основных процессов жизненного цикла зданий.

В четвёртой главе «Разработка методических подходов к формированию интегрального показателя энергетической эффективности зданий» исследована эволюция и проведён анализ показателей энергетической эффективности зданий, отражаемых в нормативных правовых и программно-методических документах. Сформирована классификация показателей энергетической эффективности зданий. Определены основные параметры и формализован интегральный показатель энергетической эффективности зданий.

Эволюция показателей энергетической эффективности демонстрирует переход от учёта только тепловой энергии, потребляемой зданиями за отопительный период к учёту 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 автором классификации показателей энергетической эффективности зданий (рисунок 11).

Анализ различных нормативно-методических документов, регламентирующих показатели энергетической эффективности зданий (закон № 261-ФЗ, СНиП 23-02-2003, СП 50.13330.2012, СТО 17532043-001-2005) позволил сделать вывод о том, что приведённые показатели не противоречат друг другу, существенной разницей в них является учёт разных видов энергии: в первом учитывается только тепловая энергия на отопление здания, во втором и третьем основные виды энергоресурсов, но при этом 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. Показатели, применяемые в настоящее время, подходят для расчёта энергоэффективности зданий только на стадии проектирования и строительства, а на стадии эксплуатации зданий постоянное вычисление их не имеет экономического смысла. По мнению автора, их применение недостаточно для мотивации собственников к повышению уровня энергоэффективности зданий.

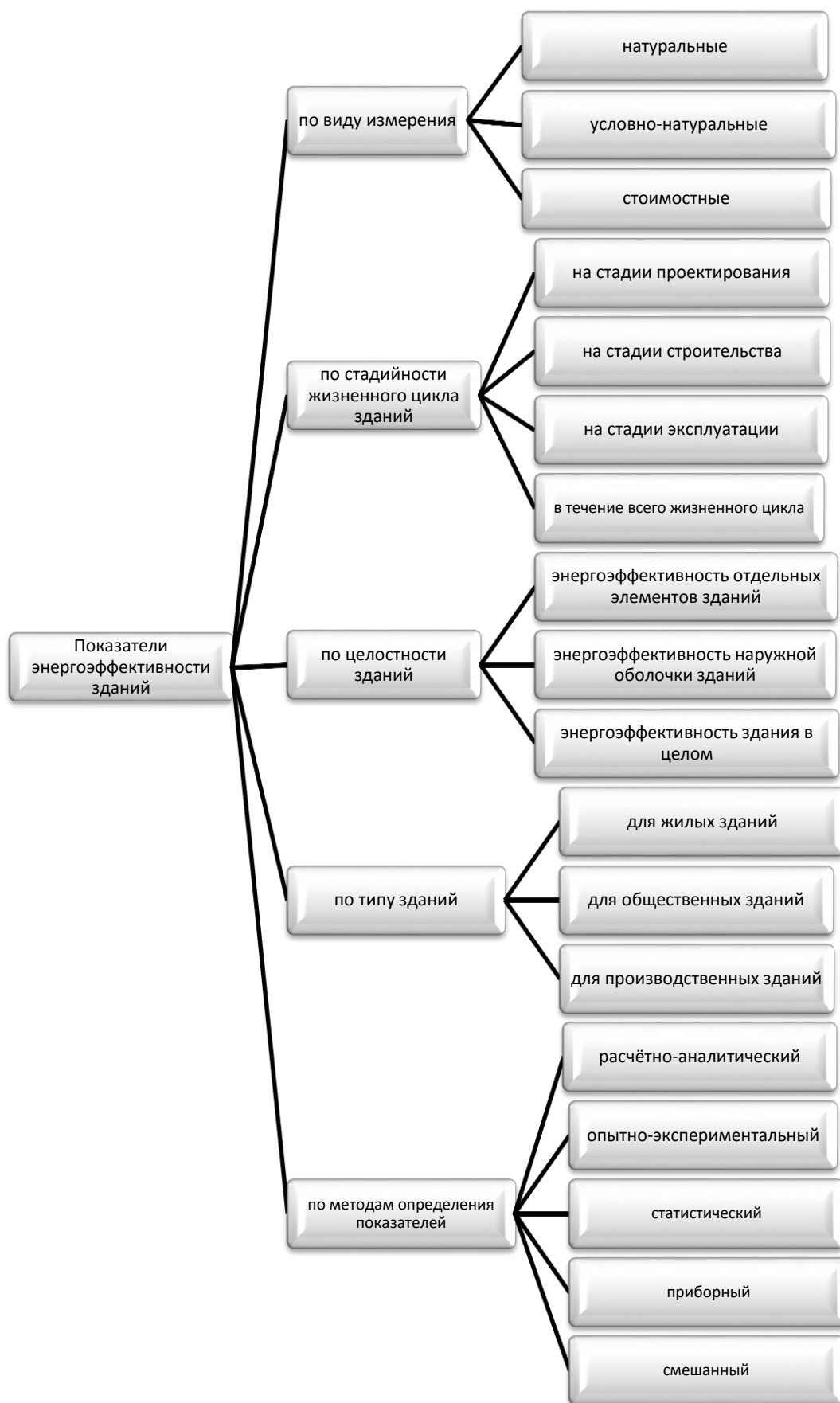


Рисунок 11. Классификация показателей энергоэффективности зданий

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.

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

$$I_{\text{ээф}} = \frac{I_{\text{баз}}}{I_{\text{жц}}}, \quad (1)$$

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 жизненного цикла здания и могут быть выражены как в натуральных (т.у.т.), так и в стоимостных единицах измерения:

$$I_{\text{жц}} = \sum_{j=1}^s a_j \quad (2)$$

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 или нормативным или наилучшим вариантом и таким образом, формируется интегральный показатель энергоэффективности, направленный на снижение затрат энергоресурсов на всех стадиях жизненного цикла здания.

В пятой главе «Имитационное моделирование затрат энергоресурсов на основе агрегативного описания зданий и их систем» выявлены факторы энергопотребления зданий по общему признаку функционирования на стадиях их жизненного цикла и измеримости в едином энергетическом эквиваленте, позволяющие рассчитывать энергоёмкость жизненного цикла на основе имитационного моделирования и учитывать многовариантность и стохастичность строительного производства.

