



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

## Курс лекций по дисциплине «Энергомоделирование зданий»

Авторы

Шейна С.Г., Миненко Е.Н., Федяева П.В.



Ростов-на-Дону, 2022

## Аннотация

Курс лекций предназначен для студентов очной формы обучения направления подготовки 08.04.01 «Строительство», магистерская программа «Информационное моделирование в строительстве и городском хозяйстве».

## Авторы:

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»  
Шейна Светлана Георгиевна

К.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»  
Миненко Евгения Николаевна

К.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»  
Федяева Полина Валерьевна

Проект реализуется победителем грантового конкурса для преподавателей магистратуры 2021/2022 Стипендиальной программы Владимира Потанина.



## Оглавление

<b>Структура лекционного курса .....</b>	<b>4</b>
<b>Лекция 1</b> Понятие энергосбережения и энергетической эффективности зданий. Нормативно-техническая и законодательная база ...	<b>5</b>
<b>Лекция 2</b> Показатели энергетической эффективности зданий, методы оценки. Тепловая защита зданий .....	<b>18</b>
<b>Лекция 3</b> Энергетический баланс зданий и факторы, влияющие на энергопотребление.....	<b>28</b>
<b>Лекция 4</b> Особенности проектирования энергоэффективных зданий на примере технологий passive house, active house, zero house emissions.....	<b>38</b>
<b>Лекция 5</b> Разработка энергетической модели здания .....	<b>50</b>
<b>Лекция 6</b> Расчет энергетического паспорта здания .....	<b>59</b>
<b>Лекция 7</b> Управление жизненным циклом и моделирование уровня энергетической эффективности здания .....	<b>74</b>
<b>Список вопросов к экзамену по дисциплине «Энергомоделирование зданий» .....</b>	<b>98</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>99</b>

## СТРУКТУРА ЛЕКЦИОННОГО КУРСА

Наименование лекции	Кол-во аудиторных часов
Лекция № 1 «Понятие энергосбережения и энергетической эффективности зданий. Нормативно-техническая и законодательная база»	1
Лекция № 2 «Показатели энергетической эффективности зданий, методы оценки»	1
Лекция № 3 «Энергетический баланс зданий. Требования к проектированию тепловой защиты»	2
Лекция № 4 «Особенности проектирования энергоэффективных зданий на примере технологий passive house, active house, zero house emissions: архитектура, тепловая защита зданий, эффективные инженерные системы, автоматизация, учет энергетических ресурсов»	2
Лекция № 5 «Разработка энергетической модели здания»	2
Лекция № 6 «Расчет энергетического паспорта здания»	2
Лекция № 7 «Управление жизненным циклом и моделирование уровня энергетической эффективности здания»	6
<b>Итого:</b>	<b>16</b>

## ЛЕКЦИЯ 1 ПОНЯТИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ. НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ И ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА

### План лекции:

- основные термины и определения;
- актуальность энергосбережения;
- структура и основные положения современной законодательной базы России в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий, энергомоделирования;
- основные положения нормативно-технической базы РФ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий, энергомоделирования;
- изучение механизмов государственного регулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий в РФ.

**Ресурсосбережение** — система мер по обеспечению рационального использования ресурсов, удовлетворению потребности в них, главным образом за счет экономии.

**Энергосбережение** – это процесс реализации правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Экономическая и экологическая составляющие энергосбережения

Рациональное потребление ресурсов, прежде всего, энергии, обеспечивает:

- сохранение запасов ископаемого топлива для будущих поколений нашей планеты;
- снижение негативного воздействия на окружающую природную среду (чем меньше энергии мы потребляем, тем меньше вредных веществ выделяем в процессе их переработки и потреблении, прежде всего речь идет о снижении выбросов парниковых газов);
- снижения себестоимости товаров/работ/услуг, повышение их конкурентоспособности на мировом рынке.

Рациональные модели производства внедряются в целях:

- эффективного использования природных ресурсов и энергии в процессе производства продовольственных и непродовольственных товаров их переработки или утилизации;
- создания глобальной системы безотходного производства продовольственных, а также непродовольственных товаров длительного пользования с возможностью их последующего ремонта для повторного использования или переработки в качестве сырья;
- создания достойных и безопасных рабочих мест.

В случае, если спрос на энергетические ресурсы (энергоносители) значительно выше их предложения возникает явление, которое носит название энергетический кризис. Его причины могут находиться в области логистики, политики или физического дефицита.

Первый энергетический кризис случился в 1973 г. после сознательного снижения объемов добычи нефти странами, входящими в ОПЕК. Снижение объемов добываемой нефти стало одновременно экономическим и политическим инструментом давления стран ОПЕК на Запад, с целью увеличения цен на поставляемые ресурсы и ослабления военной поддержки Израиля Западом.

Рост цен на нефть и природный газ, а также снижение объемов предложения этих ресурсов на мировом рынке, заставили страны Европы и Америки коренным образом изменить структуру топливно-энергетической базы для обеспечения энергетической безопасности страны путем ее переориентации на другие источники, развивать технологии, обеспечивающие снижение объемов потребляемых энергетических ресурсов (энергосберегающие технологии) и применение альтернативных источников энергии, экономичного транспорта.

**Энергетическая безопасность** – это одна из основных задач **энергетической политики** стран мира, это состояние защищенности страны, ее граждан, общества, государства, экономики от угроз надежному топливно- и энергообеспечению. Эти угрозы определяются как внешними (геополитическими, макроэкономическими, конъюнктурными)

факторами, так и собственно состоянием и функционированием энергетического сектора страны.

**Энергосберегающие технологии** – это новый или усовершенствованный технологический процесс, характеризующийся более высоким коэффициентом полезного использования топливно-энергетических ресурсов [2].

Применение на практике энергосберегающих технологий обеспечивает энергоэффективность.

**Энергоэффективность** – это рациональное (эффективное) использование энергетических ресурсов, т.е. использование меньшего количества энергии при сохранении того же уровня комфортности и протекающих в здании технологических процессов.

**Энергетические ресурсы** – это материальные объекты, в которых сосредоточена энергия, пригодная для практического использования человеком.

Потребление энергии является обязательным условием существования человечества, удовлетворения его потребностей, увеличения продолжительности и качества, комфортности его жизни.

Здания, строительный комплекс в целом являются крупными потребителями энергетических ресурсов на планете.

Разработчики нормативно-правовой документации, посвященной 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.

Энергоэффективные здания являются реальностью нашего времени, одним из неотъемлемых факторов устойчивого развития среды обитания человека. С конца 70-х годов XX века из единичных пилотных проектов они превратились в реальные объекты массового строительства: 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.

Для снижения объемов ресурсов, потребляемых зданиями, во всех развитых странах мира разработаны соответствующие нормы и требования в области энергосбережения, соблюдение которых является обязательным условием ввода в эксплуатацию вновь построенного или прошедшего капитальный ремонт (реконструкцию) здания. Эти нормы во



всех государствах периодически пересматриваются и ужесточаются.

Структура современной нормативно-правовой базы РФ в области энергосбережения представлена федеральным, региональным и местным уровнями (рисунок 2).



Рисунок 2 – Структура современной нормативно-правовой базы России в области энергосбережения

Ключевым законодательным актом, регулирующим вопросы энергосбережения на федеральном уровне в РФ, является ФЗ №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Данный ФЗ ввел запрет на оборот на территории РФ не энергоэффективных товаров, ввел требования по установке приборов учета потребления энергетических ресурсов, требования к уровню энергетической эффективности зданий и установил порядок проведения энергетического обследования, ввел понятие энергосервисного контракта, а также формы государственной поддержки реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в различных отраслях экономики РФ [1].

Согласно ст. 9 № 261-ФЗ государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности осуществляется посредством установления:

- требований к обороту отдельных товаров, функциональное назначение которых предполагает использование энергетических ресурсов;
- запретов или ограничений производства и оборота в РФ товаров, имеющих низкую энергетическую эффективность, при условии наличия в обороте аналогичных товаров, имеющих более высокую энергоэффективность;
- обязанности по учету используемых энергетических ресурсов;



- требований энергетической эффективности зданий и сооружений;
- обязанности проведения обязательного энергетического обследования;
- требований к проведению энергетического обследования и его результатам;
- обязанности проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в отношении общего имущества собственников помещений в многоквартирном доме;
- требований энергетической эффективности товаров, работ, услуг для обеспечения государственных или муниципальных нужд;
- требований к региональным, муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- требований к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства или муниципального образования и организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности.

Требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений, устанавливаемые ФЗ-261, должны включать в себя:

- показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении;
- требования к влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений, архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям;
- требования к отдельным элементам, конструкциям ЗИС и к их свойствам, к используемым в зданиях устройствам и технологиям, позволяющим исключить нерациональный расход энергетических ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта ЗИС, так и в процессе их эксплуатации.

Требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений подлежат пересмотру не реже чем один раз в пять лет в целях повышения энергетической эффективности зданий, строений, сооружений.

В соответствии с ч. 2 ст. 13 ФЗ-261 расчеты за энергетические ресурсы должны осуществляться на основании данных о количественном значении энергетических ресурсов, произведенных, переданных, потребленных, определенных при помощи приборов учета ресурсов.

Требования энергетической эффективности не распространяются на следующие здания, строения, сооружения:

- 1) культовые здания, строения, сооружения;
- 2) здания, строения, сооружения, которые в соответствии с законодательством Российской Федерации отнесены к объектам

культурного наследия (памятникам истории и культуры);

3) временные постройки, срок службы которых составляет менее чем два года;

4) объекты индивидуального жилищного строительства, садовые дома;

5) строения, сооружения вспомогательного использования;

6) отдельно стоящие здания, строения, сооружения, общая площадь которых составляет менее чем пятьдесят квадратных метров;

7) иные определенные Правительством Российской Федерации здания, строения, сооружения.

Согласно п. 6 ст. 11 ФЗ № 261 не допускается ввод в эксплуатацию зданий, строений, сооружений, построенных, реконструированных, прошедших капитальный ремонт и не соответствующих требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов.

Реализация на практике мер по энергосбережению является одним из эффективных инструментов обеспечения энергетической безопасности государств.

Помимо ФЗ № 261 в нашей стране действует также ряд других законов, прямо или косвенно регулирующих вопросы энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий:

– ФЗ № 184 от 27.12.2002 «О техническом регулировании»;

– ФЗ № 190 от 27.07.2020 «О теплоснабжении»;

– ФЗ № 416 от 07.12.2011 «О водоснабжении и водоотведении»;

– ФЗ № 382 от 03.12.2011 «О государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса» и др.

Государственное регулирование энергосбережения проявляется через систему законодательных актов и нормативных документов, принимаемых на федеральном и региональном уровнях, предусматривающих прежде всего правовую, финансовую поддержку энергосбережения со стороны государства, определяющих границы применения финансово-экономических механизмов, стандартов и сертификации, обязательность проведения энергетических обследований для оценки использования топливно-энергетических ресурсов.

Региональное законодательство в области энергосбережения представлено постановлениями и распоряжениями правительств регионов РФ, областными целевыми программами в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Разработка муниципальных программ в области энергосбережения осуществляется в соответствии с Постановлением Правительством Российской Федерации от 31.12.2009 № 1225 «О требованиях к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

В соответствии со ст. 8 ФЗ № 261 к полномочиям органов местного самоуправления в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности относятся:

– разработка и реализация муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

– установление требований к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций коммунального комплекса, цены (тарифы) на товары, услуги которых подлежат установлению органами местного самоуправления;

– информационное обеспечение мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, определенных в качестве обязательных федеральными законами, иными нормативными правовыми актами или предусмотренных соответствующей муниципальной программой в области энергосбережения;

– координация мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и контроль за их проведением муниципальными учреждениями, муниципальными унитарными предприятиями.

К стратегическим документам в области энергосбережения РФ относится **энергетическая стратегия (ЭС)** – документ, определяющий цели и задачи долгосрочного развития энергетического сектора страны на предстоящий период, приоритеты и ориентиры, а также механизмы и меры государственной энергетической политики на отдельных этапах ее реализации, обеспечивающие достижение намеченных целей.

В числе приоритетов **энергетической стратегии России** до 2035 г. можно назвать:

- снижение удельных затрат на производство и использование энергоресурсов за счет рационализации их потребления;

- применения энергосберегающих технологий и оборудования;

- сокращения потерь при добыче, переработке, транспортировке и реализации продукции ТЭК;

- переход к энергетике нового поколения с опорой на новые технологии, высокоэффективное использование традиционных энергетических ресурсов и новых углеводородных и других источников энергии;

- смещение приоритетов от добычи и магистрального транспорта топлива к его глубокой переработке с использованием наукоемких технологий в целях полного обеспечения внутреннего спроса и выхода на мировые рынки с продукцией высоких уровней переделов.

К руководящим документам, регламентирующим вопросы

энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий в России, относятся:

– Постановление Правительства РФ от 20.09.2014 № 961 «Об организации работы по созданию общедоступного банка данных о наиболее эффективных технологиях, применяемых при модернизации (строительстве, создании) объектов коммунальной инфраструктуры, а также о наиболее эффективных технологиях по энергосбережению и повышению энергетической эффективности МКД, административных и общественных зданий»;

– Приказ Минстроя РФ № 399/пр от 06.06.2016 «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов»;

– Распоряжение Правительства РФ № 1853-р от 01.09.2016 «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по повышению энергетической эффективности зданий, строений и сооружений»;

– Приказ Минстроя РФ № 1550/пр от 17.11.2017 «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений»;

– Приказ Минстроя РФ № 98/пр от 15.02.2017 «Об утверждении примерных форм перечня мероприятий, проведение которых в большей степени способствует энергосбережению и повышению эффективности использования энергетических ресурсов в многоквартирном доме» и др.

Порядок установления и подтверждения класса энергетической эффективности зданий на этапе ввода в эксплуатацию вновь построенных, реконструированных объектов, а также эксплуатируемых зданий регламентируется Приказом Минстроя РФ № 399/пр. В данном приказе перечислены показатели, характеризующие класс энергетической эффективности многоквартирного дома (МКД), представлена градация классов энергетической эффективности, установлены базовые значения удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и общедомовые нужды, в расчете на 1 м<sup>2</sup> площади помещений, не отнесенных к общему имуществу [3].

Распоряжение Правительства РФ № 1853-р устанавливает ряд целевых показателей в части энергетической эффективности жилищного фонда страны и содержит целевую установку по разработке типовых проектных решений зданий высокой энергетической эффективности (таблица 1).

Таблица 1

Ключевые показатели «дорожной карты» по повышению энергетической эффективности зданий, строений и сооружений в РФ [4]

Показатель	Ед. изм.	Значение базового 2015 г.	Плановый период	
			2020 г.	2025 г.
Уменьшение удельного годового расхода тепловой энергии на 1 м <sup>2</sup> всех площадей МКД	%	100	85	75
Доля МКД наивысшего класса энергетической эффективности в общем числе вводимых в эксплуатацию МКД	%	-	20	30

Минимальные нормативные значения величины расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий для соблюдения требований энергетической эффективности зданий в России установлены Приказом Минстроя РФ № 1550/пр. Данный приказ содержит не только требуемые значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию проектируемых, вновь строящихся и реконструируемых зданий, но и указания по последовательному уменьшению значений этих показателей:

- с 1 июля 2018 г. – на 20 % по сравнению с удельной характеристикой расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, указанной в Приказе;

- с 1 января 2023 г. – на 40 %;

- с 1 января 2028 г. – на 50 % [5].

Решения, направленные на обеспечение энергетической эффективности проектируемого здания, согласно постановлению Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», должны быть разработаны в составе раздела 10 (1) проектной документации, который называется «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов».

Этот раздел помимо текстовой, содержит графическую часть, которая включает принципиальные схемы электро-, тепло- и водоснабжения дома с указанием мест установки приборов учета и регулирования электрической, тепловой энергии и водных ресурсов.

Раздел 10(1) "Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов" должен содержать следующие основные сведения:



а) сведения о потребности (расчетные (проектные) значения нагрузок и расхода) объекта капитального строительства в топливе, тепловой энергии, воде, горячей воде для нужд горячего водоснабжения и электрической энергии, в том числе на производственные нужды, и существующих лимитах их потребления;

б) сведения о показателях энергетической эффективности объекта капитального строительства, в том числе о показателях, характеризующих годовую удельную величину расхода энергетических ресурсов в объекте капитального строительства;

в) сведения о нормируемых показателях удельных годовых расходов энергетических ресурсов и максимально допустимых величинах отклонений от таких нормируемых показателей (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности не распространяются);

г) сведения о классе энергетической эффективности;

д) перечень мероприятий по учету и контролю расходования используемых энергетических ресурсов;

е) описание и обоснование принятых архитектурных, конструктивных, функционально-технологических и инженерно-технических решений, направленных на повышение энергетической эффективности объекта капитального строительства, в том числе в отношении наружных и внутренних систем электроснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха помещений (включая обоснование оптимальности размещения отопительного оборудования, решений в отношении тепловой изоляции теплопроводов, характеристик материалов для изготовления воздуховодов), горячего водоснабжения, оборотного водоснабжения и повторного использования тепла подогретой воды, решений по отделке помещений, решений, обеспечивающих естественное освещение помещений с постоянным пребыванием людей и т.д.

Мероприятия по повышению энергетической эффективности зданий разрабатываются также и в других разделах проектной документации:

– в разделе 4 «Конструктивные и объемно-планировочные решения»;

– в разделе 5 «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений».

Основу нормативно-технической базы энергосбережения РФ занимают государственные отраслевые стандарты (ГОСТ), своды правил (СП), а также правила, стандарты и методики, разрабатываемые саморегулируемыми организациями, и затрагивающие методы энергетического обследования, правила оценки потенциала энергосбережения, оформления энергетического паспорта и др. вопросы.

К действующим отраслевым стандартам и правилам, регулирующим



вопросы энергосбережения и повышения энергетической в РФ, относятся:

- ГОСТ Р 51594-2000 «Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения»;
- ГОСТ Р 53905-2010 «Энергосбережение. Термины и определения»;
- ГОСТ Р 54100-2010 «Нетрадиционные технологии. Возобновляемые источники энергии. Основные положения»;
- ГОСТ Р 54856-2011 «Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с солнечными установками»;
- ГОСТ Р 54862-2011 «Энергоэффективность зданий. Методы определения влияния автоматизации, управления и эксплуатации здания»;
- СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением № 1)»;
- СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»;
- ГОСТ Р ИСО 50001-2012 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению»;
- ГОСТ Р ИСО 23045-2013 «Проектирование систем обеспечения микроклимата здания. Руководящие указания по оценке энергетической эффективности новых зданий»;
- ГОСТ Р 56295-2014 «Энергоэффективность зданий. Методика экономической оценки энергетических систем в зданиях» и др.

С целью эффективного обмена технической информацией, в т.ч. об уровне энергетической эффективности строительного объекта на всех этапах его жизненного цикла целесообразно применять информационные технологии, например, BIM-технологии.

Такой подход к управлению информацией объединяет разнородные наборы сведений, используемых в течение всего жизненного цикла строящегося объекта, в единую информационную среду, уменьшая и зачастую даже исключая необходимость использования многих видов бумажной документации, традиционно используемых в настоящее время.

**BIM-технология (Building Information Modeling – информационное моделирование зданий)** – это информационные технологии, обеспечивающие возможность моделирования строительных объектов, их характеристик:

- архитектурно-технических;
- технологических;
- экономических;
- эксплуатационных и др.,

а также всевозможных их изменений во времени на основе единой информационной среды (модели).

Энергетическое моделирование является частью

информационного моделирование и, соответственно, регулируется следующими нормативными документами:

- СП 301.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами»;
- СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах»;
- СП 404.1325800.2018 «Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализуемых с применением технологии информационного моделирования»;
- ГОСТ Р 10.0.03-2019/ИСО 29481-1:2016 «Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Информационное моделирование в строительстве. Справочник по обмену информацией. Часть 1. Методология и формат»;
- СП 471.1325800.2019 «Информационное моделирование в строительстве. Контроль качества производства строительных работ»;
- СП 328.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели»;
- СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» и др.

Например, СП 331.1325800.2017 описывает базовые требования к созданию и эксплуатации информационных систем, взаимодействующих между собой в течение всего жизненного цикла здания или сооружения. Направлен на повышение обоснованности и качества проектных решений, а также уровни безопасности при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

СП 333.1325800.2020 распространяется исключительно на информационные модели объектов капитального строительства производственного и непромышленного назначения и линейных объектов, размещаемых в государственной информационной системе обеспечения градостроительной деятельности РФ и (или) субъектов РФ.

ГОСТ Р 10.0.03-2019/ИСО 29481-1:2016 содержит методологию составления комплексного справочного документа, описывающего все процессы и данные, необходимые для реализации развития и управления уже построенным объектом. В нем содержится информация о том, как находить и описывать нужные процессы, находить необходимую для их выполнения информацию и как представлять полученные результаты.

**Вопросы для контроля:**

1. Дайте определение терминам «энергосбережение», «энергетические ресурсы», «ресурсосбережение», «энергосберегающие технологии», «BIM-технологии», «энергетическая безопасность».
2. Назовите причины и последствия энергетического кризиса XX в.
3. Перечислите основные положения статьи 11 ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...»
4. Дайте краткую характеристику нормативно-технической базы в области энергосбережения и информационного моделирования РФ.
5. Какие требования предъявляют к энергетической эффективности зданий, строений, сооружений? Как часто эти требования пересматриваются?
6. В каком руководящем документе содержатся минимальные нормативные значения величины расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий в РФ?
7. В каких разделах проектной документации отражаются решения, направленные на обеспечение энергетической эффективности проектируемого здания?
8. Каковы полномочия органов местного самоуправления в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности?
9. В каком руководящем документе прописан порядок установления и подтверждения класса энергетической эффективности зданий на этапе ввода здания в эксплуатацию?
10. На какие виды зданий и сооружений требования энергетической эффективности не распространяются?

## ЛЕКЦИЯ 2 ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ. ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ

### План лекции:

- особенности подходов к оценке энергетической эффективности зданий в России и странах ЕС;
- показатели энергетической эффективности здания;
- энергетическое обследование: состав работ и требования к проведению;
- требования к проектированию тепловой защиты здания;
- требования к установлению классов энергосбережения зданий;
- контроль за соответствием здания требованиям энергетической эффективности на различных этапах его жизненного цикла.

Оценка энергетической эффективности зданий во многих странах мира имеет схожий алгоритм, основанный на определении показателей энергетической эффективности зданий в процессе обследования или расчетного моделирования. По результатам энергосертификации зданию присваивают определенную маркировку (рисунок 3).



Рисунок 3 – Общая схема разработки энергетического паспорта/сертификата здания

Системы энергетических сертификатов и маркировок зданий разных стран основаны на национальной нормативной и законодательной базе, взаимоувязаны с финансовыми механизмами, льготами и субсидиями при строительстве новых, ремонте и реконструкции существующих зданий.

