

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

*На правах рукописи*

**ЛИ МАРИНА АЛЬБЕРТОВНА**

“Разработка и исследование системы энергоснабжения жилых домов за счет  
солнечной энергии”

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание степени магистра по специальности:

5А310104 – «Промышленная теплоэнергетика»

Научный руководитель:

к.т.н., доц. Алимов Х.А.

Заведующей кафедры:

к.т.н., доц. Ташбаев Н.Т.

**Ташкент –2016**

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение.....
Глава I.	Анализ энергообеспечение жилых домов: прошлое, настоящее и будущее.....
1.1.	История и современность процесса энергообеспечения.....
1.2.	Использование возобновляемых источников энергии .....
Глава II.	Общие характеристики пассивных домов .....
2.1.	Определение и специфика понятия «пассивный дом».....
2.2.	Технологии пассивного дома. Эффективность системы.
2.3.	Исследования демонстрационных проектов.....
Глава III.	Численное моделирования процессов в системах энергообеспечения жилых домов.....
3.1.	. Расчет гелиосистемы тепло обеспечения зданий на примере “стены-коллектора Тромба”.....
3.2.	Численный расчет процессов в системах энергообеспечения жилых домов.....
	Выводы.....
	Список литературы.....
	Приложения.....

## **ВВЕДЕНИЕ**

Узбекистан располагает широкими возможностями для использования малых гидростанций, солнечных, ветряных ресурсов и других видов энергии. Большое количество солнечных дней в году, наличие обширных, обдуваемых ветрами территорий расширяют возможности бесперебойного обеспечения населения энергией, способствуют предотвращению загрязнения окружающей среды и динамичному развитию экономики.

В нашей стране отношения, связанные с электроэнергией, упорядочены законами Республики Узбекистан “Об электроэнергии” и “О рациональном использовании энергии”.

В результате уделяемого под руководством Президента Ислама Каримова особого внимания развитию энергосберегающих технологий во все отрасли экономики широко внедряются альтернативные источники энергии.

Указ Президента Ислама Каримова “О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии” от 1 марта 2013 года служит важным руководством к действию в дальнейшем повышении эффективности широкомасштабной исследовательской работы в сфере энергетики. Производителям и пользователям альтернативных источников энергии в нашей стране предоставлены налоговые и таможенные льготы [1].

Особое внимание уделяется экономии электроэнергии, снижению производственных затрат и себестоимости продукции, разработке и внедрению механизмов использования возобновляемых, нетрадиционных источников энергии [2].

Возможность использования солнечной энергии для отопления в наше время общепризнана. Хотя технология этого использования была известна уже очень давно, настоятельная необходимость обратиться к ней появилась только после энергетического кризиса 1973 г., когда во многих странах возникла, потребность в новых источниках энергии. Теперь во многих странах ведется строительство домов, спроектированных на основе использования энергии

солнца, и в настоящее время уже можно оценить этот опыт и дать практические рекомендации.

**Актуальность настоящего исследования** обусловлена регулярным ростом тарифов на энергоресурсы, это вынуждает искать новые пути снижения затрат на отопление, электроснабжение, горячее/холодное водоснабжение и другие аспекты современного комфортного жилья. Зарубежный опыт показал возможность применения технологии "Пассивный дом", то есть дома с нулевым энергопотреблением, для постройки практически без затратных жилых зданий, которые бы отвечали всем экологическим нормам и, с другой стороны, обеспечивали высокий уровень жизни человека.

Стоит отметить, что идея пассивного дома рассматривается не только в общем плане, но и в отдельно взятом регионе. Наш регион характеризуется континентальным климатом, с холодными зимами, жарким летом. Значения инсоляции и скорости ветровых потоков относительно невысокие, что придает установкам на альтернативных видах топлива статус вспомогательных. Эти и другие аспекты делают данный регион перспективным для внедрения энергоэффективных технологий малоэтажного строительства.

**Степень разработанности темы** данного исследования - высокая. В анализе проблем альтернативной энергетики диссертант опирался на труды Бушуева В.В., Коржубаева А.Г., Эдера Л.В., Громова И.А., Шкрадюка И.Э., Яковца Ю.В., Барабанова О.Н., Безруких П.П., Брагинского О.Б., Синяка В.А., Сорокина Н.Т., Федоренко В.Ф., Буклагина Д.С., Павленко А.М., Порфирьева Б.Н., Копылова А.Е., Никифорова О., Хайтуна А. и др. Однако, институциональные аспекты формирования условий для частичного перехода промышленных предприятий на альтернативное энергообеспечение не получили в этих трудах развернутого освещения. Помимо изучения отечественной литературы, соискатель обращался к публикациям зарубежных авторов, сферой интересов которых является ВИЭ-генерация и обеспечение предприятий ВИЭ-энергией: С. Барбера, О. Зеннера, В. Глойстейна, Г. Кхалила, С. Занда, К. Корбетта, Й. Лоренса, А. Пибальдса,

Р.Рапира, Р.Рикошевича, Х. Сайена, Ф.Фассио, М.Фрия и др. В работах этих ученых освещаются проблемы, связанные с энергообеспечением экономики; вопросы значимости и целесообразности развития альтернативного энергообеспечения промышленных предприятий; обосновываются идеи частичного перехода на неуглеводородную энергетику.