Учитывая, что энергоэффективность зданий является комплексной характеристикой, зависящей от множества факторов, имеющих вероятностный характер, и то, что здания являются сложными энергетическими системами, моделирование их жизненного цикла представляет собой сложную многова-

риантную задачу, решение которой возможно путём применения методов имитационного моделирования. Учёт всех элементов зданий, архитектурно-конструкторских решений, характеристик инженерного оборудования, теплоступлений от людей и бытовых приборов, использование вторичных источников энергии и других параметров энергоэффективности является сложной и практически нереализуемой задачей. Однако объединение параметров энергоэффективности в обобщённые факторы – агрегаты позволяет измерить энергоёмкость жизненного цикла зданий в универсальном энергетическом эквиваленте – тоннах условного топлива (т.у.т.). Автором предлагается ввести новый термин **«агрегаты энергопотребления – элементы здания как энергетической системы, интегрирующие расходы энергетических ресурсов по видам энергоресурсов и по стадиям жизненного цикла здания»**. Математическим аппаратом описания агрегатов энергопотребления предлагается использовать аппарат стохастических агрегативных систем, так как здания являются сложными системами и их жизненный цикл проходит в динамике, имеющей стохастический характер. В первом приближении возможно описание агрегатов в виде кусочно-линейных функций, соответствующих изменению итоговых годовых расходов энергоресурсов на всех стадиях жизненного цикла здания. Сочетание экспертных данных и математического аппарата стохастических агрегативных систем возможно в имитационной модели энергоёмкости жизненного цикла здания, использование которой позволит проводить многовариантные расчёты энергоёмкости как всего жизненного цикла, так и отдельных стадий. Агрегаты энергопотребления представлены в таблице 4.

Таблица 4

Формирование агрегатов энергопотребления зданий

Стадия жизненного цикла здания	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	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. Итогом расчёта агрегатов энергопотребления является интегрированная оценка общего количества использованных в течение жизненного цикла зданием энергетических ресурсов.

В каждый момент времени $t \in (0, T)$ агрегат находится в одном из возможных состояний. Состояние агрегата является элементом некоторого множества Z . Агрегат имеет особые входные контакты, к которым поступают в моменты времени τ_i управляющие сигналы. 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 12).

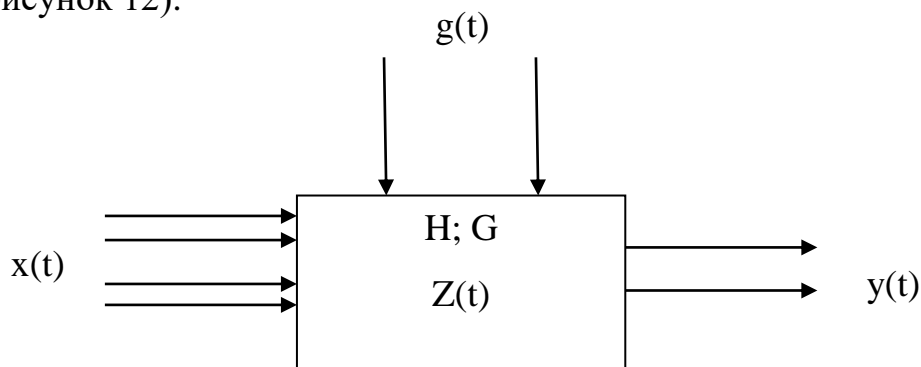


Рисунок 12. Входные, выходные и управляющие сигналы агрегата

Учитывая различную физическую природу агрегатов, их формирование и расчёт целесообразно осуществлять в натуральных единицах измерения, а именно, в тоннах условного топлива, являющегося универсальной единицей измерения энергии, исключая потребление воды, которое учитывается от-

дельно в кубометрах. Так как здание потребляет энергетические ресурсы непрерывно в течение всего жизненного цикла, то кусочно-линейная функция энергопотребления является линейным сплайном, т.е. функцией, область определения которой разбита на конечное число отрезков, на каждом из которых сплайн совпадает с некоторым алгебраическим полиномом. Функция энергопотребления задана на каждом из интервалов, составляющих область определения, отдельной формулой:

$$f(x) = \begin{cases} k_0 t + b_0, & t < t_1 \\ k_1 t + b_1, & t_1 < t < t_2 \\ \dots \\ k_n t + b_n, & t_n < t \end{cases} \quad (3)$$

где t – интервал времени смены состояния агрегатов, при этом точки смены формул соответствуют изменению итоговых годовых расходов энергоресурсов, то есть всем сменам состояний здания:

$t = 0$ – начало строительства;

$t = 1$ – ввод в эксплуатацию;

$t = 5$ – первый ремонт;

$t = 6$ – эксплуатация после первого ремонта...и так далее;

k_0, k_1, k_n – энергопотребление на текущем интервале;

b_0, b_1, b_n – энергопотребление на предыдущем интервале ($t-1$)

накопленным итогом.

В действительности это сплайн нелинейный и более сложный, но реализуемый программным путем посредством программных продуктов для имитационного моделирования. Следует подчеркнуть, что он обеспечивает преимущество показателей энергопотребления (фактически суммирует их). Добавление стохастического аппарата, присущего процессам жизненного цикла зданий, позволит производить более точные и сложные расчёты, получать прогнозы изменения энергопотребления зданием в зависимости от интервала времени жизненного цикла здания. Полностью рабочий вариант модели может быть реализован в программных продуктах, позволяющих проводить имитационное моделирование: GPSS, SIMPROCESS, Arena на основе алгоритма, представленного на рисунке12.

В шестой главе «Практическое применение имитационной модели и реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов» представлены сформированы исходные данные, проведено моделирование и представлена оценка результатов первого сценарного расчёта имитационной модели энергоёмкости жизненного цикла зданий. Разработана структура реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов.

Расчёт агрегатов энергопотребления для первого сценарного расчёта выполнен при помощи электронных таблиц MS Excel. В качестве базового варианта приняты проектные решения 10-этажного кирпичного жилого здания, построенного в г. Иваново. По результатам расчёта построены таблица

5, диаграммы и графики (рисунки 13-14). В таблице 6 представлено энергопотребление в течение первых 10 лет жизненного цикла здания.