В соответствии с российским и европейским законодательством **оценка энергетической эффективности зданий производится:**

- при проектировании здания – путем расчета показателей энергетической эффективности здания и заполнения энергопаспорта объекта;

– при вводе законченного строительством/капитальным ремонтом или реконструкцией объекта в эксплуатацию – расчетно-аналитическим методом, на основе фактических данных приборов учета энергетических ресурсов;

– на этапе эксплуатации здания – по результатам энергетического обследования строительного объекта [6].

**Энергетическое обследование** – комплексное исследование конкретного здания, в ходе которого определяются:

- фактическое потребление энергии (тепловой и электрической);
- параметры внутреннего климата;
- состояние технических систем и ограждающих конструкций, другие факторы, влияющие на потребление энергии;
- возможности энергетической модернизации.

Порядок проведения энергетических обследований определяется Федеральным законом №261-ФЗ.

Состояние ограждающих конструкций оценивается на основе оценки их теплотехнических характеристик.

**Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции** – это теплотехнический коэффициент, характеризующий уровень теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций [7].

Чем больше сопротивление теплопередаче конструкции, тем выше ее теплоизоляционные свойства, т.е. тем меньший тепловой поток, проходит через эту конструкцию, тем меньше потери тепла через нее.

Сопrotивление теплопередаче обозначается буквой **R**, единица измерения:  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ .

**Тепловая защита здания** – это совокупность теплофизических и теплоэнергетических характеристик элементов здания, обеспечивающие безопасную эксплуатацию здания с позиции теплового режима помещений и способствующие экономному расходованию энергетических ресурсов [7].

К тепловой защите здания относятся теплофизические свойства и характеристики наружных ограждающих конструкций здания, удельная теплозащитная характеристика здания, защита от переувлажнения и воздухопроницаемость ограждающих конструкций.

**Тепловая защита ограждающих конструкций** – это теплофизические свойства и характеристики наружных и внутренних ограждающих конструкций здания. К тепловой защите ограждающих конструкций относятся приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций, свойства теплоустойчивости ограждающих конструкций, теплоусвоения поверхности пола, санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям.

Основные (минимальные) требования к тепловой защите здания на

этапе его проектирования определены в СП 50.13330.2012. В этом нормативном документе установлены требования к:

- приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций здания;
- удельной теплозащитной характеристике здания;
- ограничению минимальной температуры и недопущению конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающих конструкций в холодный период года;
- теплоустойчивости ограждающих конструкций в теплый период года;
- воздухопроницаемости ограждающих конструкций;
- влажностному состоянию ограждающих конструкций;
- теплоусвоению поверхности полов;
- расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий.

Поэлементное требование к тепловой защите зданий: приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше соответствующих этим конструкциям нормируемых значений.

Комплексное требование к тепловой защите зданий: удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения.

**В России к показателям, характеризующим выполнение требований энергетической эффективности, относят:**

- показатель удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление и вентиляцию для всех типов зданий, строений, сооружений;
- показатель удельного годового расхода электрической энергии на общедомовые нужды и показатель удельного годового расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение для многоквартирных домов;
- класс энергетической эффективности зданий (класс энергосбережения).

Таблица 2

Сравнительная характеристика показателей энергетической эффективности зданий

<p>Класс энергосбережения (КЭ) – характеристика энергосбережения здания, представленная интервалом значений удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, % от базового нормируемого значения.</p>	<p>Класс энергетической эффективности (КЭЭ) – это характеристика энергоэффективности здания, представленная интервалом значений удельного годового потребления энергии на отопление, вентиляцию, электроснабжение и ГВС в % от базового нормируемого значения.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Виды энергии, учитываемые в показателе «КЭ»: - энергия на отопление; - энергия на вентиляцию. Требования к нормируемым величинам расходов указаны в СП 50.13330.2012 и Приказе Минстроя № 1550/пр от 17.11.2017 г.	Виды энергии, учитываемые в показателе «КЭЭ»: - энергия на отопление; - энергия на вентиляцию; - электрическая энергия; - энергия на ГВС. Требования к нормируемым величинам расходов указаны в Приказе Минстроя № 399/пр от 6 июня 2016 г.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Классы энергосбережения и классы энергетической эффективности в России осуществляется латинскими буквами по шкале:

- от «G» (самый низкий) до «A++» (высочайший) – для классов энергетической эффективности (таблица 3);

- от «E» (низкий) до A ++ «очень высокий» – для классов энергосбережения (таблица 4)

по аналогии с действующей в Европе маркировкой согласно стандарта EN 15217 «Энергоэффективность зданий. Методы выражения энергетических характеристик зданий и сертификация энергопотребления зданий».

В 2016 году был подписан Приказ Министров, согласно которому каждому дому должен быть присвоен класс энергоэффективности. В документе также уточняется порядок подтверждения этого класса. Запрещено проектировать здания с классами D и E. Категории A, B, C присваивают строящимся объектам и находящимся на стадии реконструкции при разработке проекта. Затем в процессе эксплуатации проводят энергетическое исследование и классы уточняют.

Таблица 3

Градация классов энергосбережения в РФ

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
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	Экономическое стимулирование
B		От -15 до -30 включительно	
C+	Нормальный	От -5 до -15 включительно	Мероприятия не разрабатываются
C		От +5 до -5 включительно	
C-		От +15 до +5 включительно	
При эксплуатации существующих зданий			

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании, или снос

Таблица 4

Градация классов энергетической эффективности эксплуатируемых зданий РФ согласно Приказу Минстроя России № 399/пр

Обозначение класса энергетической эффективности	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения значения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня, %
A++	Высочайший	-60 включительно и менее
A+	Высочайший	от -50 включительно до -60
A	Очень высокий	от -40 включительно до -50
B	Высокий	от -30 включительно до -40
C	Повышенный	от -15 включительно до -30
D	Нормальный	от 0 включительно до -15
E	Пониженный	от +25 включительно до 0
F	Низкий	от +50 включительно до +25
G	Очень низкий	более +50

Класс энергетической эффективности зданий/энергосбережения устанавливается по величине отклонения проектного (расчетного) или фактического значения удельного годового расхода энергетических ресурсов от нормируемого значения.

Формула расчета класса энергосбережения имеет следующий вид:

$$\frac{q^{des} - q^{req}}{q^{req}} * 100$$

где  $q^{des}$  – расчетное (проектное) значение расхода энергетических ресурсов зданием определяется по методике приложения Г СП 50.13330.2012;

$q^{req}$  – нормируемое значение расхода энергетических ресурсов зданием определяется по таблицам 13 и 14 СП 50.13330.2012.

Формула расчета класса энергетической эффективности имеет следующий вид:

$$\frac{q^{fact} - q^{req}}{q^{req}} * 100$$

где  $q^{\text{fact}}$  – фактическое значение расхода энергетических ресурсов зданием определяется инструментальным методом (приборы учета);

$q^{\text{req}}$  – нормируемое значение расхода энергетических ресурсов зданием определяется по табл. № 1 Приказа Минстроя № 399/пр.

В России нормируемое значение потребности в энергетических ресурсах проектируемых зданий определяется по СП 50.13330 в зависимости от типа здания, его местонахождения, отапливаемого объема и этажности. Для эксплуатируемых зданий в качестве нормируемого значения выступает базовый уровень удельного годового расхода энергетических ресурсов, отражающий суммарный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, а также на общедомовые нужды, многоквартирных жилых домов.

При вводе зданий в эксплуатацию класс энергоэффективности присваивается по показаниям приборов учета, причем расчет ведется по ускоренной методике. Поскольку в первые годы эксплуатации новых зданий энергопотребление отличается от энергопотребления при обычной эксплуатации (из-за сушки бетона, частичной заселенности и т.д.), класс энергоэффективности необходимо подтверждать в России – через 5 лет для новых домов, в Европе – через 3 года. Согласно № 261 ФЗ, при высоком классе энергоэффективности здания («В», «А», «А+», «А++») гарантийный срок сохранения показателей энергопотребления составляет не 5, а 10 лет. Для многоквартирных домов ответственность застройщика сохраняется на этот период. До окончания гарантийного срока должно быть проведено подтверждение класса энергетической эффективности здания. Если будут обнаружены значительные отклонения, то собственники могут потребовать от застройщика устранить указанные расхождения.

Результат оценки энергетических характеристик здания оформляется в России в форме многостраничного документа – энергопаспорта, а в странах Европы – энергетического сертификата здания [8, 9].

В России энергопаспорт – это документ, содержащий геометрические, теплотехнические, энергетические характеристики здания и его отдельных элементов, оценку соответствия их требованиям действующего законодательства, а также класс энергосбережения здания.

Энергетический паспорт здания разрабатывается на этапе проектирования объекта в составе раздела 10-1 проектной документации и корректируется по фактическим значениям сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, которые определяются по результатам натурных измерений.

### **Требования к установлению классов энергосбережения**

**зданий:**

❖ проектирование зданий с классом энергосбережения "D, E" не допускается.

❖ классы "A, B, C" устанавливаются для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации. Впоследствии, при эксплуатации класс энергосбережения здания должен быть уточнен в ходе энергетического обследования.

❖ с целью увеличения доли зданий с классами "A, B" субъекты Российской Федерации должны применять меры по экономическому стимулированию, как к участникам строительного процесса, так и к эксплуатирующим организациям.

❖ присвоение зданию класса "B" и "A" производится только при условии включения в проект следующих обязательных энергосберегающих мероприятий:

□ *устройство индивидуальных тепловых пунктов, снижающих затраты энергии на циркуляцию в системах горячего водоснабжения и оснащенных автоматизированными системами управления и учета потребления энергоресурсов, горячей и холодной воды;*

□ *применение энергосберегающих систем освещения общедомовых помещений, оснащенных датчиками движения и освещенности;*

□ *применение устройств компенсации реактивной мощности двигателей лифтового хозяйства, насосного и вентиляционного оборудования.*

**Контроль за соответствием требований в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в строительстве:**

Для соблюдения требований в части энергоэффективности объектов на всех этапах их жизненного цикла разработаны соответствующие механизмы контроля.

Энергоэффективность – показатель, характеризующий рациональное использование зданием ресурсов, прежде всего энергии, за счет снижения их потребления при сохранении того же уровня комфортности и протекающих в здании технологических процессов.

От уровня энергетической эффективности зависит не только стоимость эксплуатации здания и, соответственно, стоимость жизненного цикла объекта, но и уровень его комфортности.

Энергоэффективность зданий достигается за счет реализации на практике мероприятий по энергосбережению.

Стратегическая цель внедрения энергосберегающих технологий и

ужесточения нормативных требований в этой области – переход к созданию строительных объектов, энергетически не зависящих от внешних, централизованных систем энергоснабжения.

И хотя в настоящее время эта цель не достигнута ни одним государством на нашей планете, тем не менее, многими странами проделана большая работа в этом направлении. Ее результатом является создание энергоэффективных, экологичных городских кварталов и целых городов, реализация на практике экспериментальных, пилотных проектов зданий с нулевым энергопотреблением, а также «активных» зданий.

Разработанные в составе **проектной документации** решения в части энергосбережения и повышения энергетической эффективности здания проходят экспертизу: государственную или негосударственную. При этом в качестве контролируемых показателей уровня энергетической эффективности объекта выступает расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и степень его отклонения от нормируемых значений, установленных в зависимости от типа и этажности зданий в СП 50.13330.

Если **заложенные проектом решения** не обеспечивают соблюдение минимально необходимых требований в части энергетической эффективности здания, такая документация получает отрицательное заключение и отправляется на доработку.

**В ходе строительства** контроль за соответствием реализации проектных решений, в том числе направленных на энергосбережение и заложенных в проектной или рабочей документации на вновь строящийся и/или реконструируемый объект, осуществляется в рамках авторского надзора.

Также **в процессе строительства** осуществляется строительный контроль соответствия выполняемых подрядной организацией работ по реализации объекта утвержденной проектной документации и действующим нормам и правилам, в том числе в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Строительный контроль осуществляет структурное подразделение подрядной организации или сторонняя организация, привлеченная для этих целей застройщиком.

**При вводе объектов**, законченных строительством или прошедших капитальный ремонт/реконструкцию, **в эксплуатацию** соответствие их уровня энергетической эффективности действующим в России нормам контролируют органы государственного строительного надзора. При этом в качестве контролируемых показателей уровня энергетической эффективности объекта выступают:

– расчетное значение удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, а также на электроснабжение на общедомовые нужды;



- оснащенность здания приборами учета энергетических ресурсов;
- класс энергетической эффективности здания.

По величине отклонения расчетного и базового значений показателя удельного годового расхода энергетических ресурсов на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, а также на электроснабжение на общедомовые нужды определяется класс энергетической эффективности здания.

Класс энергетической эффективности многоквартирного дома указывается в заключении органа государственного строительного надзора о соответствии построенного, реконструированного или прошедшего капитальный ремонт многоквартирного дома требованиям энергетической эффективности.

В соответствии с ФЗ № 261 **застройщик обеспечивает** выполнение требований расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в здании в течение не менее 5 лет с момента ввода в эксплуатацию. А в многоквартирных домах высокого и очень высокого класса энергосбережения – в течение первых десяти лет эксплуатации. При этом во всех случаях на застройщике лежит обязанность проведения обязательного расчетно-инструментального контроля нормируемых энергетических показателей дома как при вводе дома в эксплуатацию, так и последующего их подтверждения не реже, чем один раз в пять лет.

В Германии, например, стандартом EnEV 2009 также установлен 5-летний гарантийный срок сохранения энергетической эффективности вновь построенного, реконструированного или прошедший капитальный ремонт здания. Однако ответственность за соблюдением предписаний EnEV лежит не только на застройщике, но и на тех лицах, которые в соответствии с договором подряда принимают участие в строительстве, реконструкции здания или установке инженерного оборудования [10]. После завершения строительных работ застройщик, проектировщик и строители-подрядчики должны в письменной форме засвидетельствовать, что вновь построенное или модернизированное здание и установленное в нем инженерное оборудование соответствуют требованиям EnEV. Этот документ застройщик должен хранить в течение пяти лет и предъявить его в случае направления претензии к подрядчику в связи с несоблюдением требований EnEV.

В России **на этапе эксплуатации жилых многоквартирных зданий**, в соответствии с ч. 3 ст. 12 ФЗ № 261, класс энергетической эффективности многоквартирного дома устанавливается и подтверждается органом государственного жилищного надзора на основании декларации о фактических значениях годовых удельных величин расхода энергетических ресурсов. Декларация предоставляется собственниками помещений многоквартирного дома или лицом, осуществляющим его управление. По результатам проверки сведений



органом государственного жилищного надзора выдается акт проверки соответствия многоквартирного дома требованиям энергетической эффективности с указанием класса его энергетической эффективности на момент составления акта.

### **Вопросы для контроля:**

1. Дайте определение терминам «класс энергосбережения», «класс энергетической эффективности», «тепловая защита здания», «сопротивление теплопередаче», «энергетическая декларация», «энергетическое обследование».

2. Объясните, в чем заключается тепловая защита зданий и требования к ее проектированию.

3. В чем заключается поэлементное и комплексное требование к тепловой защите здания?

4. Перечислите работы, входящие в состав энергетического обследования здания.

5. Объясните различия в показателях «класс энергосбережения» и «класс энергетической эффективности» здания.

6. Перечислите требования к установлению классов энергосбережения зданий.

7. Дайте характеристику методов оценки энергетической эффективности зданий в России и за рубежом.

8. Опишите порядок контроля за соответствием требований в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий на всех этапах их жизненного цикла.

## ЛЕКЦИЯ 3 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ЗДАНИЙ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

### План лекции:

- энергетический баланс здания: понятие и его структура;
- источники тепловых потерь в зданиях, способы их устранения;
- бытовые теплопоступления, порядок расчета;
- порядок расчета теплопоступлений в здание от солнечной радиации;
- факторы, влияющие на уровень энергетической эффективности здания.

Энергетический баланс здания согласно ГОСТ Р 55656-2013 включает в себя несколько составляющих: тепловой баланс, баланс потребления электроэнергии, балансы для отдельных зон здания, для здания в целом, энергетический баланс отдельных систем и т.д.

Энергетические потребности здания для отопления и охлаждения рассчитываются исходя из потоков теплоты за счет теплопередачи через наружные ограждения, границу между зонами здания, теплопоступлений от внутренних источников и солнечной радиации, а также с учетом потребности в теплоте и/или холоде на обработку приточного воздуха, подачу теплоносителей.

**Энергетический баланс здания** – это структура и величина энергопоступлений от различных источников и фактических энергозатрат, как в целом по зданию, так и в отдельных его помещениях.

Источники теплопоступлений в здании:

- отопительные приборы;
- бытовые теплопоступления (от людей, приборов и оборудования);
- теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции [11].

Теплопритоки от людей делятся на явные, скрытые и полные.

Удельные теплопоступления от человека принимают из пособия 2.91 к СНиП 2.04.05\*91 по таблице со значениями теплопритоков от взрослого человека при нужной нам температуре в помещении. Теплопоступления от людей сопровождающиеся: отдыхом – 120 Вт, легкой сидячей работой – 130 Вт, работой в офисе – 150 Вт, легкой работой стоя – 160 Вт, легкой работой на производстве – 240 Вт, медленным танцем – 260 Вт, работой средней тяжести – 290 Вт, тяжелой работой – 440 Вт. Для разных видов работ — разные удельные теплопритоки. Для расчета теплопоступлений необходимо значение тепловыделений подставить в формулу:

$$Q = q \times n,$$

где  $q$  – удельные теплопоступления, Вт/чел.

$n$  — количество людей, чел.

Теплопритоки от оборудования и электродвигателей напрямую зависят от их мощности и определяются из выражения:

$$Q = N \times (1 - \text{КПД} \times k_3),$$

или

$$Q = 1000 \times N \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_T,$$

где  $N$  — мощность оборудования, кВт;

$k_1, k_2, k_3$  — коэффициенты загруженности (0,9 — 0,4), спроса (0,9 — 0,7) и одновременности работы (1 — 0,3);

$k_T$  — коэффициент перехода тепла в помещение (0,1 — 0,95).

Коэффициенты не одинаковы для разного оборудования и берутся из разных справочников. На практике же все коэффициенты и КПД приборов — указываются в техническом задании. В промышленной вентиляции от оборудования может быть больше теплопритоков чем от всего остального.

Согласно методике, изложенной в СП 50.13330.2012, бытовые тепловыделения ( $q_{\text{быт}}$ , Вт/м<sup>2</sup>), для жилых зданий принимаются равными исходя их расчетной заселенности квартир:

-  $q_{\text{быт}} = 17$  Вт/м<sup>2</sup>, если на 1 человека приходится более 20 м<sup>2</sup> общей площади;

-  $q_{\text{быт}} = 10$  Вт/м<sup>2</sup>, если расчетная заселенностью квартир 45 м<sup>2</sup> и более на человека;

- для других жилых зданий — в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины между 17 и 10 Вт/м<sup>2</sup>.

Согласно п. Г.5. СП 50.13330 для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчетному числу людей (90 Вт/чел.), находящихся в здании, освещения (по установочной мощности) и оргтехники (10 Вт/м<sup>2</sup>) с учетом рабочих часов в неделю.

Более сложным является определение теплоступлений от солнечной радиации. Теплопритоки на инсоляцию разделяются на приток тепла через окна и через ограждающие конструкции. Для их нахождения необходимо знать ориентацию здания за сторонами света, размер окна, конструкцию ограждающих элементов. Расчет теплоступлений через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода ( $Q_{\text{рад}}^{\text{гор}}$ ) рассчитываются согласно разделу 10 СП 345.1325800.2017 по формуле:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{оп}} = \sum_j \left[ I_j^{\text{вер}} \cdot \sum_{l=1}^L g_{jl} \cdot \tau_{2jl} \cdot A_{jl} \right] + I^{\text{гор}} \cdot \sum_{y=1}^Y g_{\text{фон}} + \tau_{2\text{фон}} \cdot A_{\text{фон}},$$

где  $I_j^{\text{вер}}$  — суммарная радиация за отопительный период для вертикальной поверхности, ориентированной по направлению  $j$ , МДж/год·м<sup>2</sup>, принимается по климатологическим справочным данным;  $I_j^{\text{гор}}$  —

суммарная радиация за отопительный период для горизонтальной поверхности,  $\text{МДж/год}\times\text{м}^2$ , принимается по климатологическим справочным данным;

$A_{jl}, A_{фон}$  – площадь окон, ориентированных по направлению  $j$ , и зенитных фонарей, соответственно,  $\text{м}^2$ ;

$g_{jl}, g_{фон}$  – коэффициенты общего пропускания солнечной энергии для окон ( $l$ - индекс окна), ориентированных по направлению  $j$ , и зенитных фонарей, соответственно, определяемые как сумма коэффициента прямого пропускания солнечной энергии и коэффициента вторичной теплопередачи внутрь помещения;

$T_{jl}, T_{фон}$  – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема окон и зенитных фонарей, непрозрачными элементами заполнения.

Средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности определяется по СП 131.13330.

Перейдем к рассмотрению источников тепловых потерь в зданиях.

Тепловые потери происходят преимущественно:

- ❖ **в виде дисперсии тепла наружными ограждениями**, возникающей и усиливающейся при нарастании разницы температур внутреннего и наружного воздуха)
- ❖ **в результате усиленной инфильтрации наружного (и эксфильтрации внутреннего) воздуха под давлением ветра и вследствие возникновения в застройке различных аэродинамических эффектов**, возникающих, как показывают практика, при высоте застройки более 15 м);
- ❖ в инженерных системах здания в силу их неэффективности.

Потребность здания в тепловой энергии для отопления и охлаждения удовлетворяются за счет работы систем отопления и охлаждения. На уровне системы энергетический баланс для систем отопления и охлаждения, включает в себя:

- потребность в теплоте и (или) холоде зоны здания для отопления и охлаждения;
- подачу теплоты от источника теплоснабжения (теплообменник, котел, непосредственно теплосеть и т.д.) в систему водяного отопления;
- подачу теплоты на воздухонагреватели первого и второго подогрева систем вентиляции и воздушного отопления;
- утилизацию теплоты вытяжного воздуха, сточных вод и других возобновляемых энергетических источников;
- электрическую энергию, подаваемую на приводы электродвигателей вентиляторов систем вентиляции, воздушного отопления, в том числе для

фанкойлов, внутренних и внешних блоков сплит-систем;

- электрическую или другую энергию, подаваемую на привод в действие холодильной машины;
- электрическую энергию, подводимую для работы автоматики систем отопления, охлаждения, вентиляции.

### **Факторы, влияющие на уровень энергетической эффективности здания**

Одним из основных требований, предъявляемых к зданиям, как уже было отмечено выше, выступает уровень энергетической эффективности здания. Высокая энергоемкость зданий в мире (для России и Финляндии этот показатель составляет порядка 30 %, для Швеции – 22, а в среднем по Европе – 40) является причиной, по которой многие государства признают задачу повышения уровня энергетической эффективности жилья в качестве приоритетной на пути своего развития.

Российские здания, построенные после введения в действие ФЗ 261, удовлетворяют современным нормативам по энергосбережению и теплозащите. Самыми неэффективными в части потребления ресурсов выступают здания советского периода ранних массовых серий, а также здания ветхого и аварийного фонда. Стремление к экономии средств на возведение зданий в период массового советского строительства привело к тому, что ограждающие конструкции домов имеют низкое сопротивление теплопередаче, вследствие чего до 50 % тепловой энергии уходит в виде потерь.