Таблица 5

Сводная таблица расчёта агрегатов

Этап жизненного цикла	Наименование агрегата	Значение, т.у.т.
Проектирование	Расходы энергетических ресурсов на производство строительных материалов и конструкций	1993,76
	Расходы энергетических ресурсов на организацию строительной площадки и производство СМР	455,85
Эксплуатация	Расходы энергетических ресурсов на отопление здания	8097,82
	Расходы энергетических ресурсов на электроснабжение, освещение здания, работу систем вентиляции и поддержания микроклимата в здании	5811,94
	Расходы энергетических ресурсов на водоснабжение и водоотведение здания (64,49 м ³ /сут *365*150)	3530828 м ³
	Расходы энергетических ресурсов на производство строительных материалов для производства текущего и капитального ремонтов	1381,37
	Расходы энергетических ресурсов на производство работ по текущему и капитальному ремонтам	455,85
	Расходы энергетических ресурсов на утилизацию строительных материалов от производства строительных материалов для производства текущего и капитального ремонтов и демонтажа здания	324,26
	Расходы энергетических ресурсов на работы по демонтажу здания	455,85
ИТОГО расходы энергоресурсов на жизненный цикл здания $\sum a$		18976,69

Видно, что наиболее энергоёмкими являются энергозатраты на отопление (43%) здания и электроснабжение (31%). Первый сценарный расчёт показал, что затраты энергоресурсов в течение жизненного цикла здания накапливаются постепенно, в целом на жизненный цикл одного 10-этажного жилого здания расходуется 18,97 тыс. т.у.т. и 3530 тыс. м³ воды или 3,16 т.у.т и 588 м³ воды на 1 м² общей площади здания. Очевидно, что данные энергозатраты значительны, особенно в масштабах всей строительной отрасли страны, что обосновывает необходимость предварительной оценке энергопотребления в течение жизненного цикла зданий. Как показано на рис. 14, динамика потребления энергоресурсов зданием в течение жизненного цикла имеет кусочно-линейный характер. Состояние агрегатов меняется скачкообразно в течение жизненного цикла здания при смене стадий и изменении уровня энергопотребления. Необходимо учесть стохастичность строительного производства и эксплуатации зданий, внедрить соответствующие вероятности в модель, что позволит более точно прогнозировать энергозатраты в течение жизненного цикла зданий и управлять ими.

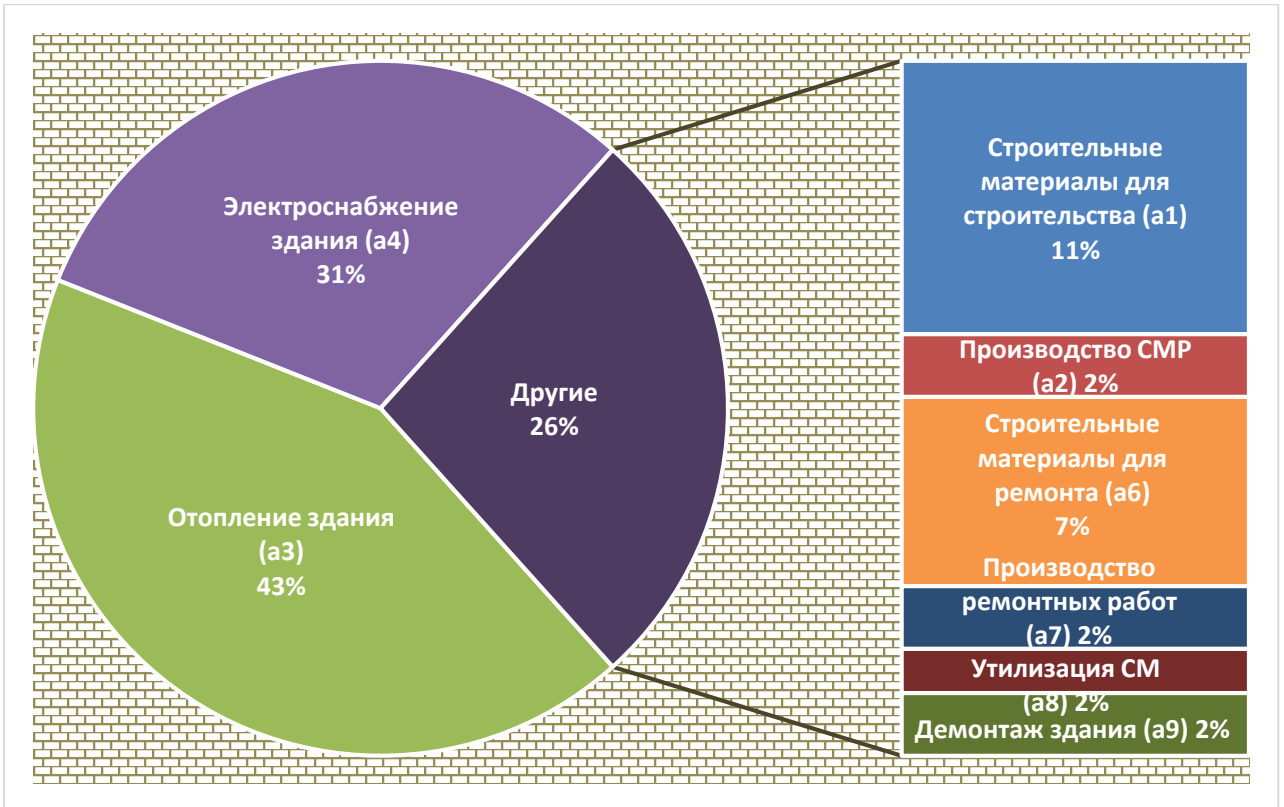


Рисунок 13. Структура затрат энергоресурсов здания в течение жизненного цикла

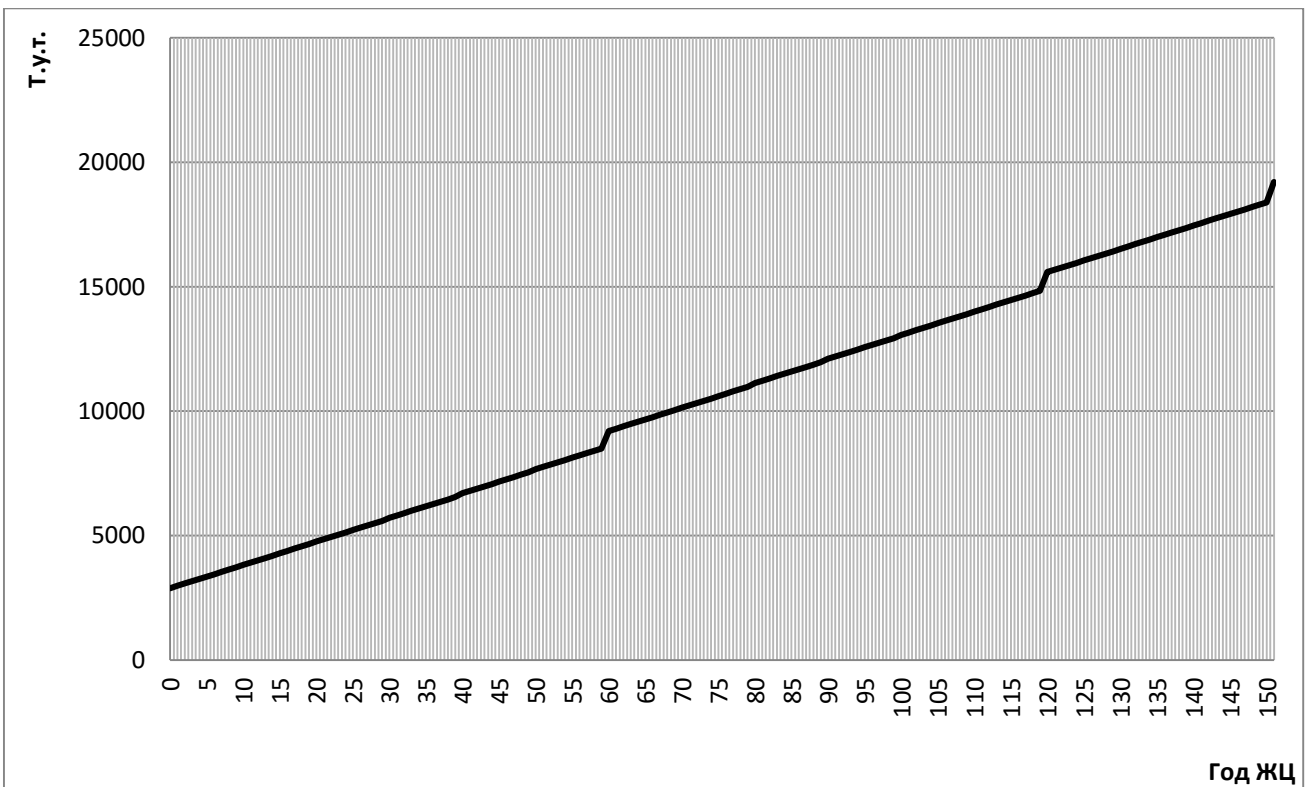


Рисунок 14. Кусочно-линейная динамика энергоёмкости жизненного цикла

Таблица 6

Энергопотребление в течение первых 10 лет жизненного цикла здания, т.у.т

Агрегат	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a ₁	1 993,76										
a ₂	455,85										
a ₃		53,99	53,99	53,99	53,99	53,99	53,99	53,99	53,99	53,99	53,99
a ₄		38,04	38,04	38,04	38,04	38,04	38,04	38,04	38,04	38,04	38,04
a ₅											
a ₆		-	-	-	-	1,86	-	-	-	-	8,28
a ₇		-	-	-	-	0,43	-	-	-	-	1,89
a ₈											
a ₉											
ИТОГО	2 449,61	92,02	92,02	92,02	92,02	94,31	92,02	92,02	92,02	92,02	102,19
Накопленным итогом											
a ₁	1 993,76	1 993,76	1 993,76	1 993,76	1 993,76	1 993,76	1 993,76	1 993,76	1 993,76	1 993,76	1 993,76
a ₂	455,85	455,85	455,85	455,85	455,85	455,85	455,85	455,85	455,85	455,85	455,85
a ₃	-	53,99	107,97	161,96	215,94	269,93	323,91	377,90	431,88	485,87	539,85
a ₄	-	38,04	76,08	114,11	152,15	190,19	228,23	266,26	304,30	342,34	380,38
a ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
a ₆	-	-	-	-	-	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	10,14
a ₇	-	-	-	-	-	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	2,32
a ₈	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
a ₉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ИТОГО	2 449,61	2 541,63	2 633,65	2 725,68	2 817,70	2 912,01	3 004,03	3 096,06	3 188,08	3 280,10	3 382,29

С целью информационной поддержки модели автором с использованием MS Access разработана и апробирована структура реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов (БД ЭСМ). В настоящее время подобная информационная система отсутствует, показатели энергоёмкости по стадиям жизненного цикла разрозненны, указаны в отдельных источниках научной, методической и технической литературы. При проектировании схемы реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов целесообразно основным элементом выбран строительный материал по его наименованию с уточняющими параметрами. При этом принципиальным является разделение по типу участия материала в процессах ремонта и реконструкции: для сменяемых элементов – ремонт строительного материала, для несменяемых – реконструкция. БД ЭСМ содержит связанные таблицы: «Материалы», «Здания», «Описание зданий», «Справочник несменяемых элементов», «Справочник сменяемых элементов». Новизна структуры базы данных энергоёмкости основных строительных материалов отличается от простого перечисления значений энергетических затрат на их производство тем, что при её формировании используется реляционный подход, а также показатели энергоёмкости на разных стадиях жизненного цикла здания.

Разработанная структура БД ЭСМ материалов представлена на рисунке 15.



Рисунок 15. Схема данных энергоёмкости строительных материалов на основании реляционной модели

Представленная на рис. 15 принципиальная схема базы данных энергоёмкости строительных материалов является реляционной и может быть использована при проектировании структуры базы данных практически в любой СУБД. База данных позволяет формировать запросы и отчёты об энергоёмкости строительных материалов отдельно по материалам, по конструкциям, по слоям сменяемых элементов, по жизненному сроку здания в целом и по отдельным стадиям. Примеры запросов представлены на рисунках 16-20.