Высокая энергоемкость жилищного фонда российских городов обусловлена следующими факторами:

- большая продолжительность отопительного периода во многих российских городах;
- высокая доля ветхих, аварийных и устаревших зданий, расходы тепла на отопление которых существенно превышают действующие нормативы;
- значительные потери энергии при ее транспортировке из-за изношенности инженерных сетей и оборудования;
- пренебрежительное отношение к экономии и бережливости со стороны большинства российских граждан;
- низкая профессиональная подготовка специалистов в области энергосбережения и эффективного использования энергетических ресурсов.

На уровень потребляемых зданием ресурсов оказывают влияние большое число факторов:

- местоположение и географическая ориентация здания;
- размеры здания, зонирование помещений;
- конструктивные решения;
- эффективность инженерных систем здания;
- косвенные факторы.

Географическая ориентация здания влияет на возможность

применения солнечной энергии, энергии подземных источников (воды) и ветра. Местоположение здания в системе существующей застройки влияет на наличие затенения, аэродинамику застройки, наличие сквозных ветрообразующих пространств.

Кроме того, местоположение здания характеризуется определенным набором метеорологических характеристик, также влияющих на уровень энергетической эффективности строительного объекта: скорость и направление ветра, интенсивность солнечной радиации, продолжительность отопительного периода, температура наружного воздуха в летний и зимний периоды и т.д.

В настоящее время разработано и применяется множество архитектурных, конструктивных, инженерных решений, позволяющих снижать уровень потребности в энергии для зданий. Каждое из направлений совершенствования зданий в области энергосбережения имеет ряд мероприятий, направленных на экономию топливно-энергетических ресурсов.

Учитывая практику проектирования и эксплуатации зданий, можно выделить пять основных направлений экономии энергии: совершенствование архитектурных и объемно-планировочных решений зданий и их помещений; разработка новых типов ограждающих конструкций, обладающих повышенными теплозащитными показателями; повышение эффективности работы систем инженерного оборудования; оптимальное использование естественного и искусственного освещения [12-14].

Проектирование зданий и сооружений должно осуществляться с учетом требований к ограждающим конструкциям в целях обеспечения:

- заданных параметров микроклимата, необходимых для жизнедеятельности людей и работы технологического или бытового оборудования;
- тепловой защиты;
- защиты от переувлажнения ограждающих конструкций;
- эффективности расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию;
- необходимой надежности и долговечности конструкций.

С позиции энергосбережения в застройке могут быть использованы следующие градостроительные решения:

- рациональное взаимное размещение энергоисточников и энергопотребителей (электричество, тепло, газ), уменьшающие расходы на транспортировку и снижающие материальные затраты на сооружение сетей; рациональная прокладка инженерных коммуникаций, обеспечивающая наряду с высокоэффективной теплоизоляцией снижение теплотерь за счет сокращения протяженности коммуникаций. Применение наряду с централизованными системами инженерного оборуду-



дования децентрализованных (локальных) систем.

- внедрение энергоэффективных приемов планировки и застройки городов, жилых и общественных комплексов;
- совершенствование структуры застройки по этажности, протяженности и конфигурации жилых домов и их расположению относительно друг друга с учетом климатических особенностей региона и города;
- энергоэффективное зонирование территории застройки;
- ликвидация сквозных ветрообразующих пространств и организация замкнутых дворовых и внутриквартальных территорий; например, использование специальных ветроломных щитов в виде лесонасаждений дает возможность снизить скорость ветра на 40 – 60 %. Уменьшение скорости ветра в зоне застройки планировочными средствами в 2 раза позволяет сократить в 2 – 3 раза долю потерь тепла зданиями за счет снижения инфильтрации.

Любые градостроительные мероприятия оказывают воздействие на изменение первоначального мезо- и микроклимата на строительном участке. В частности, температура воздуха в городской застройке обычно на 2 – 3 °С выше, чем за ее пределами. Исходя из этого, создание необходимых климатических параметров в застройке должно быть целенаправленным. Главная роль в этом принадлежит архитектору, который должен знать факторы, влияющие на формирование микроклимата, и уметь изменять это влияние в зависимости от поставленных задач. На формирование микроклимата территории влияют, прежде всего, градостроительные решения в сочетании с такими климатическими характеристиками, как направление доминирующего ветра, косые осадки, продолжительность инсоляции, характер затенения солнечной радиации рядом расположенными зданиями, топография и ландшафт городской застройки.

Совершенствование архитектурных и объемно-планировочных решений зданий и их помещений может заключаться в уплотнении застройки жилых районов и микрорайонов; увеличении протяженности и ширины корпуса здания (увеличение протяженности дома с 4 до 10 секций влечет снижение удельного расхода теплоты на отопление до 5...7 %, а увеличение ширины корпуса с 12 до 15 м - на 9... 10 % ); оптимизации этажности (повышение этажности здания с 5 до 9 этажей дает 3...5 % экономии теплоты); относительном уменьшении периметра здания (уменьшение удельного периметра (отношение периметра наружных стен к общей площади типового этажа) наружных стен на каждые 0,01 м приводит к уменьшению расхода тепла на 1,25...2 %); рациональной аэродинамике застройки (уменьшением скорости ветра в зоне застройки можно сократить в 2...3 раза инфильтрационные теплотери зданиями); оптимальном расположении помещений различного назначения в

зависимости от ориентации фасадов.

**Выбор энергоэффективной формы здания.** Архитектурная форма и ограждающие конструкции здания рассматриваются как элементы формирования в нем микроклимата и выполняют функцию регулирования энергетических потребностей здания.

1. При разработке объемно-планировочного решения важно найти оптимальную форму здания, обеспечивающую минимальные теплотери через его наружную оболочку. Обеспечивать сокращение площади наружных ограждений относительно внутреннего объема здания, т.е. повышением его пространственной и объемной компактности.

*Минимальные соотношения площади поверхности к внутреннему объему имеют шар, цилиндр и куб – именно эти формы обеспечат предельное снижение дисперсии тепла зданием;*

В энергоэкономичном здании форма должна способствовать изолированию внутреннего пространства от неблагоприятного влияния климата. Фасады таких зданий не должны быть изрезаны, не желательны встроенные заглубленные лоджии и эркеры.

На стадии проектирования можно предвидеть расход энергии на отопление здания в зависимости и от его конфигурации в плане. Энергетическая оптимальность плана оценивается значением отношения периметра здания  $P$  к площади его пола  $S$ , что при одинаковой высоте помещений здания соответствует отношению площади поверхности к объему.

Для контроля оптимального выбора соотношений размеров здания введены такие показатели, как коэффициент компактности и остекленности здания. Показатель компактности здания – это отношение общей площади внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций здания к заключенному в них отапливаемому объему.

Уменьшение на каждые 0,01 м отношения периметра наружных ограждающих стен к общей площади этажа снижает тепловые расходы до 2 %, а изменение ширины корпуса здания с 12 до 15 м – на 9–10 % [13, 14].

Коэффициент остекленности фасада здания – отношение площадей светопроемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопроемы [11].

2. Важным методом повышения энергоэффективности здания при проектировании является изменение его формы путем формирования одного объекта из нескольких блоков. Блокирование позволяет добиться уменьшения теплопотребления зданием вследствие снижения площади наружных ограждающих конструкций до 50 %, материалоемкости строительства — на 8 – 10 %, площади застраиваемой территории — на 30 – 40 %, сокращения длины коммуникаций, подъездных путей и т.д.

Относительно такого фактора, как размеры здания, научно доказано, что изменение количества секций здания с 4 до 10 уменьшает расход тепловой энергии на отопление 1 м<sup>2</sup> здания до 5–7 %, а увеличение количества этажей в здании с 5 до 9 – на 5 % [12, 13].

В практике проектирования блокирование зданий возможно, как по горизонтали, так и по вертикали. Формирование более сложных зданий из простых объектов приводит к снижению площади наружных ограждений  $S_{нп}$  и уменьшению расхода энергии на их эксплуатацию. Однако из этого правила имеются исключения. При существенном росте этажности здания начинает проявляться эффект "дымовой трубы". Этот эффект заключается в том, что с увеличением высоты сооружения все больше растет расход энергии на нагревание инфильтрирующего воздуха и воздуха в системе вентиляции.

*Строительство блокированных домов вместо отдельно стоящих увеличивает теплоэффективность зданий на 5-7 %, например, увеличение ширины корпуса здания с 12 до 18 метров дает.*

3. Оптимизация площади светопроемов, объективно обладающих высокой теплопроводностью и потому являющихся основным источником теплопотерь в зданиях.

4. Тепловое зонирование отапливаемого объема здания и устройство вокруг него так называемых буферных пространств - неотапливаемых помещений с промежуточной (относительно внутренней и внешней среды) температурой.

*Известно, что скорость теплопередачи, а, следовательно, и масштабы теплопотерь, определяются амплитудой температур контактирующих сред: скорость тем выше, чем больше эта амплитуда.*

*Таким образом, тепловое зонирование, предполагающее формирование теплового ядра здания из помещений с максимальными расчетными температурами и теплоемкими конструкциями, и буферные пространства, формирующие двойную оболочку отапливаемого объема создают эффект "энергетического каскада" многоступенчатой теплопередачи от внутренней среды к внешней: сокращение амплитуды температур контактирующих сред позволяет заметно снизить теплопотери.*

*Также буферные пространства защищают ограждения от ветровых воздействий, исключая нежелательную "напорную" инфильтрацию наружного воздуха и переувлажнения, влекущего, как правило, резкое ухудшение теплотехнических качеств ограждений и их ускоренное разрушение.*

5. Рассеивание воздушных потоков – использование соответствующих пространственных и объемных форм ландшафта (в т.ч. зданий).

*Известно, что кроме собственно скорости воздушного потока сила ветрового напора определяется углом падения потока на поверхность; поэтому наименьшее ветровое давление испытывают обтекаемые (аэродинамичные) - сферические, цилиндрические и др. криволинейные, а также коноидальные и пирамидальные ("эффект пирамиды") объемные формы.*

6. Снижение скорости движения и турбулентности воздушных потоков вблизи зданий (их ограждающих конструкций) – например, использованием форм растительности в качестве естественных ветрозащитных барьеров.

Реализация мероприятий по снижению скорости ветра на территории застройки уменьшает потери тепла зданием за счет инфильтрации в 2–3 раза (ежегодная экономия составляет порядка 0,1 кг условного топлива на 1 м<sup>2</sup> общей площади здания).

*Растительные формы различной плотности и высоты способны весьма значительно сокращать скорость ветрового потока, обеспечивая при этом зоны «ветрового затишья». Суммарное снижение теплотерь благодаря разумному использованию растительных форм ландшафта может достигать 40 %.*

**Конструктивные решения** здания определяют выбор типа ограждающих конструкций и используемых строительных материалов, характеризующихся различным коэффициентом теплопроводности, воздухопроницаемостью и соответственно по-разному влияющих на сопротивление теплопередаче здания. Совокупность ограждающих конструкций образует теплозащитную оболочку здания, замкнутый контур, ограничивающий отапливаемый объем здания. Применение в здании эффективных ограждающих конструкций с повышенными теплозащитными характеристиками обеспечивает снижение потерь тепла до 25 %.

Снижение тепловых потерь в зданиях может быть достигнуто за счет повышения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций за счет применения современных материалов, конструкций, инженерных систем и ликвидации мостиков холода.

Мостик холода (температурный мост) – участок ограждающей конструкции, который обладает сниженным термическим сопротивлением. Это может быть стык между частями конструкции или конструктивный элемент, состоящий из материалов с более высокой теплопроводностью.

Такие участки охлаждаются сильнее по сравнению с другими частями ограждения, поэтому их и называют мостиками холода. Температурные мосты могут быть материальными или геометрическими.

Геометрические мостики холода возникают в тех местах, где внутренняя теплопоглощающая поверхность меньше внешней

экзотермической поверхности. Они встречаются в изгибах поверхности здания: на углах, балконах, навесах и эркерах.

Материальные мостики холода проявляются при использовании низко- и высокотеплопроводных материалов. Их можно обнаружить с помощью тепловизора.

Примеры мостиков холода:

- бетонные элементы в кирпичной или блочной кладке;
- стойки в каркасных домах;
- оконные и дверные перемычки
- элементы крепления теплоизоляции (дюбели);
- между балконной плитой и плитой перекрытия.

Рассмотренные методы и технологии повышения уровня энергетической эффективности зданий являются наиболее распространёнными на практике и оптимальными с точки зрения соотношения затрат на их реализацию и получаемого эффекта.

Исследования показывают необходимость комплексного подхода к созданию энергоэффективных объектов, путем сочетания в зданиях оптимальных градостроительных, объемно-планировочных, инженерных, конструктивных решений, а также новых систем и материалов.

### **Вопросы для контроля:**

1. Дайте определение энергетическому балансу здания, опишите его структуру.
2. Объясните причины высокой энергоемкости зданий в РФ.
3. Перечислите проблемы в области энергосбережения в жилищной сфере РФ.
4. Какие факторы влияют на уровень энергетической эффективности зданий?
5. Как можно повысить уровень энергетической эффективности здания за счет его ориентации по сторонам света?
6. Как можно снизить тепловые потери в здании за счет ландшафта?
7. Какие конструктивные и инженерные решения способствуют повышению энергетической эффективности здания?
8. Приведите примеры архитектурных и объемно-планировочных решений, обеспечивающих повышение энергетической эффективности здания.
9. Объясните термин «коэффициент компактности здания» и его влияние на уровень энергетической эффективности здания.
10. Как мостики холода и буферные пространства влияют на объем энергии, потребляемой зданием?
11. Перечислите методы и технологии повышения энергетической эффективности зданий на этапе проектирования.
12. Перечислите методы и технологии повышения энергетической эффективности зданий на этапе эксплуатации.



## ЛЕКЦИЯ 4 ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИЙ PASSIVE HOUSE, ACTIVE HOUSE, ZERO HOUSE EMISSIONS

### План лекции:

- особенности проектирования пассивных зданий;
- технические требования к современным типам зданий: мультикомфортное здание, активное здание и здание с нулевыми выбросами парниковых газов;
- «зеленые» стандарты в строительстве и «зеленые здания»;
- взаимосвязь энергосбережения и «зеленых» стандартов;
- преимущества «зеленого» строительства.

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. 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.

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.



Развитие научно-исследовательской базы в области энергосбережения в западных странах позволило разработать концепции энергоэффективных, экологических типов зданий, максимально независимых от внешних источников энергии и стремящихся к гармонии с окружающей средой. Примерами таких зданий являются успешно реализуемые на практике уже длительное время технологии пассивного, мультикомфортного, умного, активного дома, а также «зеленых» зданий и зданий с нулевыми выбросами парниковых газов (рис.4).

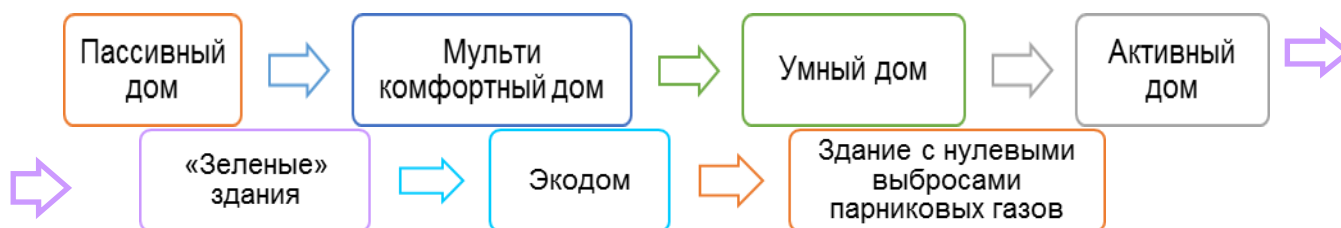


Рисунок 4 – Эволюция развития концепций энергоэффективных, экологических зданий

**Пассивный дом** – это здание с расходом тепловой энергии на отопление менее  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год, для которого не требуются регулярные системы отопления и кондиционирования. Общий объем потребляемой зданием энергии составляет  $80\text{--}100 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год [15]. Разработку и совершенствование требований к проектированию и строительству пассивных домов, а также проверку соответствия им строительных объектов осуществляет Институт пассивного дома в г. Дармштадте Германии.

Современные строительные нормы в европейских странах устанавливают потребление энергии на уровне  $80\text{--}100 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  год. У нового поколения домов, которые проектируются и строятся в соответствии с концепцией passive house (пассивный дом), уровень энергопотребления может быть снижен до  $15\text{--}30 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  год в зависимости от региона строительства.

Определяющим фактором, позволяющим обеспечивать такой норматив, является применение эффективной тепловой изоляции в строительных конструкциях.

Рассмотрим принципы проектирования и строительства пассивных зданий [15]:

1. Ландшафтно-планировочная организация территории строительства (функциональное зонирование территории, оптимальное размещение зеленых насаждений, обеспечивающих ветрозащиту и затененность фасадов здания).

2. Применение оптимальных объемно-планировочных решений:

- обеспечение компактности здания (минимальное отношение площади ограждающих конструкций к отапливаемому объему);

- по возможности отсутствие эркеров, балконов и других выступающих элементов здания, максимальное приближение его формы к полушару;

- разделение пространства внутри здания на буферные (нежилые) и жилые зоны;

- устройство наружных архитектурных солнцезащитных элементов в здании (крупноразмерных козырьков, специальных экранов, профильных фасадных систем и др.);

- оптимальная ориентация по сторонам света светопрозрачных конструкций (для зданий Северного полушария рациональным является размещение с южной стороны до 70–80 % окон, с восточной стороны – 20–30 %, с западной – до 10 % и полное их отсутствие с северной).

### 3. Аккумулирующие принципы:

- устройство теплоаккумулирующих элементов внутри помещений (например, массивные стены из материалов высокой плотности) и тромб-стен для сохранения тепловой энергии и снижения температурных колебаний.

### 4. Изоляционные принципы:

- снижение тепловых потерь через внешнюю оболочку здания: фундамент, стены, перекрытия, крышу за счет применения теплоизоляционных материалов необходимой толщины с ультранизким коэффициентом теплопроводности и качественного выполнения работ по изоляции;

- применение высококачественных многокамерных стеклопакетов с высоким коэффициентом сопротивления теплопередаче;

- устранение мостиков холода в местах стыка конструкций;

- снижение потерь тепла в системе вентиляции.

### 5. Принцип автономности (применение альтернативных источников энергии):

- устройство системы грунтовых теплообменников для нагрева и охлаждения воздуха, воды;

- применение тепловых, солнечных коллекторов для нагрева воды;

- установка фотоэлектрических панелей для выработки эл. энергии.

Описанные принципы проектирования и строительства пассивных зданий в большинстве своем не требуют значительных дополнительных затрат на реализацию, обеспечивая при этом высокий уровень энергосбережения в зданиях, легли в основу многих других технологий энергоэффективных зданий.

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/(м<sup>2</sup> 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.

Частным случаем концепции пассивного дома является

**мультикомфортный дом** – технология создания энергоэффективного, экологичного дома повышенной комфортности и безопасной внутренней среды за счет реализации принципов пассивного дома и применения материалов группы «ISOVER». Технология мультикомфортного дома «ISOVER» разработана группой «Сен-Гобен» и Институтом «пассивного» дома. Потребление энергии на отопление в таком доме составляет менее  $15 \text{ кВтч/м}^2$  в год. Объем выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу не превышает  $2 \text{ кг/м}^2$  в год [16]. Требуемая мощность системы отопления  $10 \text{ Вт/м}^2$ .

**«Умный дом»** – система автоматического управления инженерными системами здания на основе применения инновационных технологий и информационных систем. «Умный дом» интегрирует в единую систему управления все инженерные системы здания: водоснабжение и водоподготовка, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, освещение, электроснабжение, управление процессами дома, связь и телевидение, безопасность, видеонаблюдение, домофония, компьютерная связь, wi-fi, мультирум, обеспечивает надежное, экономичное и согласованное их функционирование, а также комфорт, безопасность и ресурсосбережение для пользователей.

Основные положения современных концепций энергоэффективных зданий приведены в таблице 5.

Таблица 5

Сравнительный анализ концепций экологических типов зданий

Пассивный дом	Мультикомфортный дом	Активный дом	Экодом
Форма и ориентация здания по сторонам света снижают потери тепла зданием, обеспечивают максимальное поступление энергии от солнца	Форма и ориентация здания по сторонам света снижают потери тепла зданием, обеспечивают максимальное поступление энергии от солнца	Форма и ориентация здания по сторонам света снижают потери тепла зданием, обеспечивают максимальное поступление энергии от солнца	Форма и ориентация здания по сторонам света снижают потери тепла зданием, обеспечивают максимальное поступление энергии от солнца
Герметичность оболочки здания подтверждена тестом Blower Door test	Применение альтернативных источников в энергоснабжении здания	Автономность здания от внешних источников энергии за счет применения возобновляемых и альтернативных источников энергии	Автономность здания от внешних источников энергии за счет применения возобновляемых и альтернативных источников энергии
Снижение тепловых потерь здания за счет тщательной теплоизоляции его ограждающих конструкций, применения многокамерных стеклопакетов, герметизации стыков, рекуперации тепла в системе вентиляции	Снижение тепловых потерь здания за счет тщательной теплоизоляции его ограждающих конструкций, применения многокамерных стеклопакетов, герметизации стыков, рекуперации тепла в системе вентиляции	Снижение тепловых потерь здания за счет тщательной теплоизоляции его ограждающих конструкций, применения многокамерных стеклопакетов, герметизации стыков, рекуперации тепла в системе вентиляции	Снижение тепловых потерь здания за счет тщательной теплоизоляции его ограждающих конструкций, применения многокамерных стеклопакетов, герметизации стыков, рекуперации тепла в системе вентиляции

Пассивный дом	Мультикомфортный дом	Активный дом	Экодом
Форма и ориентация здания по сторонам света снижают потери тепла зданием, обеспечивают максимальное поступление энергии от солнца	Форма и ориентация здания по сторонам света снижают потери тепла зданием, обеспечивают максимальное поступление энергии от солнца	Форма и ориентация здания по сторонам света снижают потери тепла зданием, обеспечивают максимальное поступление энергии от солнца	Форма и ориентация здания по сторонам света снижают потери тепла зданием, обеспечивают максимальное поступление энергии от солнца
Герметичность оболочки здания подтверждена тестом Blower Door test	Применение альтернативных источников в энергоснабжении здания	Автономность здания от внешних источников энергии за счет применения возобновляемых и альтернативных источников энергии	Автономность здания от внешних источников энергии за счет применения возобновляемых и альтернативных источников энергии
Снижение тепловых потерь здания за счет тщательной теплоизоляции его ограждающих конструкций, применения многокамерных стеклопакетов, герметизации стыков, рекуперации тепла в системе вентиляции	Снижение тепловых потерь здания за счет тщательной теплоизоляции его ограждающих конструкций, применения многокамерных стеклопакетов, герметизации стыков, рекуперации тепла в системе вентиляции	Снижение тепловых потерь здания за счет тщательной теплоизоляции его ограждающих конструкций, применения многокамерных стеклопакетов, герметизации стыков, рекуперации тепла в системе вентиляции	Снижение тепловых потерь здания за счет тщательной теплоизоляции его ограждающих конструкций, применения многокамерных стеклопакетов, герметизации стыков, рекуперации тепла в системе вентиляции
Применение альтернативных источников в энергоснабжении здания	Повышенные требования к звукоизоляции, качеству внутреннего воздуха	Установка системы Smart-house «Умный дом» для автоматизации процессов управления инженерными системами здания	Применение экологически чистых местных строительных материалов, малозатратных по способу производства с возможной их будущей утилизацией естественным образом на месте
Максимальная требуемая мощность системы отопления должна быть $\leq 10 \text{ Вт/м}^2$	Использование экологически безопасных строительных материалов, имеющих экологическую декларацию (EPD) и экомаркировку Eco-Material Absolute, изоляции ISOVER		
Удельный расход тепловой энергии на отопление $\leq 15 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ в год	Максимальная требуемая мощность системы отопления $\leq 10 \text{ Вт/м}^2$		Применение методов пермакультуры и биоинтенсивных технологий для переработки и утилизации органических отходов, повышения плодородия почвы на участке экодома
Общий показатель потребления первичной энергии (отопление, эл. энергия, горячее водоснабжение) $\leq 120 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ в год	Удельный расход тепловой энергии на отопление $\leq 15 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ в год		
	Выбросы углекислого газа в атмосферу не превышают $2 \text{ кг/м}^2$ в год		Доступность по цене большей части населения

**Активный дом (дом плюс энергия)** – это здание с положительным энергобалансом, вырабатывающее энергию от альтернативных и возобновляемых источников в количестве, превышающем собственное потребление [17]. Излишки энергии могут быть направлены в общегородскую сеть другим потребителям.



Концепция активного дома объединяет в себе решения, разработанные институтом Пассивного дома и предусмотренные системой «Умный дом».

**Экодом** – это малоэтажное здание с низким уровнем энергопотребления, самостоятельно вырабатывающее энергию для своих нужд, и имеющее приусадебный участок, предназначенный для биологической переработки и утилизации органических отходов, а также выращивания сельскохозяйственной продукции с помощью биоинтенсивных методов и пермакультуры.

Требования, предъявляемые к экодому:

- экодом должен обеспечивать себя теплом, горячей водой и электричеством главным образом за счет возобновляемых источников энергии;

- для строительства экодома должны применяться строительные материалы преимущественно местного производства, мало затратные по способу производства, утилизации, а также строительные конструкции, позволяющие отказаться от тяжелой техники на строительной площадке;

- применение методов пермакультуры и биоинтенсивных технологий для переработки и утилизации органических отходов, повышения плодородия почвы на участке экодома и удлинения вегетационного периода.

К числу современных концепций зданий можно также отнести **здания с нулевыми выбросами парниковых газов – Zero carbon building (ZCB)** или Zero emissions building (ZEB). В соответствии с этим определением выбросы углерода, возникающие при использовании ископаемого топлива в здании, уравниваются объемом производства им возобновляемой энергии [18]. Иногда в понятие Zero emissions building включают не только выбросы углерода, создаваемые зданием, но также и выбросы, возникающие при его строительстве и производстве строительных материалов, конструкций. В ноябре 2011 г. Международный институт жизнеспособного будущего (The International Living Future Institute) разработал систему сертификации зданий с нулевыми выбросами парниковых газов.

**«Зеленое» здание** – объект, прошедший сертификацию в системе «зеленых» стандартов в строительстве.

The World Green Building Council дает следующее определение «зеленого» здания – это здание, которое по своему дизайну, конструкции или в процессе его эксплуатации уменьшает или устраняет негативные воздействия на окружающую среду и может оказывать положительное влияние на климат.

**«Зеленые» стандарты** – правила, принципы проектирования и строительства объектов с минимальным уровнем потребления энергетических и материальных ресурсов и негативного воздействия на



окружающую среду в течение их жизненного цикла. «Зеленые» стандарты определяют критерии экологичных зданий и формируют условия их создания, эксплуатации и ликвидации. Эти критерии охватывают широкий спектр проблем, связанных с созданием безопасной и комфортной среды обитания человека, включая:

- уменьшение объемов потребляемых зданием ресурсов (энергии и воды) на протяжении его жизненного цикла;
- создание оптимальных параметров микроклимата внутри помещений;
- внедрение в работу инженерных систем здания возобновляемых источников энергии;
- очистку сточных вод;
- использование экологически безопасных материалов, изделий и конструкций и др. [19, 20].

Стандарты предназначены для сертификации объектов недвижимости, среди которых может быть проектируемое, реконструируемое и эксплуатируемое здание любого назначения, а также часть здания. Стандарты охватывают разные по функционалу здания: жилые, офисные, торговые, складские, промышленные, а также школы, отели, выставочные залы и другие виды объектов.

Наиболее распространенными стандартами и системами оценки уровня экологичности зданий являются британский стандарт BREEAM (BRE Environmental Assessment Method, 1990 г.), американский стандарт LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, 1998 г.) и немецкий стандарт DGNB (German Sustainable Building Certification system, 2007 г.).

BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) – стандарт или метод оценки эффективности и экологичности зданий, разработанный британской компанией BRE Global в 1990 г. Один из ведущих методов оценки для генеральных планов развития территорий, отдельных проектов, и инфраструктуры зданий. В 83 странах выдано 568 687 сертификатов, 2 278 991 проект зарегистрирован. Существуют как глобальный, так и локальные стандарты.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) – «Лидерство в энергетическом и экологическом проектировании», разработан в США в 2000 г. Распространен на территории 165 стран и регионов. В системе LEED во всем мире зарегистрировано 94 тыс. проектов. В четырех уровнях стандарт описывает устойчивость развития здания в отношении проектирования, строительства, эксплуатации и технического обслуживания

Оба стандарта, американский LEED и британский BREEAM, оценивают объект с точки зрения экологической безопасности, энергоэффективности и внедрения современных «зеленых» технологий, которые обеспечивают комфортную и удобно управляемую внутреннюю

среду.

Стандарт WELL – это система, предназначенная для измерения, сертификации и мониторинга свойств зданий во всем мире, влияющих на человеческое здоровье и благополучие.

WELL Building Standard™ (WELL) существует с 2014 г. и является стандартом стремящихся реализовать, проверить и измерить функции, которые поддерживают и улучшают здоровье и благополучие человека. По состоянию на сентябрь 2019 г. сертифицировано 200 объектов в 21 стране, зарегистрировано на сертификацию более 3,5 тыс. объектов в 58 странах.

В России сертификаты BREEAM, LEED и DGNB имеются у ряда бизнес-центров (БЦ) класса А в г. Москве и Санкт-Петербурге (например, БЦ «Белая Площадь», БЦ Вивальди Плаза, БЦ «Женевский Дом», БЦ San Gally Park), олимпийских объектов (Железнодорожный вокзал «Олимпийский парк» Ледовый дворец «Большой») и промышленных парков (индустриальный парк «Южные врата» в Московской области, логистический парк Радумля в Подмосковье и др.), научно-технического комплекса компании «Ренова» в иннограде «Сколково» и др. Общее количество объектов, прошедших сертификацию по «зеленым» стандартам в нашей стране сравнительно невелико, чуть больше 120. На рис. 5, 6 представлены примеры «зеленых» зданий, построенных в городах России.



а)



б)

Рисунок 5 – Примеры «зеленых» зданий в России: а) бизнес-центр «Жемчужная плаза» (г. Санкт-Петербург) – сертификат «Серебро» стандарта LEED; б) бизнес-центр Ленинский 119 (г. Москва) – сертификат «Золото» стандарта DGNB



а)



б)

Рисунок 6 - Примеры «зеленых» зданий в России:

а) бизнес-центр «Ренессанс Правда» (г. Санкт-Петербург) – сертификат «Золото» стандарта LEED; б) бизнес-центр «Белые сады» (г. Москва) – сертификат «Very Good» стандарта BREEAM

Развитие «зеленых» стандартов и технологий имеет большие перспективы в нашей стране, что объясняется теми преимуществами, которые получают от их применения инвесторы-застройщики, девелоперы, архитекторы, арендаторы и собственники объектов недвижимости, а также государство в целом.

К этим преимуществам следует отнести:

- внедрение в практику проектирования и строительства современных материалов, технологий в области энергосбережения, рационального водопользования, снижения объемов и управления отходами;
- внедрение инновационных технологий и подходов в проектирование, строительство и процесс эксплуатации строительных объектов;
- увеличение продолжительности эффективной службы здания, снижение риска возникновения морального износа объекта;
- внедрение/совершенствование системы управления эксплуатацией здания;
- снижение эксплуатационных расходов в здании;
- рост стоимости приобретения /арендной ставки объекта;
- получение застройщиком благоприятной и успешной репутации;
- обеспечение благоприятных условий и высокого уровня комфортности протекания в здании функциональных процессов: учебы, работы, жилья;
- производство и широкое применение на практике экологически чистых строительных материалов, изделий и конструкций;
- организация новых рабочих мест в производственной и эксплуатационной сферах;
- повышение уровня экологической безопасности территорий [19-21].

Наиболее активно направление «зеленого» экоустойчивого строительства реализуется в нашей стране в сфере коммерческой недвижимости и спортивных объектов.

Внедрение «зеленых» стандартов в жилищную сферу ограничено высокой стоимостью «зеленых» технологий на начальном этапе их развития. Однако за последние годы рынок «зеленого» жилищного строительства в России значительно вырос. Примером реализованных проектов «зеленых» жилых зданий могут служить жилой комплекс SkandiKlubb (г. Санкт-Петербург), жилой комплекс комфорт-класса «Ожогоино» (г. Тюмень), жилой комплекс «Современник» (г. Казань), сертифицированный по международному стандарту BREEAM, Эко-комплекс «Триумф Парк» (г. Санкт-Петербург) и др.

В 2016 г. в Казани было начато строительство одного из крупнейших в России энергоэффективных «зеленых» жилых комплексов с использованием инновационных ресурсосберегающих технологий и высококачественных материалов – ЖК «Манхэттен» (ВДНХ).

Учитывая опыт европейских стран в развитии «зеленых» технологий и практики «зеленого» экоустойчивого развития, можно сформулировать следующие перспективные направления стимулирования его развития в нашей стране:

- строительство всех объектов, финансируемых за счет средств федерального бюджета, в соответствии с «зелеными» стандартами;
- упрощение процедуры согласования проектной документации на строительство, реконструкцию «зеленых» зданий;
- распространение информации среди широкого круга лиц и специалистов о «зеленых» технологиях, существующих в России и мире, реализованных проектах;
- изменение стратегических подходов к принятию решений по проекту: равный учет коммерческих, социальных и экологических последствий реализации проекта;
- предоставление льгот организациям-производителям и потребителям «зеленых» материалов, изделий, технологий;
- упрощение процедуры выделения земельного участка под «зеленое» строительство, предоставление льгот на приобретение и аренду участков под эти цели;
- вовлечение в строительную практику контракта жизненного цикла на выполняемые работы [19, 20].

Внедрение в российскую практику предложенных выше принципов и мероприятий, будет являться залогом успешного развития «зеленых» стандартов и технологий в отечественной практике строительства и заложит основы перехода строительной отрасли на путь устойчивого развития.



**Вопросы для контроля:**

1. Дайте определение терминам «пассивный дом», «активный дом», «мультикомфортное здание», «зеленое» здание, «зеленые» стандарты.
2. Перечислите требования к проектированию пассивных зданий (passive house).
3. Объясните основное содержание концепций активного, мультикомфортного и экоддома.
4. Перечислите требования к проектированию активных зданий (active house), зданий с нулевыми потреблением и выбросами углекислого газа (zero energy and zero emissions building).
5. Дайте краткую характеристику современных рейтинговых систем оценки «зеленого» строительства.
6. Перечислите основные требования международных (BREEAM, LEED, DGNB) и национальных (российских) систем оценки «зеленого» строительства.
7. В чем заключаются преимущества строительства зданий по «зеленым» стандартам?
8. Объясните взаимосвязь между «зелеными» стандартами и энергоэффективностью здания, его жизненным циклом.

## ЛЕКЦИЯ 5 РАЗРАБОТКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

### План лекции:

- актуальность внедрения технологий информационного моделирования в проектирование энергоэффективных объектов;
- понятие энергетической модели здания;
- задачи, решаемые при помощи энергомоделирования;
- исходные данные для создания модели энергопотребления в зданиях;
- порядок разработки и требования к энергетической модели здания;
- сравнительная характеристика программных комплексов в области энергомоделирования зданий.

Проектирование и строительство здания, соответствующего определенному уровню энергоэффективности, с учетом мировых достижений по использованию внутренних теплопоступлений и возобновляемых источников энергии, предполагает обязательное наличие высокотехнологичных инженерных систем (таких, как отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, освещение, горячее водоснабжение, системы автоматизации) и их соответствие требованиям энергоэффективности.

По оценкам специалистов, применение специализированного оборудования, контрольно-измерительных приборов, реализация мероприятий по совершенствованию работы инженерных систем зданий, позволяет сократить расход тепла на отопление и нагрев воздуха на 25–30 %.

Усложнение проектных решений строительных объектов, необходимость учета совместного влияния различных инженерных решений в области энергетической эффективности зданий, требуют комплексного подхода к зданию как единой системе, включая анализ расположения здания, определение вида его оболочки и систем обеспечения микроклимата, учет взаимосвязей процессов теплопоступлений и тепловых потерь. Выполнение этих задач может быть возложено на современные программные средства энергомоделирования здания, в основе которых лежат BIM-технологии [22].

Развитие технологии информационного моделирования (BIM-технологий) в архитектуре, строительстве, эксплуатации объектов и сооружений, проникновение во все сегменты строительного комплекса программного обеспечения, автоматизированных систем управления сопровождается технологическими и управленческими инновациями в социальной и коммунальной инфраструктуре стран, внедривших национальные BIM-стандарты. Стоящая перед нашей страной задача инновационного развития и цифровизации строительной отрасли решается посредством внедрения BIM-технологии.



Энергетическое моделирование здания (Building energy modeling – BEM) является составной частью информационной модели здания и входит в раздел «BIM-Анализ» (рис. 7).



Рисунок 7 – Схема информационной модели здания

**BEM** (Building Energy Modeling) – моделирование энергопотребления здания – это серия инженерных расчетов, позволяющих прогнозировать потребление энергии зданием в течение года.

Энергетическая модель здания есть не что иное как модель энергопотребления объекта на различных этапах его жизненного цикла. Ее построение подчиняется схожим с информационным моделированием принципам, а именно:

1. принцип единой модели – согласованность информации при работе;
2. принцип прагматизма – каждый раз моделируется ровно столько, сколько требуется для решения поставленной задачи,
3. принципу согласованного моделирования – необходимость единого (согласованного) подхода к работе над всем проектом [37].

### **Исходные данные для создания моделирования энергопотребления в зданиях:**

1. 3D-геометрия здания. Стены, полы, покрытия, окна, затеняющие плоскости.

2. Климатические характеристики. Они представлены в виде погодных файлов, где заложены почасовые данные о температуре, влажности, давлении, скорости ветра, интенсивности солнечного излучения.

3. Различные расписания работы здания, работы офисной техники, включения и выключения света, количество сотрудников и т.д. Эти расписания задают внутренние нагрузки и внутренние параметры здания.

4. Схемы и математические модели инженерного оборудования. Модели систем могут быть шаблонными и поэлементными.

Порядок разработки энергетической модели здания зависит во многом от того, на каком этапе жизненного цикла объекта выполняются инженерные расчеты. Как правило, энергетическая модель здания включает в себя:

- блок геометрических характеристик объекта (планы, разрезы, фасады и др.);

- сведения о внутренних параметрах микроклимата (фактических – на этапе эксплуатации или планируемых к достижению в процессе строительства – на этапе эксплуатации) и характеристиках окружающей среды (температурно-влажностный и ветровой режимы территории застройки);

- блок конструктивных решений по объекту (выбранные материалы ограждающих конструкций, их расположение, срок службы, сопротивления теплопередаче, информация о наличии теплопроводных включений и др.);

- блок инженерных решений (принятый тип системы отопления и вентиляции, наличие/отсутствие систем рекуперации воздуха и др.);

- блок с информацией об энергетических нагрузках здания.

Указанные выше элементы энергетической модели здания являются частью информационной модели объекта, поэтому выполнение энергомоделирования целесообразно выполнять на базе BIM-технологий.

**Преимущества использования BIM технологий при моделировании уровня энергетической эффективности объекта:**

- получение информации о видах и объемах потребляемых ресурсов в течение года, по месяцам, дням и часам;

- достоверная оценка будущего годового энергопотребления здания на основе учета комплекса факторов, влияющих на этот показатель и, соответственно, подбор наиболее оптимальных по мощности/стоимости систем отопления, кондиционирования и вентиляции;

- возможность проведения прогнозных расчетов снижения потребления различных видов энергии (тепловой, электрической) в зданиях на протяжении всего их жизненного цикла в зависимости от

реализации различных мероприятий по энергосбережению (т.е. меняя решения по архитектуре, ограждающим конструкциям, инженерным системам можно вести поиск наиболее эффективного комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности конкретного объекта);

- получение достоверной картины о степени эффективности мероприятий по энергосбережению на протяжении всего жизненного цикла объекта;

- возможность оценить продолжительность времени, когда параметры воздуха в помещениях при принятых проектных решениях не будут поддерживаться в требуемом диапазоне значений в целом по году или для года с экстремально высокими летними температурами и экстремально низкими зимними;

- получение информации об объемах выбросов углерода зданием с разной периодичностью (в течение года, по месяцам, дням и часам);

- оценка уровня инсоляции помещений в здании, расчет показателей естественной освещенности в любых точках здания;

- и др. [22, 23].

Методами энергетического моделирования можно решить следующие задачи для проектируемого здания:

- разработка и выбор мероприятий по повышению энергоэффективности здания;

- оценка окупаемости энергосберегающих мероприятий;

- выбор наиболее подходящего тарифа на энергоресурс;

- определение эксплуатационной стоимости (годовой стоимости энергоресурсов) здания.

Методы энергетического моделирования зданий позволяют получить точные значения теплоступлений от солнечной радиации, в том числе для современных зданий со сложной архитектурной формой. Это возможно благодаря тому, что данный подход учитывает все нюансы, влияющие на значение теплоступлений, среди которых:

- ориентация здания, географическое расположение, затеняющие соседние здания и самозатенение;

- модель остекления (включая геометрию и коэффициент пропускания солнечной энергии);

- инерционность ограждающих конструкций.

- погодный файл, содержащий почасовые метеорологические данные, в т.ч. температуру, влажность, облачность, скорость и направление ветра.

В энергетической модели здания задаются параметры запроктированных систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха с подробными характеристиками всего оборудования и автоматики, изменяя настройки которых, можно добиться дополнительной эффективности работы, а также смоделировать

совместную работу всех систем в условиях, максимально приближенных к реальности на основе использования погодного файла, о котором уже говорилось выше.

Подходы энергетического моделирования широко используются в мире при проектировании общественных и жилых зданий [22-25]. Примером использования технологий информационного моделирования для создания объектов с наивысшим уровнем энергетической эффективности является строительство в г. Любляна (Словения) многоквартирного дома около нулевой энергии FP7 EE-Highrise – EcoSilverHouse (рис. 8).



Площадь участка: 3.717 м<sup>2</sup>;  
 Площадь стен: 1,568 м<sup>2</sup>;  
 Площадь нетто: 23.456 м<sup>2</sup>;  
 Чистый жилой район: 9,993 м<sup>2</sup>;  
 Общее число этажей: 17;  
 Количество жилых единиц: 128;  
 Количество парковочных мест в подвале: 279;  
 Зеленая крыша: 750 м<sup>2</sup>;  
 Возобновляемые источники: солнечные энергоблоки и коллекторы дождевой воды;  
 Общая стоимость инвестиций: 32 млн. евро.

Рисунок 8 – Характеристики пассивного дома ECO Silver House в Словении<sup>1</sup>

При поддержке Европейского союза строительство осуществлялось с применением технологии информационного моделирования, различных систем автоматизации жизнеобеспечения. ECO Silver на основе расчета характеристик с помощью пакета проектирования пассивного дома (Passive House Planning Package) требовалось, чтобы энергия на отопление составляла 14 кВт·ч/м<sup>2</sup> по определению Института пассивного дома (Passive House Institute).

После введения дома в эксплуатацию продолжается анализ его энергетической эффективности как компанией, создавшей автоматизированные системы управления в доме, так и национальным научно-исследовательским институтом (Building and Civil Engineering Institute ZRMK, Словения).

В настоящее время существует большое число программных комплексов для разработки энергетических моделей зданий: IES VE, TAS, Ecotect Analytics, eQuest, IDA ICE, Energy Plus, RIUSKA и др.

<sup>1</sup> Источник: Официальный сайт EcoSilverHouse. – URL : <http://www.ee-highrise.eu> (дата обращения: 04.03.2018).

Например, компания Autodesk разработала облачный сервис GREEN BUILDING STUDIO, который позволяет оценить энергопотребление здания на предпроектной стадии. Расчет энергопотребления зданием происходит в среде Revit с последующей выгрузкой модели в формат \*gbXML. На основе произведенных расчетов можно определить самый энергетически выгодный вариант проекта здания.

В таблице 6 представлена краткая сравнительная характеристика программных комплексов, используемых для энергетического моделирования зданий.



Сравнительная таблица BEM-программных комплексов [18-20]

	IES VE	TAS	Ecotect Analytics	IDA ICE	Energy Plus	eQuest	RIUSKA
Форматы обмена информацией	IFC, gbXML	gbXML	IFC, gbXML	IFC	IFC, gbXML	gbXML	IFC, gbXML
Подписка	Платная	Платная	Платная	Платная	Бесплатная	Бесплатная	Платная
Особенности	Можно моделировать HVAC и пассивные эффекты здания. Удобно использовать на всех стадиях проектирования. Является более глубоким инструментом анализа архитектурной модели здания. Можно работать на всех стадиях проектирования, постепенно усложняя модель.	Программа для комплексного моделирования зданий. Можно рассчитать энергопотребление здания, проследить его жизненный цикл, термический комфорт, параметры освещенности, затенения, снять видеоролики солнечных диаграмм и затенения.	Можно отображать и анимировать сложные теневые эффекты и отражения, создавать интерактивные солнечные диаграммы, рассчитать воздействие солнечной радиации, ежемесячные тепловые нагрузки и почасовые температурные графики для любой зоны.	Интерфейс адаптирован для быстрого построения и моделирования несложных зданий, но все же это довольно гибкий в настройке инструмент.	С помощью плагина IFC2SKP можно построить модель Google SketchUp из IFC, а затем с помощью плагина Energy Desighn Plugin экспортировать модель SketchUp в Energy Plus.	Построена в режиме многооконного мастера, где на каждом шаге можно вводить уточняющие параметры, и за счёт этого получать точный результат моделирования. Заложено несколько типовых форм зданий, которые удобно настраивать под свой проект.	Можно задавать расписания работы здания и оборудования, определять системы HVAC для каждого помещения. Позволяет установить температурные точки нагрева и охлаждения для каждого помещения. Это гарантирует меньше требований по калибровке кондиционирования воздуха.
Недостатки	Высокая стоимость программы.	Некорректное отображение геометрии в сложных проектах.	Заложены устаревшие методики расчета.	В ряде случаев некорректно работает с большими моделями зданий, имеющими сотни рабочих помещений.	Плагин IFC2SKP корректно работает только с небольшими моделями, это нужно учитывать.	Если режим мастера отключен, то невозможно уточнять модель, и следует потеря точности моделирования здания.	В системе существует только четыре системы кондиционирования воздуха, и она не моделирует водные циклы.