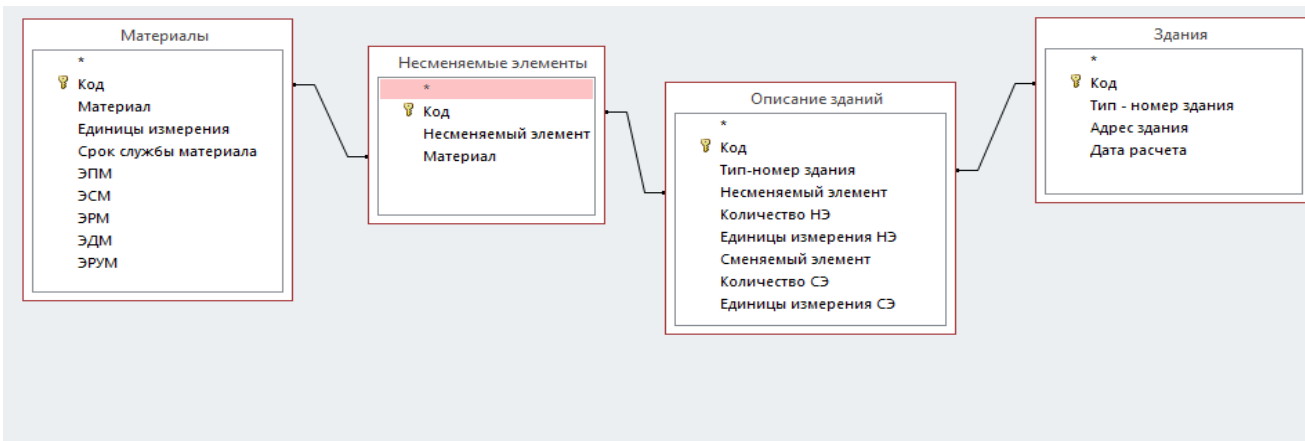


Рисунок 16. Схема данных запроса № 1. Срок службы здания

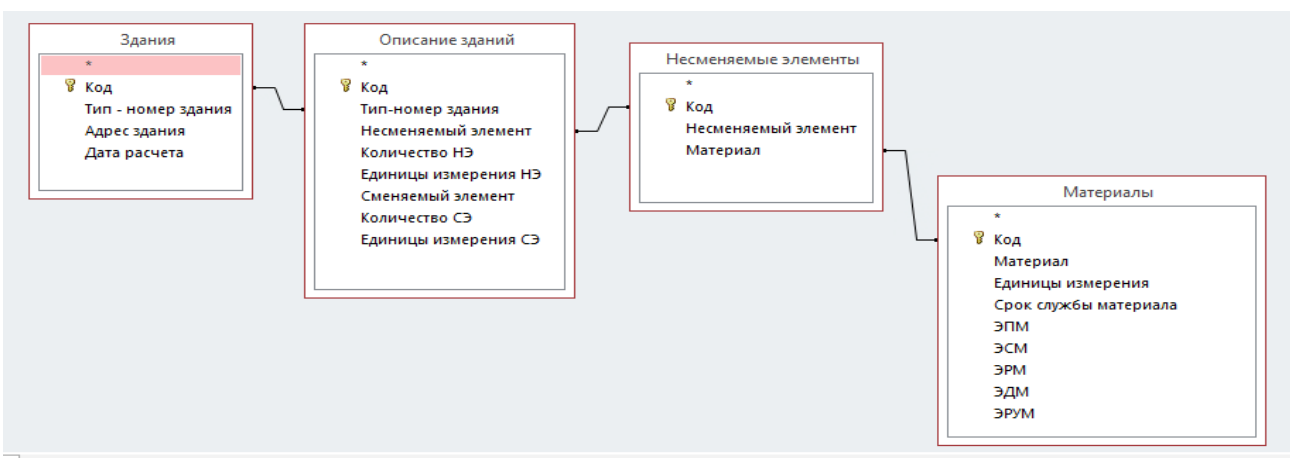


Рисунок 17. Схема данных запроса № 2. Энергоёмкость жизненного цикла несменяемых элементов

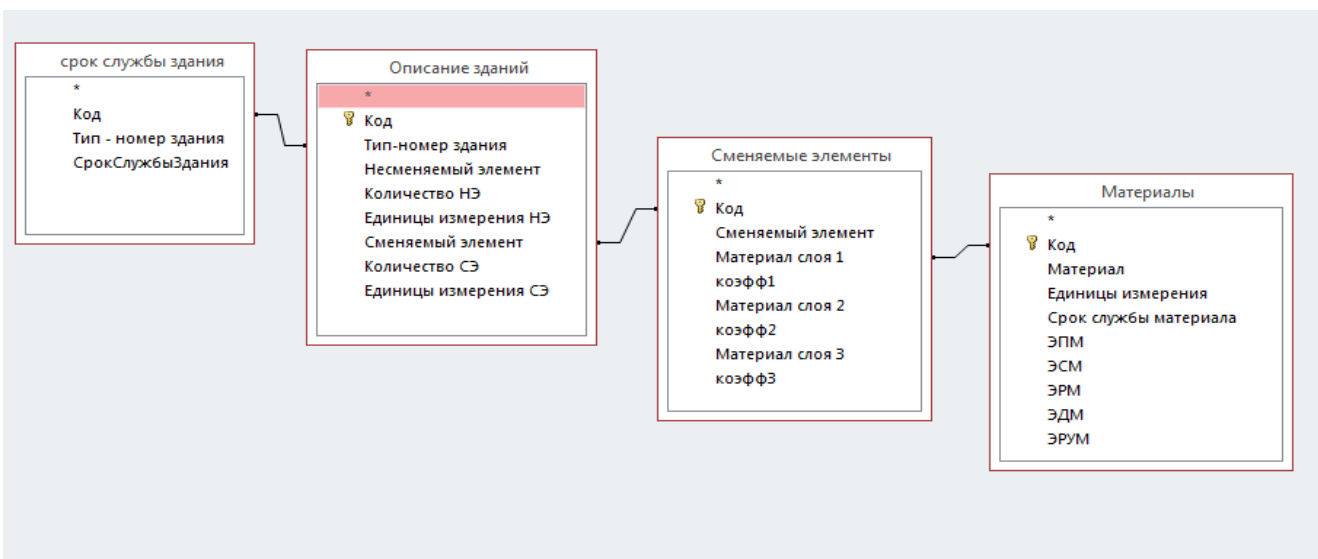


Рисунок 18. Схема данных запроса № 3. Энергоёмкость жизненного цикла сменяемых элементов (слой 1)