Одна из широко известных в мире программ энергетического моделирования – IES Virtual Environment [20]. Данная программа обладает удобным пользовательским интерфейсом и широкими возможностями, среди которых:

- 3D моделирование объекта;
- расчет инсоляции, оценка степени затененности объекта, расчет уровня естественной освещенности (рис.9);
- проектирование системы искусственного освещения;
- проектирование и оптимизация систем использования в здании возобновляемых источников энергии;
- анализ ветровых режимом территории, разработка решений по защите здания от аэродинамических эффектов;
- расчет годового энергопотребления зданием;
- расчет солнечной радиации, поступающей в здании;
- расчет бытовых поступлений в здании (рис.9);
- моделирование теплотехнических характеристик ограждающих конструкций;
- расчет объемов инфильтрующегося воздуха в здании и др.

Программный комплекс IES Virtual Environment применяется также для решения задач энергомоделирования в рамках проектирования зеленых зданий.

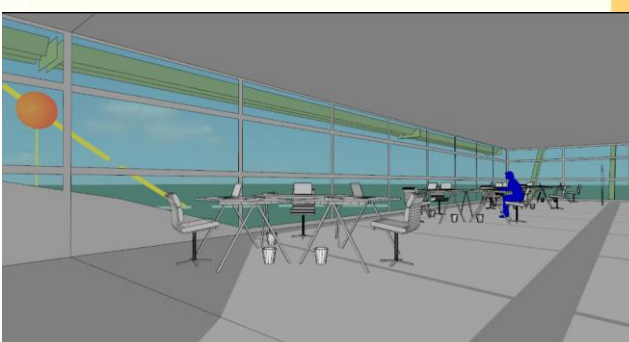
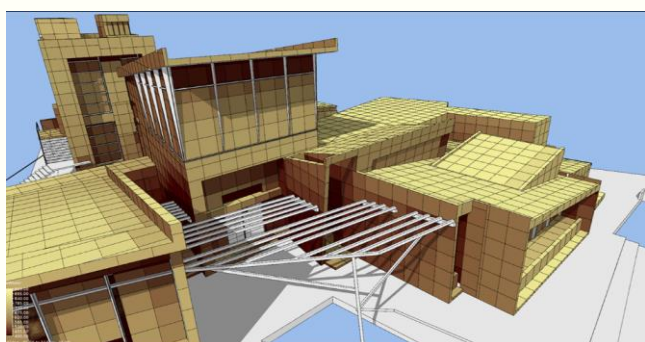
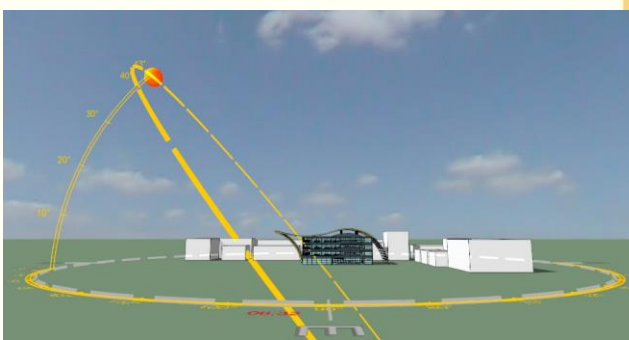
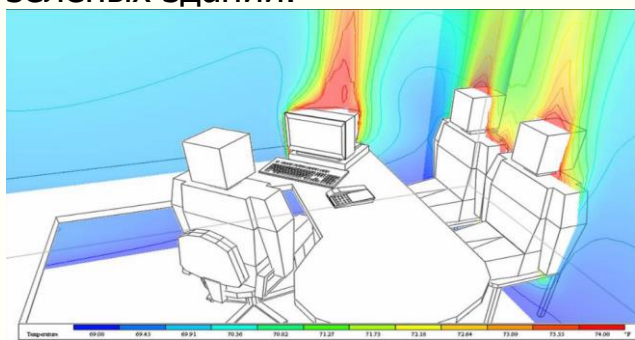


Рисунок 9 – Возможности программного комплекса IES Virtual Environment

Универсальным форматом BEM-моделирования является формат \*gbXML.

Во многие программные комплексы энергетического моделирования возможен импорт архитектуры здания из среды BIM,

например, из REVIT. Идеология и уравнения, используемые в различных комплексах энергомоделирования, схожи, но программы могут различаться по удобству использования, глубиной настройки параметров инженерных систем, количеством физических моделей.

Если при построении модели энергопотребления были правильно учтены погодные условия, графики работ здания и оборудования, корректно передана 3D геометрия здания, то в такой модели потребления энергии зданием будет описано с максимальным приближением к реальным условиям его эксплуатации.

Методами энергомоделирования можно разработать комплекс мероприятий для повышения энергоэффективности зданий, а также получить энергетический паспорт здания и, при необходимости, раздел «Энергоэффективность» для согласования в экспертизе проектной документации.

### **Вопросы для контроля:**

1. Объясните термин «энергомоделирование зданий».
2. Каковы цели и задачи энергомоделирования?
3. Перечислите состав работ и исходные данные по энергомоделированию зданий.
4. Дайте сравнительную характеристику программных комплексов, используемых для энергомоделирования зданий.
5. Какие программные средства применяется для решения задач энергомоделирования в рамках проектирования «зеленых» зданий?
6. Перечислите преимущества использования инструментов энергомоделирования при проектировании зданий.

## ЛЕКЦИЯ 6 РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПАСПОРТА ЗДАНИЯ

### План лекции:

- понятие энергопаспорта, требования к его разработке;
- методика расчета энергопаспорта здания;
- порядок определения геометрических характеристик отопливаемой оболочки здания;
- требования к определению климатических характеристик отопительного периода и внутренних параметров помещений здания;
- порядок расчета сопротивлений теплопередачи ограждающих конструкций;
- порядок расчета тепловых потерь в зданиях за счет инфильтрации и вентиляции.

Энергопаспорт – это документ, цель которого показать, сколько энергии потребляет здание для поддержания внутреннего климата по сравнению с другими подобными зданиями. В нем указывается потребление энергии домом в целом или отдельной его части. В документе также указываются расходы на отопление, охлаждение здания, вентиляцию и освещение, а также перечень необходимых мер, направленных на уменьшение энергопотребления здания.

**Энергетический паспорт здания** – это документ, содержащий геометрические, теплотехнические, энергетические характеристики здания и его отдельных элементов, оценку соответствия их требованиям действующего законодательства, а также класс энергосбережения здания.

Энергетический паспорт здания разрабатывается на этапе проектирования объекта в составе раздела 10-1 проектной документации и корректируется по фактическим значениям сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, которые определяются по результатам натурных измерений.

**Методика расчета энергопаспорта** включает в себя следующие этапы:

- 1) определение геометрических параметров здания с учетом требований п. 5.4 СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»;
- 2) определение климатических характеристик отопительного периода и внутренних параметров помещений здания для проектирования тепловой защиты объекта;
- 3) определение условий эксплуатации ограждающих конструкций здания;
- 4) расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

здания, проверка выполнения поэлементного требования: приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений;

5) проверка выполнения санитарно-гигиенического требования к ограждающим конструкциям: температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений;

6) расчет удельной теплозащитной характеристики здания, проверка выполнения: удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения;

7) расчет бытовых теплопоступлений в здание (от людей и бытовых приборов);

8) определение количества тепловой энергии, поступающей в здание от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции;

9) расчет сопротивления воздухопроницанию ограждающих конструкций здания, определение средней кратности воздухообмена в помещениях;

10) определение удельной характеристика расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, расчет класса энергосбережения объекта;

11) определение общих теплопотерь здания за отопительный период;

12) расчет энергетических нагрузок в здании: удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период;

13) оценка энергетических характеристик здания и его соответствия действующим нормам; разработка (при необходимости) мероприятий, направленных на повышение уровня энергетической эффективности объекта.

**Энергетические характеристика здания** – комплекс показателей, необходимых для оценки здания с позиции эффективности использования энергии. К энергетическим характеристикам здания относят тепловую защиту здания, удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период и характеристику тепловой мощности систем отопления и вентиляции.

При расчете энергопаспорта здания учитывается **теплозащитная оболочка здания** – совокупность ограждающих конструкций, образующих замкнутый контур, ограничивающий отапливаемый объем здания.

Энергопаспорт необходим для ввода в эксплуатацию зданий:

- вновь возведенных;
- прошедших реконструкцию/капитальный ремонт.

Составление энергетического паспорта также опирается на результаты энергоаудита, включающего:

- тепловизионное обследование объекта;
- контроль и замеры кратности воздухообмена здания в соответствии с ГОСТ 31167-2009.

Энергетический паспорт, составленный по результатам энергетического обследования, должен содержать информацию:

- 1) об оснащённости приборами учета используемых энергетических ресурсов;
- 2) об объеме используемых энергетических ресурсов и о его изменении;
- 3) о показателях энергетической эффективности;
- 4) о величине потерь переданных энергетических ресурсов (для организаций, осуществляющих передачу энергетических ресурсов);
- 5) о потенциале энергосбережения, в том числе об оценке возможной экономии энергетических ресурсов в натуральном выражении;
- 6) о перечне мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и их стоимостной оценке.

Энергопаспорт здания действителен в течение 5 лет, его разрабатывают организации, являющиеся членами СРО в области энергоаудита.

### **Определение геометрических характеристик отопляемой оболочки здания**

Геометрические характеристики здания рассчитываются в соответствии с требованиями п. 5.4 СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»:

- отопляемую площадь здания следует определять как площадь этажей (в том числе и мансардного, отопляемого цокольного и подвального) здания, измеряемую в пределах внутренних поверхностей наружных стен, включая площадь, занимаемую перегородками и внутренними стенами. При этом площадь лестничных клеток и лифтовых шахт включается в площадь этажа;

- в отопляемую площадь здания не включаются площади теплых чердаков и подвалов, неотапливаемых технических этажей, подвала (подполья), холодных неотапливаемых веранд, неотапливаемых лестничных клеток, а также холодного чердака или его части, не занятой под мансарду;

- при определении площади мансардного этажа учитывается площадь с высотой до наклонного потолка 1,2 м при наклоне  $30^\circ$  к горизонту; 0,8 м - при  $45^\circ$ - $60^\circ$ ; при  $60^\circ$  и более - площадь измеряется до плинтуса;

- площадь жилых помещений здания подсчитывается как сумма



площадей всех общих комнат (гостиных) и спален;

- отапливаемый объем здания определяется как произведение отапливаемой площади этажа на внутреннюю высоту, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка последнего этажа;

- при сложных формах внутреннего объема здания отапливаемый объем определяется как объем пространства, ограниченного внутренними поверхностями наружных ограждений (стен, покрытия или чердачного перекрытия, цокольного перекрытия);

- площадь наружных ограждающих конструкций определяется по внутренним размерам здания;

- общая площадь наружных стен (с учетом оконных и дверных проемов) определяется как произведение периметра наружных стен по внутренней поверхности на внутреннюю высоту здания, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка последнего этажа с учетом площади оконных и дверных откосов глубиной от внутренней поверхности стены до внутренней поверхности оконного или дверного блока;

- суммарная площадь окон определяется по размерам проемов в свету;

- при наклонных поверхностях потолков последнего этажа площадь покрытия, чердачного перекрытия определяется как площадь внутренней поверхности потолка.

### **Определение климатических характеристик отопительного периода и внутренних параметров помещений здания**

Расчетная температура внутреннего воздуха здания ( $t_{в}$ ), принимается при расчете ограждающих конструкций различных групп зданий:

- для жилых зданий, гостиниц, дошкольных и общеобразовательных учреждений, общежитий, лечебно-профилактических учреждений принимается равной минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20-22 °С);

- для административных зданий (офисов) и общественных зданий, не относящихся к указанным выше, – согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале 16-21 °С);

- для промышленных зданий – по нормам проектирования соответствующих зданий.

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период принимается по таблице 3.1. «Климатические параметры холодного периода года» СП 131.13330 принимается равной при проектировании:

– лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более не более 10 °С (столбец 14 таблицы 3.1);

– жилых зданий и других общественных зданий, не относящихся к указанным выше, для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С (столбец 12 таблицы 3.1).

Продолжительность отопительного периода  $z_{от}$  также принимается по таблице 3.1 «Климатические параметры холодного периода года» СП 131.13330.2020 при проектировании:

– лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 10 °С (столбец 13 таблицы 3.1);

– жилых зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С (столбец 11 таблицы 3.1).

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) указывают на дельту температур между помещением и улицей на протяжении всего сезона и определяются по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{от}) \times z_{от}.$$

В качестве расчетной температуры наружного воздуха для проектирования теплозащиты здания в соответствии с п.5.2 СП 50.13330 принимаем среднюю температуру наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Расчетную температуру воздуха на «теплом» чердаке и в техническом подполье принимают по данным проекта или по расчету теплового баланса этих помещений согласно СП 23-101-2004.

Для зданий ниже 6 этажей чердак, как правило, выполняют холодным, а вытяжные каналы из каждой квартиры выводят на кровлю.

## Определение сопротивлений теплопередачи ограждающих конструкций

**Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции** – это теплотехнический коэффициент, характеризующий уровень теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций.

Чем больше сопротивление теплопередаче конструкции, тем выше ее теплоизоляционные свойства, т.е. тем меньший тепловой поток, проходит через эту конструкцию, тем меньше потери тепла через нее.

### Задачи расчета:

1. Определить нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий  $R_o^{норм}$
2. Рассчитать расчетное значение приведенного сопротивления

теплопередаче ограждающих конструкций зданий  $R_o^{пр}$

3. Сравнить полученные значения, установить соответствие поэлементным требованиям к тепловой защите зданий из условия:

*приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования), т.е.  $R_o^{норм} \leq R_o^{пр}$ .*

Условия эксплуатации ограждающих конструкций для выбора теплотехнических показателей материалов принимают по СП 50.13330.

Внутренние и наружные температуры принимаются либо по проектному заданию, либо внутренняя температура - по ГОСТ 30494, наружная температура - по СП 131.13330.

**Нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций** зданий определяется по формуле:

$$R_o^{норм} = R_o^{тп} m_p,$$

где  $m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства\*;

$R_o^{тп}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, определяемое по таблице 3 СП 50.13330 в зависимости от градусо-суток отопительного периода.

*Примечание:* \* коэффициент  $m_p$  принимается равным 1, допускается снижение значения коэффициента при условии выполнения требования п.10.1 СП 50.13330, при этом значения должны быть не менее: 0,63 - для стен, 0,95 - для светопрозрачных конструкций, 0,8 - для остальных ограждающих конструкций.

Для величин ГСОП, отличающихся от табличных, значения  $R_o^{тп}$ , следует определять по формуле:

$$R_o^{тп} = a \cdot \text{ГСОП} + b,$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330.

**Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий  $R_o^{пр}$**  рассчитывается по двум вариантам:

- для теплотехнически однородных конструкций (т.е. для конструкций, которые в каждой своей точке по всей площади имеют одинаковые значения толщины слоя и коэффициента теплопроводности  $\lambda$ ) как сумма термического сопротивления конструкции  $R_k$ , равного сумме термических сопротивлений ее отдельных слоев ( $R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ ), и сопротивлений теплопередаче ее пристеночных слоев воздуха  $u$

внутренней и наружной поверхностей конструкции  $R_B$  и  $R_H$  (формула Е.6 и Е.7 СП 50.13330) по формуле:

$$R = (R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_B + R_H) = \frac{\delta_{1\text{слоя}}}{\lambda_{1\text{слоя}}} + \frac{\delta_{2\text{слоя}}}{\lambda_{2\text{слоя}}} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_H}$$

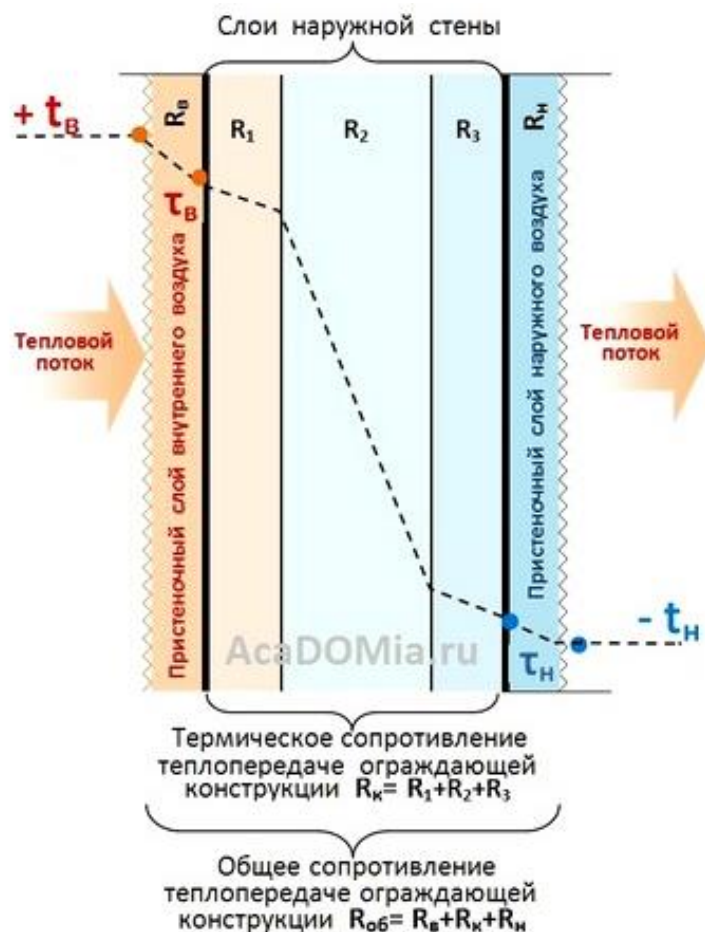


Рисунок 10 – Слагаемые сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции

- для теплотехнически неоднородных конструкций расчет основан на представлении фрагмента теплозащитной оболочки здания в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент.

В качестве теплозащитных элементов используют отдельные участки конструкции, детали (например, анкеры, кронштейны, прорезающие утеплитель или стеновой материал), стыки между различными конструкциями. Элементы бывают:

- линейные ( $l$ );
- точечные ( $n$ );
- плоские ( $a$ ).

Например, кирпичная кладка, утепленная слоем минераловатной

плиты, закрытой тонким слоем штукатурки – это плоский элемент;

- оконный откос, образованный кирпичной кладкой, утепленной слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки – линейный элемент;

- дюбель со стальным сердечником, прикрепляющий слой минераловатной плиты к кирпичной кладке - точечный элемент.

Одна и та же конструкция может быть разбита на элементы различными способами.

**При разбивке на элементы необходимо соблюдать следующие правила:**

- совокупность выделенных элементов должна быть достаточной для составления рассматриваемой конструкции, т.е. содержать все узлы конструкции;

- при составлении конструкции элементы не пересекаются;

- элементы влияют на тепловые потери через конструкцию.

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплотехнически неоднородной теплозащитной оболочки здания,  $R_o^{np}$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, следует определять по формуле:

$$R_o^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{усл}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}$$

где  $l_j$ ,  $n_k$  – геометрические характеристики элементов, определяемые для конкретного проекта;

$\Psi_j$ ,  $\chi_k$  – удельные потери теплоты через элементы, описание и правила нахождения приведены в разделе 6 СП 230.1325800.2015;

$R_o^{усл}$  – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$U_i$  – коэффициент теплопередачи однородной  $i$ -й части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент  $i$ -го вида), Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

$$U_i = \frac{1}{R_{o,i}^{усл}}$$

где  $a_i$  – площадь плоского элемента конструкции  $i$ -го вида, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>:

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i}$$



где  $A_i$  – площадь  $i$ -й части фрагмента,  $m^2$ .

Осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания определяют по формуле:

$$R_o^{усп} = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{R_{o,i}^{усп}}} = \frac{1}{\sum (\alpha_i U_i)}$$

где  $R_{o,i}^{усп}$  – условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания  $i$ -го вида,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , которое определяют экспериментально или расчетом по формуле:

$$R_{o,i}^{усп} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H}$$

где  $R_s$  – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , определяемое для неветилируемых воздушных прослоек по таблице 1, для материальных слоев по формуле:

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s}$$

**Расчет удельных потерь теплоты через элементы ограждающей конструкции** должен содержать:

- схему / чертеж, позволяющие установить состав и устройство узла, содержащего элемент;
- температурное поле узла;
- принятые в расчете температурного поля температуры наружного и внутреннего воздуха, а также геометрические размеры узла, включенного в расчетную область;
- минимальную температуру внутренней поверхности конструкции и поток теплоты через узел, полученные в результате расчетов;
- удельные потери теплоты через элемент, посчитанные по формулам (Е.8), (Е.9) или (Е.11), (Е.12) СП 50.13330.

### **Расчет тепловых потерь в зданиях за счет инфильтрации и вентиляции**

**Инфильтрация** – это проникание воздуха в лестничную клетку жилого здания или в помещения общественного здания через неплотности заполнения проемов оконных блоков и входных дверей из-за разности давлений на наружной и внутренней сторонах ограждений.

**Факторы, влияющие на величину инфильтрующегося воздуха**, поступающего в здание через ограждающие конструкции:

- средняя плотность приточного воздуха за отопительный период;
- поперечная воздухопроницаемость ограждающих конструкций (окон, балконных и входных дверей);

- разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции (окон, балконных и входных дверей).

Помимо инфильтрации в здании осуществляются процессы воздухообмена за счет естественной или механической систем вентиляции.

**Кратность воздухообмена** характеризует скорость, с которой воздух сменяется в помещении. В системах вентиляции принято рассчитывать сменяемость воздуха в течение одного часа. Таким образом, кратность воздухообмена в помещении показывает, сколько раз воздух полностью сменился в помещении за час.

В случаях, когда здание состоит из нескольких зон с различным воздухообменом, средние кратности воздухообмена находятся для каждой зоны в отдельности (зоны, на которые разделено здание, должно составлять весь отапливаемый объем). Все полученные средние кратности воздухообмена суммируются.

Изучение воздушного режима в помещениях необходимо для определения действительного потребления тепловой энергии на нужды систем приточно-вытяжной вентиляции или фактических значений воздухообмена при естественной вентиляции, а также фактических классов энергосбережения зданий.

#### **Факторы, влияющие на кратность воздухообмена здания:**

- количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке либо нормируемое значение при механической вентиляции;
- количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции;
- число часов работы вентиляции в течение недели;
- средняя плотность приточного воздуха за отопительный период.

#### **Удельная вентиляционная характеристика здания определяется:**

- количеством приточного воздуха, поступающего в здание при неорганизованном притоке, либо нормируемым значением при механической вентиляции;
- средней плотностью приточного воздуха за отопительный период;
- количеством инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции;
- числом часов инфильтрации и работы вентиляции в течение недели.

Рассчитанные в энергопаспорте величины затрат энергии:

- на нагрев поступающего воздуха при естественной/механической

вентиляции;

- нагрев воздуха в помещении до комфортных значений в связи с инфильтрацией воздуха и тепловыми потерями через ограждающие конструкции здания,

а также значения теплоступлений в здание от бытовых источников и солнечной радиации суммируются как части теплового баланса здания и в результате определяется расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемого значения. В зависимости от величины отклонения расчетного значения от нормируемого устанавливается класс энергосбережения здания.

Для достижения нормируемого значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, средняя воздухопроницаемость квартир жилых и помещений общественных зданий (при закрытых приточно-вытяжных вентиляционных отверстиях) должна обеспечивать определяемый по ГОСТ 31167 воздухообмен кратностью,  $ч^{-1}$ , при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па при вентиляции:

- с естественным побуждением  $4 ч^{-1}$  ;
- с механическим побуждением  $2 ч^{-1}$  .

Проектирование зданий с классом энергосбережения "D, E" не допускается. Классы "A, B, C" устанавливаются для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации.

Ответственность за достоверность данных энергетического паспорта здания, составленного на основании проектной документации, несет организация – разработчик проекта.

Формы энергетического паспорта установлены в СП 50.13330.2012 и приказе Министерства энергетики РФ от 19 апреля 2010 года №182. Они содержат практически одинаковый перечень теплотехнических и энергетических показателей, вместе с тем, в форму энергетического паспорта, составленного на основании проектной документации, установленную Минэнерго РФ, дополнительно включены показатели энергоемкости здания в холодный и переходный период года. Министерство энергетики РФ, на которое возложена функция регистрации этих паспортов, учитывает только те из них, которые составлены по форме Министерства. Форма энергетического паспорта здания, составленного на основании проектной документации приведена в приложении №24 к приказу Минэнерго РФ №182 от 19.04.2010 г.

**ФОРМА ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПАСПОРТА ПРОЕКТА ЗДАНИЯ**

Таблица 1 – Общая информация

Дата заполнения	
Адрес здания	
Разработчик проекта	
Адрес и телефон разработчика	
Шифр проекта	
Назначение здания, серия	
Этажность, количество секций	
Количество квартир	
Расчётное количество жителей или служащих	
Размещение в застройке	
Конструктивное решение	

Таблица 2 – Расчетные условия

Наименование расчётных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчётное значение
1 Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	$t_H$	°C	
2 Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°C	
3 Продолжительность отопительного периода	$Z_{от}$	Сут/год	
4 Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°C × сут/год	
5 Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_B$	°C	
6 Расчетная температура чердака	$t_{черд}$	°C	
7 Расчетная температура техподполья	$t_{подп}$	°C	

Таблица 3 – Показатели геометрические

Показатель	Обозначение и ед. изм.	Расчётное значение	Фактическое значение
8 Сумма площадей этажей здания	$A_{от}, м^2$		
9 Площадь жилых помещений	$A_{ж}, м^2$		
10 Расчетная площадь (общественных зданий)	$A_p, м^2$		
11 Отапливаемый объем	$V_{от}, м^3$		
12 Коэффициент остекленности фасада здания	$f$		
13 Показатель компактности здания	$K_{комп}$		
14 Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_n^{сум}, м^2$		
фасадов	$A_{фас}, м^2$		
окон и балконных дверей	$A_{ок1}, м^2$		
витражей	$A_{ок2}, м^2$		
фонарей	$A_{ок3}, м^2$		
окон лестнично-лифтовых узлов	$A_{ок4}, м^2$		
балконных дверей наружных переходов	$A_{дв}, м^2$		

Показатель	Обозначение и ед. изм.	Расчётное значение	Фактическое значение
входных дверей и ворот	$A_{дв} , м^2$		
покрытий	$A_{покр} , м^2$		
чердачных перекрытий	$A_{черд} , м^2$		
перекрытий "теплых" чердаков(эквивалентная)	$A_{черд.т} , м^2$		
стен (раздельно по типу конструкций)	$A_{цок1} , м^2$		
перекрытий над проездами или под эркерами	$A_{цок2} , м^2$		
стен в земле и пола по грунту(раздельно)	$A_{цок3} , м^2$		

Таблица 4 - Показатели теплотехнические

Показатель	Обозначение и единица измерения	Нормируемое значение	Расчетное проектное значение	Фактическое значение
15 Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в том числе:	$R, м^2 \times ^\circ C / Вт$			
стен (раздельно по типу конструкции)	$R_o^{np, ст.}$			
окон и балконных дверей	$R_{o, ок1}^{пр}$			
витражей	$R_{o, ок2}^{пр}$			
фонарей	$R_{o, ок3}^{пр}$			
окон лестнично-лифтовых узлов	$R_{o, ок4}^{пр}$			
балконных дверей наружных переходов	$R_o^{np, дв.}$			
входных дверей и ворот (раздельно)	$R_o^{np, дв.}$			
покрытий (совмещенных)	$R_{o, покр}^{пр}$			
чердачных перекрытий	$R_{o, черд}^{пр}$			
перекрытий "теплых" чердаков (эквивалентное)	$R_{o, черд.т}^{пр}$			
перекрытий над техническими подпольями или над неотапливаемыми подвалами	$R_{o, цок1}^{пр}$			
перекрытий над проездами или под эркерами	$R_{o, цок2}^{пр}$			
стен в земле и пола по грунту (раздельно)	$R_{o, цок3}^{пр}$			



Таблица 5 – Показатели вспомогательные

Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормируемое значение показателя	Расчетное проектное значение показателя
16 Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_{общ}$ , Вт/( $m^2 \times ^\circ C$ )		
17 Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена	$n_B$ , ч <sup>-1</sup>		
18 Удельные бытовые тепловыделения в здании	$q_{быт}$ , Вт/ $m^2$		
19 Тарифная цена тепловой энергии для проектируемого здания	$C_{тепл}$ , руб/кВт×ч		

Таблица 6 – Удельные характеристики

Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормируемое значение показателя	Расчетное проектное значение
20 Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{об}$ , Вт/( $m^3 \times ^\circ C$ )		
21 Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}$ , Вт/( $m^3 \times ^\circ C$ )		
22 Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}$ , Вт/( $m^3 \times ^\circ C$ )		
23 Удельная характеристика теплоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}$ , Вт/( $m^3 \times ^\circ C$ )		

Таблица 7 – Коэффициенты

Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя
24, 25 (Исключены, Изм. N 1).		
26 Коэффициент эффективности рекуператора	$k_{эф}$	
27, 28 (Исключены, Изм. N 1).		

Таблица 8 – Комплексные показатели расхода тепловой энергии

Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Значение показателя
29 Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{от}^P$ , Вт/( $m^3 \times ^\circ C$ )	
30 Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{от}^{TP}$ , Вт/( $m^3 \times ^\circ C$ )	
31 Класс энергосбережения		
32 Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите		

Таблица 9 – Энергетические нагрузки здания

Показатель	Обозначение	Единица измерений	Значение показателя
33 Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q$	кВт×ч/(м <sup>3</sup> год) кВт×ч/(м <sup>2</sup> год)	
34 Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$Q_{от}^{год}$	кВт×ч/(год)	
35 Общие теплотери здания за отопительный период	$Q_{общ}^{год}$	кВт×ч/(год)	

### **Вопросы для контроля:**

1. Дайте определение терминам «энергетический паспорт здания», «тепловая защита здания», «теплозащитная оболочка здания», «энергетические характеристики здания», «теплый чердак», «кратность воздухообмена», «инфильтрация воздуха», «теплотехнически однородная конструкция».

2. Опишите методику расчета энергопаспорта здания.

3. На каких этапах жизненного цикла здания разрабатывается энергопаспорт?

4. В течение какого периода времени действует энергопаспорт?

5. В отношении каких объектов разработка энергетического паспорта является обязательной?

6. Приведите примеры энергетических характеристик здания, рассчитываемых в составе энергопаспорта объекта.

7. Перечислите основные требования к определению геометрических характеристик отапливаемой оболочки здания.

8. Какие нормативные документы необходимо использовать для определения внутренних и внешних климатических параметров среды здания?

9. Перечислите факторы, влияющие на величину кратности воздухообмена здания.

10. Какие параметры влияют на проектирование тепловой защиты здания?

## ЛЕКЦИЯ 7 УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ И МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЯ

### План лекции:

- понятие параметрического моделирования;
- типы параметров, используемые в энергетической модели здания;
- взаимосвязь энергомоделирования и жизненного цикла объекта;
- технико-экономический анализ проектных решений в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
  - методика оценки стоимости жизненного цикла здания;
- порядок моделирования уровня энергетической эффективности здания в зависимости от формы здания и параметров фасада;
  - порядок моделирования уровня энергетической эффективности здания в зависимости от типа ограждающих конструкций, площади светопрозрачных конструкций и их ориентации по сторонам света.

Энергетическое моделирование зданий (BEM моделирование) – это комплекс инженерных расчетов, позволяющих прогнозировать потребление энергии зданием в течение необходимого времени.

В основе энергетического моделирования лежит **параметрическое моделирование (параметризация)**-моделирование (проектирование) с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами.

Параметризация позволяет за короткое время «проиграть» (с помощью изменения параметров или геометрических соотношений) различные инженерные решения здания (конструктивные схемы, типы инженерных систем и др.) и избежать принципиальных ошибок на этапе проектирования объекта, а также оценить ожидаемый уровень его энергетической эффективности.

Основной, элементарной характеристикой любой модели служит параметр, т.е. величина, представляющая определенное физическое, геометрическое или иное свойство объекта. Вид и число параметров, характер их взаимных связей и форма представления отличает одну модель от другой и определяет степень их идеализации по отношению к реальному объекту.

В зависимости от назначения технические параметры можно подразделить на функциональные, объектные и вспомогательные.

**Функциональные параметры** характеризуют выполняемую функцию. Эти параметры в процессе проектирования известны, и создание технической системы заключается в разработке материального носителя заданных функций, с требуемыми значениями функциональных

параметров (конструкции/инженерных систем и т.д.). Для энергетической модели здания в качестве функциональных параметров может выступать назначение объекта (жилое, общественное дошкольное учреждение, офис и т.д.), класс энергетической эффективности (если достижение этой характеристики является принципиальным требованием заказчика проекта).

**Объектные параметры** характеризуют материальный носитель этой функции (объект, систему, изделие). К ним относятся его геометрические характеристики (размер, форма, взаимное положение конструкций, количество), марка, вид и характеристики состояние использованных строительных материалов. Для энергетической модели здания в качестве объектных параметров может выступать материал, из которого выполнена наружная стена здания, тип оконного блока, площадь ограждающих конструкций, отапливаемый объем, сопротивление воздухопроницанию конструкций, тип и мощность системы отопления и т.д.

**Цель энергомоделирования здания** – отыскание величин объектных параметров здания, обеспечивающих достижение объектом заданных функциональных характеристик (уровня энергетической эффективности, заданного уровня «зеленого» стандарта и т.д.)

Остальные параметры относятся к группе **вспомогательных**. Они необходимы для обоснования принимаемых решений, характеристики технических, экономических, социальных и иных свойств строительного объекта (модели) и т.п. все то, что можно использовать при обосновании принимаемых решений.

Состав, количество параметров, и особенно — вспомогательных, для каждой конкретной системы и модели различен. Это связано с отличиями не только в устройстве отдельных систем, но и в предъявляемых к ним требованиях, условиях применения.

Параметрическая модель – это математическая модель, позволяющая установить количественную связь между функциональными, объектными и/или вспомогательными параметрами.

Параметры модели подразделяются на входные, внутренние и выходные.

**Входные (внешние) параметры** отражают внешние требования к системе, их значения или характер изменения с той или иной точностью известны. Часть этих параметров, существенно влияющих на состояние и характеристики системы, называют управляющими.

Например, подбор мощностей оборудования при проектировании основывается на «расчетных» параметрах наружного воздуха, которые отличаются от фактических значений и их колебаний.

При расчете значений теплопоступлений в здании учитываются такие параметры, как:

- ориентация здания по сторонам света;
- географическое расположение;
- затеняющие соседние здания и самозатенение;
- расположение и площадь остекления (включая геометрию и коэффициент пропускания солнечной энергии);
- инерционность ограждающих конструкций.

**Внутренние параметры** характеризуют состояние и свойства самой системы. Их значения вначале неизвестны и определяются в процессе исследований модели.

Часть входных и рассчитанных внутренних параметров системы может использоваться в качестве исходных данных для модели другой, взаимосвязанной, системы. Такие параметры называются выходными для рассмотренной системы и входными — для вновь рассматриваемой.

**Энергомоделирование целесообразно выполнять для всего жизненного цикла здания**, т.к. эффективная реализация политики энергоресурсосбережения в зданиях возможна только при системном подходе к этой проблеме.

**Системный взгляд на энергоэффективность** предусматривает оценку общего объема потребляемых энергоресурсов в течение всего жизненного цикла здания (ЖЦЗ): от затрат энергоресурсов на производство строительных материалов до затрат, связанных с ликвидацией объекта. Такой подход позволяет более полно учесть все затраты, связанные с реализацией организационно-технологических энергоресурсосберегающих решений (ОТ ЭРР), для выбора среди них наиболее оптимальных вариантов.

Эффективность ЖЦЗ, составным элементом которой является уровень энергоресурсосбережения в здании, закладывается при проектировании, реализуется в процессе строительства, поддерживается в течение эксплуатации строительного объекта. Каждая стадия ЖЦЗ имеет свои особенности и решает свой круг задач в части ресурсосбережения и устойчивого развития (рисунок 11).

Градостроители должны учитывать возможность получения максимального количества тепла от солнца, минимизации энергии на освещение. Проектировщики должны применять энергосберегающие конструктивные и архитектурные решения, эффективные строительные материалы, строители – тщательно соблюдать требования проекта и качественно выполнять предусмотренные им энергосберегающие мероприятия; эксплуатирующие организации – поддерживать здание, его системы в хорошем техническом состоянии, при необходимости, выполнять ремонтные работы с применением энергоресурсосберегающих технологий.





Рисунок 11– Жизненный цикл объекта и задачи в области ресурсосбережения

Исследование энергоемкости жилых зданий, проведенное на основе имитационной модели [27], позволило получить следующие данные по распределению затрат энергии в течение жизненного цикла здания (рисунок 12).

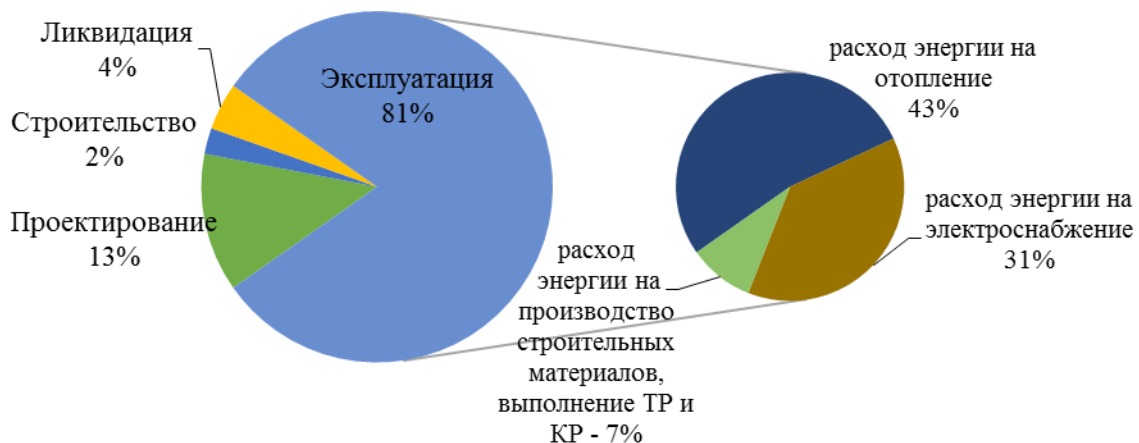


Рисунок 12 – Структура энергопотребления в жилых зданиях на всех этапах жизненного цикла

Как видно из рисунка 12, наиболее энергоемкой является эксплуатационная фаза жизненного цикла здания, а в ней, в свою очередь, – затраты на отопление и электроснабжение.

Затраты энергии, потребляемой зданием, накапливаются в течение жизненного цикла. Так, например, потребность 10-этажного жилого здания в топливе составляет в среднем 19,5 тыс. т усл. т и 3530 тыс. м<sup>3</sup> воды за весь его жизненный цикл [27].

Важным элементом системы управления энергоресурсосбережением здания является организация на постоянной основе системы сбора, хранения и систематического анализа информации об объемах потребления зданием ресурсов на этапе эксплуатации объекта. Данный мониторинг может осуществлять управляющая компания, а данные могут вноситься в имеющуюся информационную модель здания.

Анализ результатов мониторинга позволит выявить направления по снижению потребляемых зданием ресурсов, принять решение о проведении энергетической санации строительного объекта с целью повышения эффективности использования ресурсов, стать основой для последующего энергомоделирования зданий на этапе его эксплуатации.

На этапе проектирования формирование энергетической модели здания может быть основано на следующей методике выбора энергоресурсосберегающих решений (ЭРР) (рисунок 13).



Рисунок 13 – Методика формирования вариантов ЭРР на проектной фазе

На этапе эксплуатации энергомоделирование здания должно быть основано на укрупненной оценке эффективности реализации вариантов ЭРР с учетом остаточного срока службы здания. Т.к. реализация ЭРР в эксплуатируемых зданиях может быть экономически нецелесообразна в силу их физического и морального износа.

Для этого предлагается использовать на этапе предварительной оценки вариантов ЭРР показатель  $K_{\text{э}}$ , рассчитываемый по формуле:

$$K_{\text{э}} = \frac{C_{\text{рем.раб.}} + C_{\text{энергосбер.меропр.}}}{C_{\text{восст.}}},$$

где  $K_{\text{э}}$  – коэффициент эффективности ремонтных работ;

$C_{\text{рем.раб}}$  – стоимость ремонтных работ;

$C_{\text{энергосбер.меропр.}}$  – стоимость энергоресурсосберегающих мероприятий;

$C_{\text{восст}}$  – восстановительная стоимость здания [28].

При  $K_{\text{э}} \leq 1$  можно говорить об экономической эффективности выполнения ресурсосберегающих мероприятий в здании. При  $K_{\text{э}} > 1$  стоимость ЭРР превышает восстановительную стоимость объекта (стоимость нового строительства), следовательно, их выполнение экономически неэффективно [28].

Не отвечающие поставленным требованиям проектные решения исключаются из дальнейшего рассмотрения, при необходимости выполняют уточнение подобранных вариантов. Прошедшие предварительный отбор варианты ЭРР подвергаются дальнейшей комплексной оценке и анализу.

Оптимизация выбора энергосберегающих решений в процессе энергомоделирования должна быть основана на технико-экономическом анализе (обоснования) принимаемых решений, т.е. оценке их экономической целесообразности и технической возможности (осуществимости). Экономические аспекты эффективности энерго- и ресурсосберегающих мероприятий определяются системой показателей, отражающих соотношение затрат на проведение мероприятий к получаемым результатам.

В зависимости от масштабности мероприятий по энергосбережению для оценки экономической эффективности их реализации на практике используют простые (без учета фактора времени) и дисконтированные (с учетом фактора времени) показатели:

- простой и дисконтированный срок окупаемости;
- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности инвестиций (ИД);
- внутренняя норма доходности (ВНД);
- совокупные дисконтированные затраты по проекту (СДЗ);
- показатель сравнительной эффективности энергосбережения и

др. [29, 30].

Дисконтирование — определение стоимости денежного потока путём приведения стоимости всех выплат к определённом моменту времени. Экономический смысл дисконтирования заключается в том, что реальная (текущая) стоимость будущих финансовых потоков существенно отличается от их номинальной стоимости. Теория временной стоимости денег говорит, что рубль, полученный или уплаченный сегодня, стоит больше, чем рубль, полученный или уплаченный завтра. Ставка дисконтирования — это некоторая величина, выраженная в процентах, которая позволяет спрогнозировать стоимость будущих денег по состоянию на текущее время.

Формулы для расчета указанных выше показателей экономической эффективности ресурсосберегающих решений приведены в таблице 7.