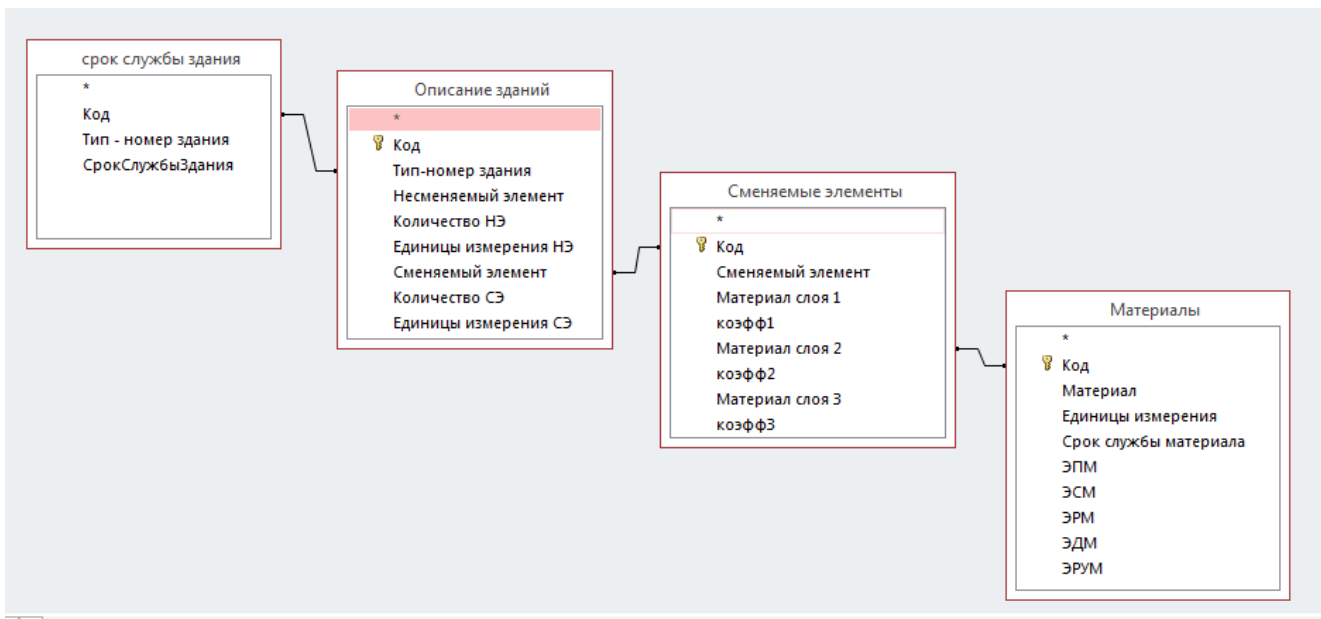


Рисунок 19. Схема данных запроса № 4. Энергоёмкость жизненного цикла сменяемых элементов (слой 2)

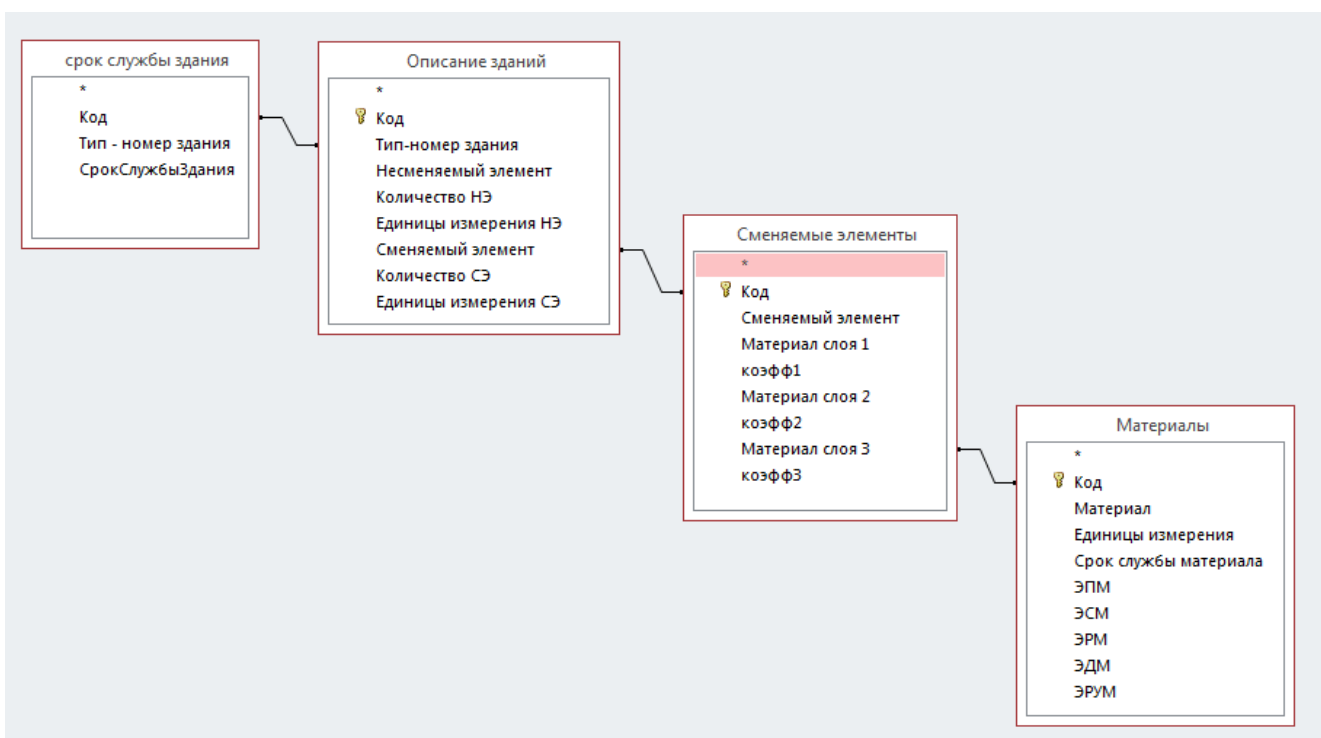


Рисунок 20. Схема данных запроса № 5. Энергоёмкость жизненного цикла сменяемых элементов (слой 3)

Автором произведён расчёт по разработанной базе данных и получены результаты, позволяющие рассчитать и спрогнозировать энергоёмкость жизненного цикла здания с учётом производства, СМР, ремонтов, утилизации строительных материалов. Разработанная база данных позволяет формиро-

вать отчёты по энергоёмкости жизненного цикла как здания в целом, так и отдельно по элементам здания. Пример отчёта энергоёмкости несменяемых элементов представлен на рисунке 21.