Таблица 7

Сравнительный анализ показателей экономической эффективности энергосберегающих проектов [29, 30]

Наименование показателя	Физический смысл	Формула расчета	Критерий приемлемости
Простой срок окупаемости ( $T_{ок}$ )	Показывает время, требуемое для возмещения первоначальных расходов	$T_{ок} = \frac{K}{CF}$ где $T_{ок}$ — простой срок окупаемости капиталовложений; $K$ — объем первоначальных инвестиций; $CF$ — среднегодовая стоимость денежных поступлений от реализации проекта	$T_{ок} \rightarrow \min$ (чем меньше срок окупаемости, тем лучше проект)
Дисконтированный срок окупаемости ( $T_{ок}^{диск}$ )	Показывает время, требуемое для возмещения первоначальных расходов с учетом изменения стоимости денег во времени	$T_{ок}^{диск} = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq K,$ где $n$ — число периодов реализации проекта; $CF_t$ — приток денежных средств в период $t$ ; $r$ — ставка дисконтирования; $K$ — объем первоначальных инвестиций	$T_{ок}^{диск} \rightarrow \min$ (чем меньше срок окупаемости, тем лучше проект)

Наименование показателя	Физический смысл	Формула расчета	Критерий приемлемости
Чистый дисконтированный доход (ЧДД)	Показывает общий размер реальной прибыли, которую принесет проект за весь свой срок существования	$ЧДД = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1+r)^t} - K,$ где $R_t$ – приток денежных средств в период $t$ ; $Z_t$ – затраты на $t$ -шаге; $\frac{1}{(1+r)^t}$ – коэффициент дисконтирования; $r$ – норма доходности, приемлемая для инвестора (ставка дисконтирования); $K$ – объем первоначальных инвестиций	Если ЧДД > 0, то проект реализуется. Если ЧДД < 0, реализация проекта принесет убытки. ЧДД = 0 – проект имеет смысл при условии, что его реализация даст инвестору иные не денежные выгоды. Чем больше ЧДД, тем эффективнее проект.
Величина совокупных дисконтированных затрат (СДЗ)	Отражает превышение годовой экономии расходов на тепловую энергию с учетом изменения цен и тарифов на энергоносители над годовым процентом за кредит/упущенную прибыль, которую можно было бы получить, вложив деньги в банк, а не в энергосбережение	$СДЗ = K \cdot (1+p/100)^T + Э \cdot [(1+p/100)^T - 1] \cdot (100/p),$ где $K$ – общие капитальные затраты, руб.; $Э$ – суммарные годовые эксплуатационные издержки, руб./г.; $p$ – норма дисконта, %.	$СДЗ \rightarrow \min$ Выбор осуществляют в пользу проекта, который будет сопряжен с наименьшими годовыми СДЗ



Наименование показателя	Физический смысл	Формула расчета	Критерий приемлемости
Показатель эффективности энергосберегающих мероприятий с учетом тарифов на энергию (d)	Характеризует соотношение стоимости сбереженной энергии и затрат на реализацию мероприятия	$d = \sum_{t=1}^T \left( \frac{C_t \cdot \Delta E_t}{(1+r)^t} \right) - \sum_{t=0}^T \frac{I_t + O_t}{(1+r)^t}$ <p>где <math>\Delta E_t</math> – объем энергии, сэкономленный в t-ом году;  <math>r</math> – ставка дисконтирования;  <math>T</math> – жизненный цикл проекта;  <math>I_t</math> – объем капиталовложений в t-ом году;  <math>O_t</math> – эксплуатационные затраты в t-ом году;  <math>C_t</math> – величина тарифа на энергию.</p>	Если $d > 0$ , проект эффективен. Если $d < 0$ , проект неэффективен. При $d = 0$ достигается минимально допустимая эффективность проекта. Если $C_t = \text{const}$ и $\sum_{t=0}^T \frac{I_t + O_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=1}^T \frac{\Delta E_t}{(1+r)^t} > C_t$ , проект неэффективен
Уровень (индекс) рентабельности и инвестиций (PI <sup>Д</sup> )	Отношение суммы всех дисконтированных денежных потоков к дисконтированному инвестиционному расходу. Характеризует рентабельность проекта – степень эффективности использования денежных ресурсов по проекту.	$PI^D = \frac{ЧДД}{K}$ <p>где <math>PI^D</math> – индекс (показатель) рентабельности инвестиций;  <math>ЧДД</math> – чистый дисконтированный доход, руб.  <math>K</math> – капитальные вложения, руб.</p>	Если $PI^D > 1$ , то проект принимается к реализации, при $PI^D < 1$ – проект следует отвергнуть. При $PI = 1$ проект является ни прибыльным, ни убыточным и для принятия решения о реализации, его следует оценить по другим показателям.
Внутренняя норма доходности (рентабельности) (ВНД или IRR)	Такая величина нормы дисконта, при которой ЧДД = 0.	$-K + \sum_{t=0}^T \frac{R_t}{(1+IRR)^t} = 0,$ <p>где <math>K</math> – первоначальные капиталовложения;  <math>R_t</math> – получаемая экономия энергии в стоимостном выражении в t-ом году;  <math>T</math> – жизненный цикл проекта при норме дисконта <math>r</math></p>	Если $r < IRR$ , то проект эффективен. Если $r > IRR$ , то проект неэффективен. Чем $r \ll IRR$ , тем устойчивее проект

Простые критерии применяют для оценки экономической эффективности малозатратных мероприятий с единовременными затратами на их реализацию и равными поступлениями доходов на

протяжении жизненного цикла проекта. Для оценки больших проектов в области ресурсосбережения, характеризующихся неодинаковыми потоками денежных средств (доходов и расходов) на протяжении жизненного цикла проекта, используют показатели, рассчитываемые с применением дисконтирования.

Помимо указанных выше показателей, характеризующих стоимость инвестиций, при оценке эффективности энергосберегающих проектов следует также учитывать стоимость эксплуатации и содержания объектов недвижимости, которые накапливаются с течением времени. Такой подход успешно реализуется в рамках метода оценки эффективности проекта на основе анализа стоимости жизненного цикла здания (СЖЦ) – Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) Method), учитывающего не только единовременные инвестиционные затраты на реализацию проекта, но и будущие расходы, связанные с эксплуатацией, содержанием, ремонтом и утилизацией строительного объекта.

В его основе лежит следующий принцип: энергетическая эффективность здания и экономические аспекты принимаемых мер должны быть сбалансированы, т.е. экономически оптимальный уровень затрат на реализацию ресурсосберегающих решений должен соответствовать такому уровню энергетической эффективности здания, при котором стоимость его жизненного цикла будет минимальна. Life-Cycle Cost Analysis метод позволяет выбрать среди нескольких вариантов проектных решений наилучший вариант в данных конкретных условиях путем сравнения получаемой СЖЦ здания по каждому варианту.

Концепция учета затрат жизненного цикла продукции является одним из ведущих инструментов экологического менеджмента в Европейском союзе. Ее широко применяют для оценки эколого-экономических, социальных аспектов реализации проектов в системе производства различной продукции, а также утилизации отходов за рубежом [31]. Наиболее распространен данный подход в машиностроении, электронике, энергетике, производстве продуктов питания, дизайне продукции. По отношению к зданиям и сооружениям данная концепция стала применяться после принятия Директивы 2010/31/ЕС по энергетической эффективности зданий [31].

Затраты на протяжении всего срока службы строительного объекта прямо или косвенно учитываются также при оценке соответствия здания требованиям современных версий стандартов «зеленого» строительства – DGNB, LEED, BREEAM, российской системы GREEN ZOOM и др. [32, 33].

В 2014 г. Национальным объединением проектировщиков России была разработана методика расчета жизненного цикла жилого здания с учетом стоимости совокупных затрат, формула для расчета стоимости жизненного цикла здания имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \text{СЖЦЗ} = & \sum_{t2}^n \frac{\text{Проектирование} + \text{Строительство} + \text{Материалы и Оборудование} + \text{Издержки} - \text{Налоги}}{(1+r)^n} + \\
 & + Gk \left( \sum_{t3}^n \frac{\text{Содержание} + \text{Коммунальные ресурсы} + \text{Ремонты} \text{ текущий и капитальный}}{(1+r)^n} + \right. \\
 & \left. + \sum_{t4}^n \frac{\text{Снос} - \text{Вторичные материалы}}{(1+r)^n} \right)
 \end{aligned}$$

Указанная методика прошла апробацию при расчетах затрат жизненного цикла энергоэффективных домов, построенных в ряде регионов нашей страны.

В соответствии с предложенной методикой для учета применения в проекте экологичных и энергоэффективных материалов, технологий, его соответствия экологическим нормам вводится поправочный коэффициент – интегрированный показатель энергоэффективности и «зелености» здания [34]. Данный коэффициент учитывает рейтинг здания, прошедшего сертификацию по стандарту «Зеленое строительство» Здания жилые и общественные – СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011, и класс его энергоэффективности.



Рисунок 14 – Фазы жизненного цикла, учитываемые при расчете стоимости жизни строительного объекта в Европе [33]

На рисунках 14 и 15 представлены основные этапы жизненного цикла здания, расходы на которых учитываются при расчетах его стоимости в России и за рубежом.

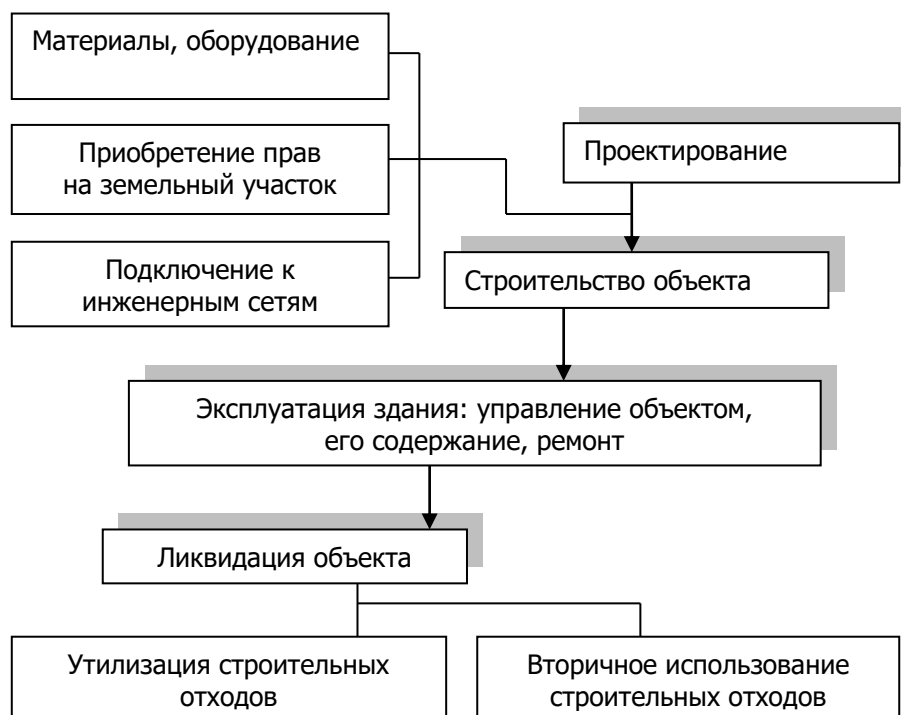


Рисунок 15 – Фазы жизненного цикла строительного объекта, учитываемые в расчетах согласно методике Национального объединения проектировщиков России [34]

Как видно из данных схем, европейская система оценки стоимости жизненного цикла здания в большей степени ориентирована на принятие экологичных ресурсосберегающих решений. Это находит свое выражение, например, в принятии решений о дальнейшем использовании строительных отходов: преимущество отдается их переработке и вторичном использовании для нового строительства, в качестве сырья для производства материалов и изделий; в применении местных строительных материалов, что существенно снижает объемы добычи минеральных ресурсов, транспортные расходы, выбросы парниковых газов и др. [32, 35].

Учет затрат всего жизненного цикла здания решает следующие задачи в строительной отрасли:

- обеспечивает экономически обоснованное внедрение энергоэффективных, экологичных технических решений;
- ориентирует инвесторов-застройщиков на реализацию оптимальных с технической, экологической и экономической точек зрения строительных решений при создании объектов;
- обеспечивает точную, достоверную информацию о будущих затратах, связанных с эксплуатацией и последующей

ликвидацией строительного объекта;

- создает однородную конкурентную среду;
- способствует принятию взвешенного решения по вопросам реализации проектов энергоэффективных, экологичных зданий, приобретения объектов в собственность или взятия в аренду [32, 36].

Кроме того, распространение такой практики на рынке недвижимости мотивирует проектировщиков и застройщиков на повышение качества строительных работ, выбор таких материалов, конструкций, инженерных систем, которые имеют длительные сроки эксплуатации, являются экологически безопасными, могут быть вторично использованы в производстве или утилизированы с минимальными затратами.

Одним из наиболее распространенных подходов к оптимизации стоимости жизненного цикла энергоэффективных, экологичных зданий является их сравнение с базовым вариантом зданий. Такой подход позволяет существенно упростить поиск оптимальных энергосберегающих решений, при которых стоимость жизненного цикла объекта будет минимальна, и ограничивает дальнейшее увеличение расходов на меры по энергоэффективности, которые ведут к повышению затрат цикла жизни здания. Поскольку сравнение вариантов энергосберегающих решений производится с базовым вариантом здания, зачастую достаточным является оценить в первую очередь только те затраты, которые отличаются от базовых затрат или являются дополнительными, приходится на единицу площади или объема [33].

Для расчета стоимости жизненного цикла здания используют специальные программные средства: Environmental Impact Assessment and Whole Life Cost (Envest 2), Integrated Material Profile and Costing Tool (IMPACT), Автоматизированная информационная система анализа стоимости жизненного цикла здания или оборудования и др. Общая цель таких программных продуктов – интеграция оценки затрат жизненного цикла в процесс создания информационной модели здания, что позволяет в конечном итоге сравнивать между собой не отдельные элементы или альтернативные строительные решения, а проекты зданий в целом. Так, например, программная среда IMPACT встроена в систему оценки «зеленых» зданий BREEAM и объединяет процесс информационного моделирования здания с процессом оценки стоимости его жизненного цикла и наносимого экологического ущерба. Данная программа осуществляет моделирование строительных объектов на основе оптимизации совокупных затрат и сравнения показателей устойчивости, достигаемых зданием, при выборе различных материалов, конструкций.



## Моделирование уровня энергетической эффективности здания: определение зависимости удельной теплозащитной характеристики от формы здания и параметров фасада

Удельная теплозащитная характеристика здания ( $k_{об}$ ) – это физическая величина, характеризующая теплозащитную оболочку здания, численно равная потерям тепловой энергии единицы отапливаемого объема в единицу времени при перепаде температуры в  $1^{\circ}\text{C}$  через теплозащитную оболочку здания.

$k_{об} \rightarrow \min$

Удельная теплозащитная характеристика здания зависит от следующих показателей (характеристик) строительного объекта:

- отапливаемый объем ( $V_{от} \rightarrow \max$ );
- сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R^{\circ}_{пр} \rightarrow \max$ );
- площадь ограждающих конструкций ( $A_{огр} \rightarrow \min$ );
- коэффициент компактности здания ( $K_{комп} \rightarrow \min$ ).

### Входные параметры моделирования:

- = климатические условия строительства;
- = геометрические характеристик здания (высота, этажность, площади);
- = характеристики ограждающих конструкций здания.

### Выходные параметры:

- = сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R^{\circ}_{пр}$ ;
- = коэффициент компактности здания;
- = значение удельной теплозащитной характеристики здания.

### Ограничения:

- проверка выполнения поэлементного требования к тепловой защите здания, в случае невыполнения условия – возвращение к началу моделирования и изменение входных параметров;
- проверка выполнения комплексного требования к тепловой защите здания, в случае невыполнения условия – возвращение к началу моделирования и изменение входных параметров;
- проверка допустимости достигаемого зданием класса энергосбережения исходя из действующих норм, в случае невыполнения условия – возвращение к началу моделирования и изменение входных параметров по объекту.

Оптимальная форма здания обеспечивает минимальные теплотери через его наружную оболочку. Как правило, она характеризуется минимальной площадью наружных ограждений относительно внутреннего объема здания, т.е. повышенной пространственной и объемной компактностью.

Минимальные соотношения площади поверхности к внутреннему объему имеют шар, цилиндр и куб – именно эти формы обеспечивают предельное снижение дисперсии тепла зданием.

Фасады энергоэффективных зданий не должны быть изрезаны, не желательны встроенные заглубленные лоджии и эркеры.

Для контроля оптимального выбора соотношений размеров здания на этапе проектирования введены такие показатели, как коэффициент компактности и остекленности здания.

Коэффициент компактности здания – это отношение площади ограждающих конструкций к заключенному в них отапливаемому объему.

Коэффициент остекленности фасада здания – отношение площадей светопроемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопроемы.

Уменьшение на каждые 0,01 м отношения периметра наружных ограждающих стен к общей площади этажа снижает тепловые расходы до 2 %, а изменение ширины корпуса здания с 12 до 15 м – на 9–10 % [13].

Уменьшение теплотребления зданием можно достигнуть за счет снижения площади наружных ограждающих конструкций при изменении формы здания путем формирования одного объекта из нескольких блоков. Строительство блокированных домов вместо отдельно стоящих увеличивает теплоэффективность зданий на 5-7 %, снижает материалоемкость строительства – на 8 – 10 %, площадь застраиваемой территории – на 30 – 40 %, а также обеспечивает сокращения длины коммуникаций, подъездных путей и т.д.

В практике проектирования блокирование зданий возможно, как по горизонтали, так и по вертикали. Однако из этого правила имеются исключения. При существенном росте этажности здания начинает проявляться эффект «дымовой трубы». Этот эффект заключается в том, что с увеличением высоты сооружения все больше растет расход энергии на нагревание инфильтрирующего воздуха и воздуха в системе вентиляции.

Оптимальная форма здания способствует меньшему «выдуванию» тепла из ограждающих конструкций, т.е. уменьшает трансмиссионные потери в здании. Также на величину трансмиссионных потерь влияют значения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций. Чем ниже теплопроводность материалов, из которых сделана ограждающая конструкция, тем выше сопротивление ее теплопередаче и тем ниже удельная теплозащитная характеристика объекта (рисунок 16).

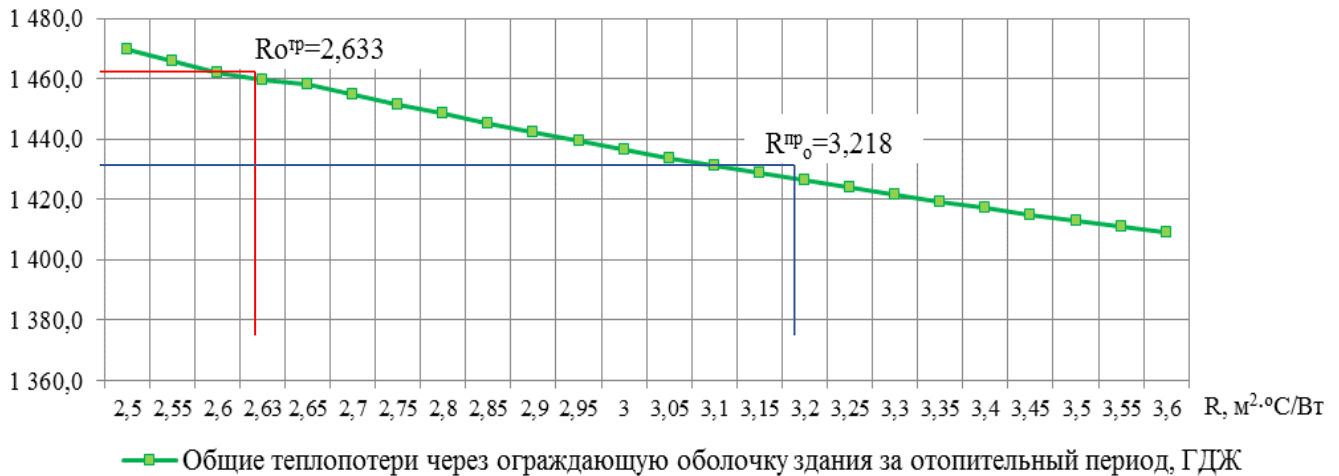


Рисунок 16 – График зависимости тепловых потерь здания от величины сопротивления теплопередаче наружной стен

На графике видно, что чем выше сопротивление теплопередаче многослойной конструкции, тем ниже тепловые потери здания и выше его уровень энергетической эффективности. Аналогичные зависимости характерны и для оконных блоков (рисунок 17).

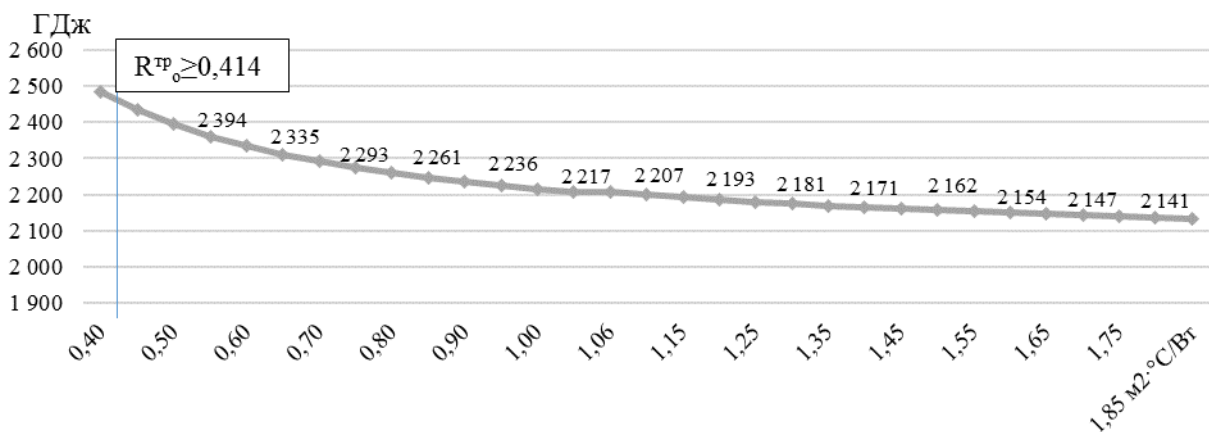


Рисунок 17 – Зависимость общих тепловых потерь здания через внешнюю оболочку за отопительный период от величины R окна

### Моделирование уровня энергетической эффективности здания: определение зависимости удельной характеристики расхода энергии в здании от типа ограждающих конструкций, площади светопрозрачных конструкций и их ориентации по сторонам света

Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания – это физическая величина, численно равная потерям тепловой энергии единицы отапливаемого объема здания в единицу времени, отнесенная к перепаду температуры, с учетом воздухообмена и дополнительных тепловыделений.

Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и

вентиляцию здания за отопительный период является одним из ключевых показателей, на основе которых определяется уровень энергетической эффективности строительного объекта.

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания определяется по методике приложения Г СП 50.13330 с учетом:

- климатических условий района строительства;
- выбранных объемно-планировочных решений;
- ориентации здания по сторонам света;
- теплозащитных свойств ограждающих конструкций;
- принятой системы вентиляции здания;
- применения энергосберегающих технологий.

Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемого значения:

$$q_{от}^P \leq q_{от}^{TP}.$$

По величине отклонения расчетного значения  $q_{от}^P$  от нормируемого значения устанавливаются классы энергосбережения зданий.

#### **Входные параметры моделирования:**

- = климатические условия строительства;
- = геометрические характеристики здания (высота, этажность, площади) ( $K_{комп} \rightarrow \min$ );
- = характеристики ограждающих конструкций здания ( $R \rightarrow \max$ );
- = ориентация здания по сторонам света;
- = площадь светопрозрачных конструкций ( $S \rightarrow \min$ );
- = бытовые теплопоступления в здании ( $q_{быт} \rightarrow \max$ );
- = поступления в здание от солнечной радиации ( $q_{рад} \rightarrow \max$ );
- = эффективность системы отопления;
- = требуемый воздухообмен в здании.

#### **Выходные параметры:**

- = сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_{от}^0$ ;
- = значение удельной теплозащитной характеристики здания;
- = значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

#### **Ограничения:**

- проверка выполнения поэлементного требования к тепловой защите здания, в случае невыполнения условия – возвращение к началу моделирования и изменение входных параметров;
- проверка выполнения комплексного требования к тепловой защите здания, в случае невыполнения условия – возвращение к началу моделирования и изменение входных параметров;
- проверка допустимости достигаемого зданием класса

энергосбережения исходя из действующих норм (проверка условия  $q_{от}^p \leq q_{от}^{TP}$ ), а в случае невыполнения условия – возвращение к началу моделирования и изменение входных параметров по объекту.

Рассмотрим пример моделирования изменения уровня энергопотребления здания при использовании различных теплоизоляционных материалов (таблица 8).

Таблица 8

Результаты расчета уровня затрат энергии на отопление здания при использовании различных теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Толщина изоляции, $\delta$ , мм	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/м $^{\circ}$ С	Значение тепловых потерь через ограждающие конструкции, ГДж	Затраты энергии на отопление, кДж/(м $^2$ · $^{\circ}$ С·сут)	Изменение уровня теплотеря через ограждающие конструкции, %	Изменение уровня затрат энергии на отопление, кДж/(м $^2$ · $^{\circ}$ С·сут)
<i>Пенополистирольные плиты ПСБ-С 25 Ф (базовый вариант)</i>	80	0,032	1 425,3	82,34	–	–
Базальтовая вата	80	0,036	1 439,9	83,79	↑1,02	↑1,8
Минеральная вата	80	0,037	1 443,4	84,14	↑1,27	↑2,2
Базальтовая вата	100	0,040	1 425,3	82,34	0	0
Минеральная вата на основе стекловолна	100	0,041	1 428,3	82,63	↑0,21	↑0,4
Экструдированный пенополистирол	100	0,032	1 400,3	79,84	↓1,75	↓3,04

С учетом тарифа тепловой энергии на отопление и данных о ежегодной потребности здания в тепловой энергии можно рассчитать, получаемую экономию энергии, срок окупаемости работ по утеплению фасадов и показатель эффективности реализации каждого варианта (таблица 9).

Таблица 9

Расчет эффективности применения различных теплоизоляционных материалов

Наименование теплоизоляционного материала	Расход энергии на отопление, Гкал/год	Экономия энергии		Срок окупаемости, Т $^{ок}$ , лет
		Гкал/год	руб./год	
Пенополистирольные плиты ПСБ-С 25 Ф	222,88	353,50	527 475	9,1
Базальтовая вата	226,81	349,58	521 625	8,9



Наименование теплоизоляционного	Расход энергии на отопление,	Экономия энергии		Срок окупаемости,
Минеральная вата	227,76	348,63	520 208	8,8
Базальтовая вата	222,88	353,50	527 475	9,4
Минеральная вата на основе стекловолокна	223,69	352,70	525 490	8,7
Экструдированный пенополистирол	216,13	360,26	537 562	9,1

Как видно из таблицы 8, наименее эффективным, из предложенных вариантов, является утепление здания базальтовой ватой толщиной 100 мм. Этот вариант хотя и характеризуется одним из наибольших значений экономии энергии, но наибольшим сроком окупаемости. Наиболее оптимальным вариантом среди рассмотренных является минеральная вата из стекловолокна толщиной 100 мм и теплопроводностью  $\lambda=0,041$  Вт/м $^{\circ}$ С. Применение этого теплоизоляционного материала обеспечивает наименьший срок окупаемости работ по утеплению фасадов и достаточно высокий уровень экономии тепловой энергии (525 490 руб./год).

Рассмотрим пример моделирования изменения уровня тепловых потерь здания и затрат на выполнение работ при использовании разных типов оконных блоков. Варьируемые факторы расчета: стоимость, коэффициент теплопроводности, количество камер оконного блока (таблица 10).

Таблица 10

Результаты моделирование изменения стоимости работ по замене оконных блоков и снижения затрат энергии здания на отопление

Вид оконного блока	Сопротивление теплопередаче окна, $R_f$ , м $^2$ · $^{\circ}$ С/Вт	Стоимость оконного блока, руб./м $^2$	Стоимость работ по замене окон 1 м $^2$ /руб.	Общие теплотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период, ГДж	Затраты энергии на отопление, кДж/(м $^2$ · $^{\circ}$ С·сут)	Снижение теплотеря через оболочку здания за отопительный период по сравнению с базовым вариантом	Снижение затрат энергии на отопление по сравнению с базовым вариантом
Базовый вариант*	0,41	-	-	2 467,3	212,93	-	-
Теплоизолирующий стеклопакет с напылением оксида серебра (32 мм)	0,79	7816	1261,3	2 263,7	192,61	↓ 8,3%	↓ 9,5 %
Энергосберегающий стеклопакет (60 мм)	0,63	6650	1112,7	2 320,7	198,30	↓ 5,9 %	↓ 6,9 %
Тепло- и шумоизолирующий стеклопакет (32 мм)	0,75	5551	972,6	2 275,7	193,81	↓ 7,8 %	↓ 9 %
Энергосберегающий стеклопакет (32 мм)	0,58	6391	1079,5	2 292,6	195,49	↓ 7,1 %	↓ 8,9 %

Вид оконного блока	Сопrotивление теплопередаче окна, $R$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Стоимость оконного блока, руб./ $\text{м}^2$	Стоимость работ по замене окон $1 \text{ м}^2/\text{руб.}$	Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период, ГДж	Затраты энергии на отопление, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут})$	Снижение теплопотерь через оболочку здания за отопительный период по сравнению с базовым вариантом	Снижение затрат энергии на отопление по сравнению с базовым вариантом
Теплосберегающий стеклопакет с напылением оксида серебра (24 мм)	0,80	9100	1424,8	2 260,9	192,33	↓ 8,4 %	↓ 9,7 %
Многокамерный стеклопакет (32 мм)	0,78	6500	1093,6	2 266,6	192,90	↓ 8,1%	↓ 9,4 %
Теплосберегающий стеклопакет (32 мм)	0,81	7391	1207,1	2 258,2	192,06	↓ 8,5 %	↓ 9,8 %
Тепло- и шумоизолирующий стеклопакет (88мм)	1,04	8200	1310,2	2 209,7	187,23	↓ 10,4%	↓ 12,1%

Примечание: деревянные оконные блоки

По результатам моделирования видно, что наибольшая экономия энергии на отопление (12,1 %) достигается при использовании 2-х камерных тепло- и шумоизолирующих блоков монтажной шириной 88 мм.

Если в моделируемую среду здания добавить вспомогательные параметры, такие как стоимость оконных блоков и срок их эффективной эксплуатации, можно оценить эффективность вариантов с точки зрения экономических аспектов (таблица 11).

Таблица 11

Результаты сравнительного анализа эффективности применения различных оконных блоков

Варьируемые параметры	Тип оконного блока	Теплосберегающий стеклопакет с напылением оксида серебра (32 мм)	Тепло- и шумоизолирующий стеклопакет (32 мм)	Энергосберегающий стеклопакет (32 мм)	Теплосберегающий стеклопакет с напылением оксида серебра (24 мм)	Многокамерный стеклопакет (32 мм)	Теплосберегающий стеклопакет (32 мм)
	Кол-во камер	3	4	4	5	5	3
	$R$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	0,79	0,75	0,58	0,65	0,78	0,75
	Расчетные показатели	Стоимость блока, руб.	7816	5551	6391	9100	6500
Стоимость работ по замене оконных блоков, тыс. руб.		1261,3	972,6	1079,5	1424,8	1093,6	1207,1
Показатель эффективности выполнения ремонтных работ $K_{\text{э}}$		$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$

Варьируемые параметры	Тип оконного блока	Теплосберегающий стеклопакет с напылением оксида серебра (32 мм)	Тепло- и шумоизолирующий стеклопакет (32 мм)	Энергосберегающий стеклопакет (32 мм)	Теплосберегающий стеклопакет с напылением оксида серебра (24 мм)	Многокамерный стеклопакет (32 мм)	Теплосберегающий стеклопакет (32 мм)
Изменение уровня затрат энергии на отопление по сравнению с уровнем до кап. ремонта, %		↓9,5 %	↓9 %	↓5,7%	↓7,3%	↓9,4 %	↓9 %
Потребность здания в энергии на отопление, Гкал/год		521,4	524,6	543,3	534,4	522,1	524,6
Экономия энергии на отопление, тыс. руб./год		82,1	77,3	49,4	62,7	81,0	77,3
Срок окупаемости ( $T_{ок}$ ), лет*		25,4	20,8	36,3	37,6	22,3	25,8

Примечание: \* в расчетах принят срок службы оконных блоков 15 лет. Среднее значение стоимости тепловой энергии принято равным 1492,15 руб/Гкал

Согласно проведенным расчетам, установка в здании однокамерных тепло- и шумоизолирующих оконных профилей монтажной шириной 32 мм обеспечивает наилучшее, среди рассмотренных вариантов, соотношение затрат (стоимость приобретения и установки оконного блока, срок его окупаемости) и показателей тепловой защиты здания (общие теплотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период, получаемая экономия энергии на отопление).

Таким образом, можно сделать вывод, что чем больше факторов учитывается при оценке проектных решений строительного объекта в части энергомоделирования, тем более взвешенное (обоснованное) решение можно принять по результатам таких расчетов и обеспечить наилучший уровень энергетической эффективности объекта при минимуме затрат.

Ориентация здания по сторонам света обеспечивает здание естественным освещением, что позволяет существенно снизить потребность в искусственном освещении, обеспечивает требуемые значения инсоляции помещений и дополнительный приток в здание тепла за счет солнечной радиации через светопрозрачные конструкции здания.

Для зданий Северного полушария рациональным является размещение с южной стороны до 70-80 % окон, с восточной стороны – 20-30 %, с западной – до 10 % и полное их отсутствие с северной.

Чем больше площадь оконных блоков, тем больше вероятность поступление в здания дополнительного тепла от солнечной радиации. Однако, увеличение площади светопрозрачных конструкций негативно сказывается на характеристиках теплозащитной оболочки здания, т.к. через оконные блоки теряется порядка 10-15 % энергии. Решением этой

проблемы служит параметрическое моделирование строительного объекта, т.е. расчет прогнозного уровня энергетической эффективности объекта в зависимости от различных сочетаний площади оконных блоков, их теплотехнических характеристик и ориентации по сторонам света.

Рассмотрим пример параметрическое моделирование уровня энергетической эффективности здания по 4-рем альтернативным моделям здания.

Вариант 1:

- общая площадь наружных ограждающих конструкций  $A_{н\text{ сум}}=6031.61\text{ м}^2$
- площадь фасадов,  $A_{\text{фас}}=4945.94\text{ м}^2$
- площадь стен,  $A_{\text{ст}}=3841.84\text{ м}^2$
- площадь окон и балконных дверей,  $A_{\text{ок1}}=1020.6\text{ м}^2$
- площадь отапливаемый объем,  $V_{\text{от}}=30943.0\text{ м}^3$
- толщина стены 470 мм (керамический одинарный лицевой кирпич и газобетонные блоки)
- коэффициент эффективности рекуператора,  $k_{\text{эф}}=0$
- окна, ориентированные на север – 15%, восток – 30%, юг – 15%, запад – 40%

Вариант 2:

- общая площадь наружных ограждающих конструкций  $A_{н\text{ сум}}=6031.61\text{ м}^2$
- площадь фасадов,  $A_{\text{фас}}=4945.94\text{ м}^2$
- площадь стен,  $A_{\text{ст}}=3841.84\text{ м}^2$
- площадь окон и балконных дверей,  $A_{\text{ок1}}=1020.6\text{ м}^2$
- площадь отапливаемый объем,  $V_{\text{от}}=30943.0\text{ м}^3$
- толщина стены 470 мм (керамический одинарный лицевой кирпич и газобетонные блоки)
- окна, ориентированные на север – 30%, восток – 15%, юг – 40%, запад – 15%

Вариант 3:

- общая площадь наружных ограждающих конструкций  $A_{н\text{ сум}}=7481.34\text{ м}^2$
- площадь фасадов,  $A_{\text{фас}}=6108.56\text{ м}^2$
- площадь стен,  $A_{\text{ст}}=5004.46\text{ м}^2$
- площадь окон и балконных дверей,  $A_{\text{ок1}}=1020.6\text{ м}^2$
- площадь отапливаемый объем,  $V_{\text{от}}=36883.8\text{ м}^3$
- толщина стены 470 мм (керамический одинарный лицевой кирпич и газобетонные блоки)
- окна, ориентированные на север – 15%, восток – 30%, юг – 15%, запад – 40%

## Вариант 4:

- общая площадь наружных ограждающих конструкций  $A_{н\text{ сум}}=6031.61\text{ м}^2$
- площадь фасадов,  $A_{\text{фас}}=4945.94\text{ м}^2$
- площадь стен,  $A_{\text{ст}}=3841.84\text{ м}^2$
- площадь окон и балконных дверей,  $A_{\text{окл}}=1020.6\text{ м}^2$
- площадь отапливаемый объем,  $V_{\text{от}}=30943.0\text{ м}^3$
- толщина стены 580 мм (силикатный кирпич)
- коэффициент эффективности рекуператора,  $k_{\text{эф}}=1$
- окна, ориентированные на север – 15%, восток – 30%, юг – 15%, запад – 40%.

Таблица 12

Результаты параметрического моделирование уровня энергетической эффективности здания

Показатель	Обозначение	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4
1) Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{\text{от}^p}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	0.0828	0.0757	0.0779	0.0464
2) Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q_{\text{от}^{\text{н}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	0.2900	0.2900	0.2900	0.2900
3) Класс энергосбережения		A++ (-71)	A++ (-74)	A++ (-73)	A++ (-84)
4) Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$	19.843	18.143	18.625	11.109
	$q, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	3.131	2.862	3.512	1.753
5) Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$Q_{\text{от}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{год})$	215 360	196 918	241 619	120 574
6) Общие теплотери здания за отопительный период	$Q_{\text{общ}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{год})$	546 177	546 177	570 798	451 391

По результатам параметрического моделирования видно, что наиболее оптимальным вариантом проектных решений выступает вариант № 4. Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за

отопительный период является минимальным по сравнению с другими вариантами (120 574 кВт·ч/(год)).

Если для России энергомоделирование зданий – это новое, малоизученное и распространенное на практике направление в проектировании, то в Европе и США данные технологии известны достаточно давно и хорошо развиты. Например, BEM-технологии активно реализуются в рамках «зеленого» строительства. Применение информационных технологий энергомоделирования здания является необходимым условием сертификации зданий в системе «зеленых» стандартов, как международных LEED, BREEAM, так и недавно созданной российской системы GREEN ZOOM.

Применение технологий информационного моделирования позволяет рассмотреть множество вариантов архитектурных, объемно-планировочных, конструктивных и инженерных решений здания, обеспечивающих достижение объектом современных требований энергетической эффективности, комфортности и оптимальной стоимости жизненного цикла здания.

### **Вопросы для контроля:**

1. Перечислите параметры, используемые в энергетической модели здания. Приведите примеры.
2. Какие ограничения следует учитывать при энергомоделировании здания?
3. Опишите порядок моделирования уровня энергетической эффективности здания в зависимости от формы здания и параметров фасада.
4. Опишите порядок моделирования уровня энергетической эффективности здания в зависимости от типа ограждающих конструкций, площади светопрозрачных конструкций и их ориентации по сторонам света.
5. Обоснуйте взаимосвязь энергомоделирования и жизненного цикла объекта.
6. Перечислите показатели, используемые для технико-экономической оценки решений в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий.
7. Опишите методику оценки стоимости жизненного цикла зданий.
8. Перечислите особенности проектирования тепловой защиты зданий при помощи информационных технологий.



## **СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭНЕРГОМОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ»**

1. Понятие энерго- и ресурсосбережения, повышения энергетической эффективности зданий
2. Нормативно-техническая база РФ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий
3. Законодательная база РФ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий
4. Требования к установлению классов энергосбережения и энергетической эффективности
5. Требования международных (BREEAM, LEED, DGNB) и национальных (российских) систем оценки «зеленого» строительства к энергосбережению в зданиях
6. Энергетический кризис и энергетическая безопасность. Актуальность энергосбережения в зданиях
7. Требования к проектированию пассивных зданий (passive house)
8. Требования к проектированию активных зданий (active house)
9. Требования к проектированию зданий с нулевыми потреблением и выбросами углекислого газа (zero energy and zero emissions building)
10. Тепловая защита зданий, требования к ее проектированию
11. Энергетический баланс здания: структура и содержание
12. Проблемы в области энергосбережения в жилищной сфере РФ
13. Современный мировой опыт и тенденции в решении вопросов энергосбережения в жилищном строительстве
14. Методика расчета энергопаспорта зданий
15. Методы оценки энергетической эффективности зданий в России и за рубежом
16. Порядок контроля за соответствием требований в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий на этапах жизненного цикла зданий
17. Методика оценки стоимости жизненного цикла зданий
18. Энергомоделирование зданий: цели и задачи, состав работ
19. Исходные данные для моделирования энергопотребления в зданиях
20. Параметры энергомоделирования зданий
21. Современные программные средства для моделирования тепловой защиты и энергопотребления зданий
22. Методы и технологии повышения энергетической эффективности зданий на этапе проектирования
23. Методы и технологии повышения энергетической эффективности зданий на этапе эксплуатации
24. Особенности проектирования тепловой защиты зданий при помощи информационных технологий
25. Оптимизация уровня энергопотребления в зданиях на основе информационного моделирования

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон № 261-ФЗ [принят Госдумой 11 ноября 2009 г.] // Государственная Дума РФ. – 2009.
2. ГОСТ Р 53905-2010 Энергосбережение. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 22 с.
3. Приказ Минстроя № 399/пр от 06.06.2016 «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов».
4. Распоряжение Правительства РФ от 01.09.2016 № 1853-р «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по повышению энергетической эффективности зданий, строений и сооружений».
5. Приказ Минстроя РФ № 1550/пр от 17.11.2017 «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений».
6. Energy Saving Ordinance 2009 // Info portal Energieeinsparung [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/EN/Archive/EnEV/enev\\_node.html](https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/EN/Archive/EnEV/enev_node.html) (дата обращения: 13.02.2022)
7. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 2003-23-02. – Москва : Минрегион России, 2012. – 132 с.
8. Directive 2002/91/EU of the European parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings // European Environment Agency [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.legislation.gov.uk/eudr/2002/91/contents> (дата обращения: 15.04.2022).
9. Официальный сайт EnEv [Электронный ресурс]. – URL: <https://enev-online.de/eewaermeg/2011/index.htm> (дата обращения: 13.05.2022).
10. Колер Ш. Немецкий опыт повышения энергоэффективности в секторе зданий / Ш. Колер. – Deutsche Energie-Agentur (DENA). – 2013. – 28 с.
11. Самарин, О. Д. Энергетический баланс гражданских зданий и возможные направления энергосбережения / О. Д. Самарин // Жилищное строительство. – 2012. – № 8. – С. 2–4.
12. Матросов, Ю. А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения / Ю. А. Матросов. – Москва : НИИСФ, 2008. – 496 с.
13. Данилов, Н. И. Энциклопедия энергосбережения / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков. – Екатеринбург: ИД «Сократ», 2004. – 368 с.
14. Овсянников, С. Н. Инновационные архитектурно-строительные системы гражданских зданий: потенциал ресурсосбережения / С.Н. Овсянников, Т.Ю. Овсянникова // Недвижимость: экономика, управление. – 2018. – № 1. – С. 35-40.
15. Passive House [Электронный ресурс] // International Passive House Association. – Режим доступа: [https://passivehouse-international.org/index.php?page\\_id=78](https://passivehouse-international.org/index.php?page_id=78) (дата обращения: 17.04.2022)
16. Мультикомфортный дом ISOVER'a (концепция "Multi-Comfort House") [Электронный ресурс] // Официальный сайт ISOVER. – Режим доступа: <https://www.isover.ee/ru/sovety/multikomfortnyy-dom-isovera-konceptsiya-multi-comfort-house> (дата обращения: 05.06.2022).

17. The Home for Life Denmark [Электронный ресурс] // Velux. – Режим доступа: [https://velcdn.azureedge.net/~media/com/case%20studdy/home%20for%20life\\_denmark/124259-01\\_model\\_home\\_2020\\_home\\_for\\_life.pdf](https://velcdn.azureedge.net/~media/com/case%20studdy/home%20for%20life_denmark/124259-01_model_home_2020_home_for_life.pdf) (дата обращения: 10.07.2022).
18. Tetior, A. New conception of creation of "zero" ecobuildings and ecocities on base of ecological infrastructure / A. Tetior // European Journal of Natural History. – 2017. – № 5. – С. 22-26.
19. Миненко, Е.Н. Зеленое строительство как основа устойчивого развития городских территорий / Е. Н. Миненко, С. Г. Шеина // Недвижимость: экономика, управление. – 2015. – № 2. – С. 55–60.
20. Король, Е.А. Повышение уровня экологической безопасности мегаполиса при строительстве "зеленых" зданий / Е.А. Король, Н.С. Шушунова // Научное обозрение. – 2014. – № 7-1. – С. 144-147.
21. Грабовый, П. Г. Национальная стратегия внедрения энергоресурсов и экологически безопасных (зеленых) технологий и производств в строительство и ЖКХ / П. Г. Грабовый, Л. А. Манухина // Недвижимость: экономика, управление. – 2014. – № 1-2. – С. 6–8.
22. Ahn K.U., Kim Y.J., Park C.S., Kim I., Lee K. BIM interface for full vs. semiautomated building energy simulation. Energy and Buildings. – 2014. – № 68. – P. 671-678.
23. Reinhart C.F., Cerezo Davila C. Urban building energy modeling – a review of a nascent field. Building and Environment. 2016. 97. P. 196–202.
24. ASHRAE/ANSI Standard 140-2011--Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2011.
25. Drury B.C., Linda K.L., Frederick C. et al. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation programs. Energy and Buildings. – 2001. –№ 33(4). – P. 319-331.
26. Integrated Environmental Solutions, Ltd. "VE 2017". www.iesve.com. Retrieved 2017-11-07. – 2017.
27. Опарина, Л. А. Результаты расчета энергоемкости жизненного цикла зданий / Л. А. Опарина // Жилищное строительство. – 2013. – № 11. –С. 50–52.
28. Шеина, С. Г. Методология стратегического управления техническим состоянием жилищного фонда путем моделирования и оптимизации организационно-технологических решений: дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / Шеина Светлана Георгиевна. – Ростов-на-Дону, 2008. – 335 с.
29. Качан, Ю. Г. Об экономической целесообразности проектов энергосбережения и ее обеспечении / Ю.Г. Качан, Е. А. Братковская // Новости научной мысли. Экономические науки: матер. II междунар. науч-практич. конф. – 2008. – С. 35847–35848.
30. Клычников, Р. Ю. Оптимизация параметров теплозащиты жилых зданий по экономическому критерию / Р. Ю. Клычников, В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 1. – С. 13–16.
31. Horne, R. Life cycle assessment: principles, practice and prospects / Ralph Horne, Tim Grant, Karli Verghese. – Melbourne.: CSIRO Publishing, 2009. – pp. 173.

32. Наумов А.Л. Энергоэффективность, стоимость жизненного цикла и зеленые стандарты цикла / А.Л. Наумов, Д.В. Капко, О.С. Судьина // Здания высоких технологий. – Осень 2014. – С. 34–40.

33. Scheuer C.W. Evaluation of LEEDTM Using Life Cycle Assessment Methods / C.W. Scheuer, G.A. Keoleian. – Gaithersburg.: National Institute of Standards and Technology, 2002. – P. 157

34. Методика расчета жизненного цикла жилого здания с учетом стоимости совокупных затрат. – М: Национальное объединение проектировщиков, 2014. – 72 с.

35. Миненко, Е.Н. Анализ особенностей применения метода оценки стоимости жизненного цикла зданий в России и за рубежом / С. Г. Шеина, Е.О. Миргородская, Е.Н. Миненко // Строительство и техногенная безопасность. – 2015. – № 1(53). – С. 76–80.

36. Башмаков И.А. Оптимизация энергоэффективности зданий на основе оценки стоимости жизненного цикла / И.А. Башмаков, А.Д. Мышак // Энергосовет. –2015. – № 3 (40). – С. 55–62.

37. Талапов В.В. Жизненный цикл здания и его связь с внедрением технологии BIM [Электронный ресурс] // Строительный эксперт - Портал для специалистов архитектурно-строительной отрасли. –URL: <https://ardexpert.ru/article/8445> (дата обращения: 10.08.2022).