Тип-ном	Несменяемый элемент	Единицы из	Количество	Срок службы	ЭнергоемкостьНЭ	ИтогоЭнергоемкостьНЭ
МКД-1	Фундамент сборный железобетонный	куб. м	503,35	150	0,26564	133,70888
МКД-1	Цоколь из керамического кирпича	куб. м	889,53	150	0,64878	577,10576
МКД-1	Ограждающие конструкции (силикатный кирпич)	куб. м	1045,28	150	0,26950	281,70507
МКД-1	Перекрытия железобетонные	куб. м	806,173	150	0,26564	214,15018
МКД-1	Внутренние стены (несущие)	куб. м	2549,62	150	0,26950	687,12772
МКД-1	Ограждающие конструкции (монолит бетон)	куб. м	35,9	150	0,28049	10,06959
МКД-1	Ограждающие конструкции (монолит каркас)	т	2,823	150	1,18506	3,34542
МКД-1	Внутренние стены (раствор)	куб. м	108,47	150	0,31414	34,07498
МКД-1	Ограждающие конструкции (раствор)	куб. м	720,3	150	0,31414	226,27650
МКД-1	Переемычки железобетонные	куб. м	92,94	150	0,26564	24,68840

Рисунок 21. Отчёт по энергоёмкости несменяемых элементов

Таким образом, БД ЭСМ позволяет производить многовариантные расчёты и обеспечивать наименьшую энергоёмкость жизненного цикла зданий разных типов. Предлагаемая имитационная модель энергоёмкости жизненного цикла зданий совместно с БД ЭСМ может быть использована также при разработке дорожных карт и стратегий развития ТЭК, так как она позволит увидеть динамику энергопотребления зданиями в масштабах как отдельного здания, так и всей страны в случае, если её результаты будут использованы в энергетических паспортах зданий. Автор считает целесообразным внедрять построение предлагаемой модели в процесс проектирования зданий и основные показатели динамики энергопотребления в течение жизненного цикла представлять для мониторинга данных в энергопаспортах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационном исследовании обоснованы методологические основы процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий, которыми являются системный, системотехнический и функциональный подходы. В рамках данных подходов разработаны концептуальная схема энергоэффективного здания, схема жизненного цикла здания как системы, схема процессов жизненного цикла энергоэффективного здания, системотехнические принципы энергоэффективности, применение которых позволит осуществлять моделирование жизненного цикла зданий и процессов их организации и таким образом, обеспечит его такую важнейшую характеристику как энергоэффективность на всех стадиях жизненного цикла.

2. Уточнено понятие «энергоэффективное здание», отличающееся более полным содержанием, учитывающим безопасность, надёжность и комфортность здания, все виды потребляемых зданием энергоресурсов и его жизненный цикл.

3. 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.

4. Созданы функциональные модели организации процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий в методологии IDEF0, которые рекомендуется внедрить в качестве базиса при формировании технических заданий на выполнение ФЦП, целевых программ, направленных на повышение энергетической эффективности зданий.

5. 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.

6. 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.

7. 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» – это элементы здания как энергетической системы, интегрирующие расходы энергетических ресурсов по видам энергоресурсов и по стадиям жизненного цикла здания. Доказана целесообразность создания имитационной модели процессов 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.

8. Произведены первые сценарные расчёты жизненного цикла здания на примере 10-этажного кирпичного жилого дома, построенного в г. Иваново. По результатам расчёта показано, что наиболее энергоёмкими являются энергозатраты на отопление (48%) здания и электроснабжение (30%). Остальная часть энергозатрат представлена в основном энергозатратами на производство строительных материалов для строительства и ремонта здания.

9. 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 комфорта.

Основные публикации

В журналах, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Опарина Л.А. Определение понятия «энергоэффективное здание» // Жилищное строительство. – 2010. – № 8. С. 2-4.
2. Опарина Л.А. Построение матрицы нормативно-правовой базы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. №4 (72). С.22-25.
3. Опарина Л.А. Формирование классификации показателей энергетической эффективности зданий // Жилищное строительство. – 2011. № 4. С. 18-20.
4. Опарина Л.А. Обоснование применения методологии процессного подхода к моделированию жизненного цикла энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2011. – № 5. С. 8-10.
5. Опарина Л.А. Организационные аспекты проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2011. – № 10. С. 8-10.
6. Опарина Л.А. IDEF0-моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2011. – № 11. С. 18-20.
7. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Формирование интегрального показателя энергетической эффективности зданий // Известия ВУЗов. Серия «Экономика, финансы и управление производством». – 2011. – № 03(09). С. 92-95.
8. Опарина Л.А. Развитие технологий моделирования жизненного цикла зданий // Жилищное строительство. – 2011. – № 12. С. 45-46.
9. Опарина Л.А. Декомпозиция первого уровня функциональной модели жизненного цикла энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2012. – № 1. С. 28-29.
10. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Ставрова М.В. Функциональное моделирование как организационный инструмент проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2012. – № 2. С. 2-5.

11. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Ставрова М.В. Интегральный показатель энергоэффективности как основа организационного механизма строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2012. – № 3. С. 46-48.
12. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Источники финансирования жилищного строительства в современных социально-экономических условиях // Известия ВУЗов. Серия «Экономика, финансы и управление производством». – 2012. – № 03(13). С. 17-20.
13. Алоян Р.М., Опарина Л.А., Варамашвили Н.И. Формирование системотехнических принципов энергоэффективности зданий // Вестник МГСУ. – 2012 - № 8. С. 147-153.
14. Опарина Л.А. Имитационное моделирование энергопотребления зданиями в течение жизненного цикла на основе аппарата стохастических агрегативных систем // Жилищное строительство. – 2013. – № 8. С. 22-24.
15. Опарина Л.А. Результаты расчёта энергоёмкости жизненного цикла зданий // Жилищное строительство. – 2013. – № 11. С. 50-52.
16. Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Овчинников А.А. Проблемы развития жилищных облигационных займов и пути их решения // Известия ВУЗов. Серия «Экономика, финансы и управление производством». – 2013. – № 03(17). С. 21-24.
17. Опарина Л.А., Заянчуковская Н.В., Лыкова И.Н. Создание реляционной базы данных энергоёмкости строительных материалов // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 6(50). С. 78-81.
18. Опарина Л.А. Системный подход к организации жизненного цикла энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2014. – № 8. С. 12-15.
19. Опарина Л.А. Учёт энергоёмкости строительных материалов на разных стадиях жизненного цикла зданий // Строительные материалы. – 2014. – № 11. С. 44-46.
20. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Классификация синтетических геоматериалов и их применение в современном строительстве // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2015. – № 3. С. 14-18.

В остальных журналах и сборниках статей:

21. Опарина Л.А. Техничко-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.
22. Опарина Л.А. Практические примеры оценки эффективности энергосберегающих мероприятий // Информационная среда вуза (XVI Международная научно – практическая конференция): Сборник статей – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т. – 2010. – С. 370-376.

23. Опарина Л.А. Функциональное моделирование жизненного цикла энергоэффективных зданий // Энергосбережение. – 2011. – № 7. С. 69-71.
24. Опарина Л.А., Агупова Н.С. К вопросу об организации системы энергетической паспортизации зданий // Информационная среда вуза (XVII Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т. – 2011. – С. 364-370.
25. 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.
26. Опарина Л.А. Функциональное моделирование бизнес-процессов как основа стратегического планирования в строительной отрасли // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы Тринадцатого всероссийского симпозиума – М.: ЦЭМИ РАН. – 2012. С. 132-134.
27. Опарина Л.А. Новые информационные технологии организации строительного производства // Информационная среда вуза (XIX Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т. – 2012. С. 409-411/
28. Опарина Л.А., Петрухин М.А. Оценка возможности использования опыта Германии для решения проблемы повышения энергоэффективности жилого фонда в России // Информационная среда вуза (XIX Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т. – 2012. С. 446-453.
29. Опарина Л.А., Петрухин М.А., Чистякова Ю.А. К вопросу о применении программно-целевого подхода при решении проблем энергосбережения // Информационная среда вуза (XIX Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: ИГАСУ. – 2012. С. 436-444.
30. Опарина Л.А. Имитационное моделирование расхода энергоресурсов зданиями // Энергосбережение. 2012. – № 7. С. 68-70.
31. Опарина Л.А. Применение имитационного моделирования как инструмент развития энергосбережения в строительной отрасли // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы Четырнадцатого всероссийского симпозиума. Москва – М.: ЦЭМИ РАН. 2013 – С. 160-162.
32. Опарина Л.А., Бойцова Е.В. Анализ строительных норм и правил, регламентирующих проектирование и строительство производственных зданий // Учёные записки ФЭиУ – Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т. – 2013. С. 149-151.
33. Опарина Л.А., Тимичева Е.А. Процессный подход в строительстве // Учёные записки ФЭиУ– Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2013. – С. 144-149.
34. Опарина Л.А., Фатхулина М.Н. Энергосбережение при организации строительства и производстве строительных работ // Учёные записки ФЭиУ– Иваново: Иван. гос. архит.-строит. ун-т., 2013. – С. 140-144.

35. Опарина Л.А. Жизненный цикл энергоэффективного здания – системный подход // Энергосбережение. – 2013. – № 7. – С. 76-78.
36. Опарина Л.А., Власова Е.А. Организация жизненного цикла энергоэффективных зданий – системный подход // Информационная среда вуза (XX Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: ИВГПУ, 2013. – С. 496-499.
37. Опарина Л.А., Заянчуковская Н.В. Применение базы данных энергоёмкости строительных материалов как информационная поддержка стратегического планирования энергосбережения в строительной отрасли // Стратегическое планирование и развитие предприятий: Материалы Пятнадцатого всероссийского симпозиума – М.: ЦЭМИ РАН, 2014 -210 с., С. 132-134.
38. Опарина Л.А., Власова Е.А. Энерго- и ресурсосбережение в строительной науке – анализ понятийного аппарата // Информационная среда вуза (XXI Международная научно – практическая конференция): Сборник статей. – Иваново: ИВГПУ, 2014. С. 147-150.
39. Опарина Л.А., Заянчуковская Н.В. Энерго- и ресурсосбережение в строительной отрасли и ЖКХ в аспекте концепций стратегического развития России // Стратегическое планирование и развитие предприятий: Материалы Шестнадцатого всероссийского симпозиума – М.: ЦЭМИ РАН, 2015 - 215 с., С. 80-82.
40. Опарина Л.А. Учёт энергоёмкости строительных материалов в жизненном цикле зданий – путь к устойчивому развитию // Энергосбережение. – 2014. – № 8. С. 66-68.
41. Опарина Л.А. Разработка организационно-экономического механизма развития концепции «умный дом» в Ивановской области // Генезис экономических и социальных проблем субъектов рыночного хозяйства в России. – 2015. № IX. С. 90-92.
42. Опарина Л.А. Строительство энергоэффективных зданий как фактор устойчивого развития экономики // Генезис экономических и социальных проблем субъектов рыночного хозяйства в России. – 2015. № IX. С.93-95.
43. Опарина Л.А. Аспекты энергоэффективности в завершающей стадии жизненного цикла зданий // Энергосбережение. – 2014. – № 8. С. 66-69.

Монографии, учебные пособия

1. Опарина Л.А. Классификация показателей энергетической эффективности зданий (Коллективная монография) «Архитектура и строительство. Часть II Многотомной коллективной монографии «Проблемы и пути развития Российской провинции»» – Пенза: РИО ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА», 2011. – 13 с., с.85-93.
2. Опарина Л.А., Опарин Р.Ю. Экономика и организация архитектурного проектирования и строительства. – Иваново: Иван. гос.archit.-строит. ун-т., 2011. – 282 с.
3. Опарина Л.А. Основы ресурс- и энергосбережения в строительстве: учебное пособие. Иваново: ПресСто, 2014. – 256 с.