В середине 1980-х годов германский инженер-физик Вольфганг Файст сделал математические расчеты дома-термоса, который не надо было бы обогревать. Главный результат расчетов в том, что такой пассивный дом оказался не математическим феноменом, а вполне реальной вещью. В частности, для эффективного утепления здания не нужны толстые кирпичные стены достаточно слоя утеплителя менее полуметра. Для проверки расчетов Файста в 1991 году в Дармштадте был построен первый пассивный дом. Детальное изучение подтвердило: здание действительно практически не потребляет тепла [3].

Под эгидой Института Пассивного дома (Passivhaus Institut), Германия осуществлялся проект «Пассивные дома в пяти климатических зонах».

**Цель диссертации** - разработка и исследование системы энергоснабжения жилых домов за счет солнечной энергии, определение возможности постройки пассивного дома в Ташкентском регионе.

Для реализации цели необходимо решить следующие **задачи**:

- определить понятие "Пассивный дом";
- обозначить технологии, применяемые при строительстве энергоэффективных зданий;
- рассмотреть альтернативные возможности монтажа малоэтажных строений;
- установить географо-климатических условия выбранной территории;
- описать социально-экономическую ситуацию заданного региона;
- выявить специфику пассивного дома для Ташкента.

**Объект исследования** - технология энергообеспечения пассивного дома

**Предмет исследования** - возможность построения пассивного дома с соблюдением всех технологий в Ташкенте.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

- Расчет параметров теплоснабжения пассивного дома для условий Ташкента;
- Выборка наиболее подходящих технологий пассивного дома для заданной территории;
- Анализ условий, влияющих на конструктивные особенности пассивных домов.

**Научно-теоретическая и практическая значимость** исследования заключается в следующем:

- 1) реализована возможность выполнения проектов по постройке домов с нулевым энергопотреблением в г. Ташкенте.
- 2) предоставлена теоретическое основание для расчета конструкции пассивного дома.
- 3) исследована компьютерная модель элементов конструкции пассивного дома.

для обработки исходной информации была использована прикладная программа COMSOL Multiphysics 5.2.

**Информационной базой** исследования послужили:

- законодательная база Республики Узбекистан, регулирующая деятельность, связанную с ВИЭ;
- законодательство зарубежных стран, регулирующее деятельность, связанную с ВИЭ ;
- данные государственных и частных зарубежных компаний: IEA, GEF, EPIA, DENA, BWE, Clean Age; BP, IRENA, UNEP;
- данные ежегодных отчетов: Deploying Renewables., Principles for Effective Policies., Executive summary 2013, Publications and documents: Post

2012, World Energy Outlook 2012-2013, BP Statistical Review Shows 2014 Shifts in Global Energy Production and Consumption, Energy Outlook 2030, United Nations Environment Program (Nairobi) 2015, Renewables global status report 2015, Renewable Energy and Jobs Annual Review 2015, The statistics portal.

**Апробация научных результатов диссертации.** По теме диссертации опубликовано 3 научных работ общим объемом 5 п.л., из них 3 научных статьи в рецензируемых изданиях.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследовательской деятельности автора были озвучены на 2-х республиканских и 1 ой международной научно-практической конференции:

- «Система энергоснабжения жилых домов за счет солнечной энергии», Международная научно-практической конференции «Тенденция развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения» г. Саратов, 17-18 марта 2016г.

- «Использование метода конечных элементов в решении задач гидродинамики», Республиканская научно-практической конференции «Ишлаб чикариш корхоналарининг энерготежабкорлик ва энергия самарадорлик муаммоларини ечишда инновацион технолгияларнинг ахамияти» г. Карши, апрел 2016г. .

- «Анализ эффективности системы энергоснабжения энергоснабжения жилых домов за счет солнечной энергии», Республиканская научно-практической конференции «Инновационные технологии» г. Карши, январь-март 2016г. .

**Объем и структура работы:** Работа состоит из введения, трех глав и заключения, списка литературы, четырех приложений. Объем основной работы составляет 83 с. Список литературы содержит 32 наименования. Основной текст содержит 19 рисунков.

# Глава I. Анализ энергообеспечение жилых домов: прошлое, настоящее и будущее.

## 1.1. История и современность процесса энергообеспечения.

Во все времена человек пытался покорить природу и использовать ее энергию – и в каменный век и в эпоху XXI века. История развития энергообеспечения человечества неразрывно связана с историей развития человеческой цивилизации – ведь открытие новых источников либо предваряло новый этап жизненного цикла человеческого общества, либо растущие потребности человечества в определенный период развития являлись предпосылками для освоения новых энергоисточников, способных удовлетворить возросшие потребности в энергообеспечении. Так, начиная от изобретения лука и освоения энергии огня в древности до использования энергии атомного ядра в настоящее время, прошел длительный период, когда усложнялся процесс энергообеспечения, открывались новые энергоносители и внедрялись новые технологии.

Развитие мировой экономики потребует, по самым консервативным оценкам, к 2050 году увеличения производства энергии более чем в два раза.



Рис. 1. Прогноз мирового производства энергии.

При этом рост потребления в абсолютных показателях наблюдается даже в странах Евросоюза, добившихся значительных успехов в повышении энергоэффективности.



Рис. 2. Прогноз мирового потребления энергии.

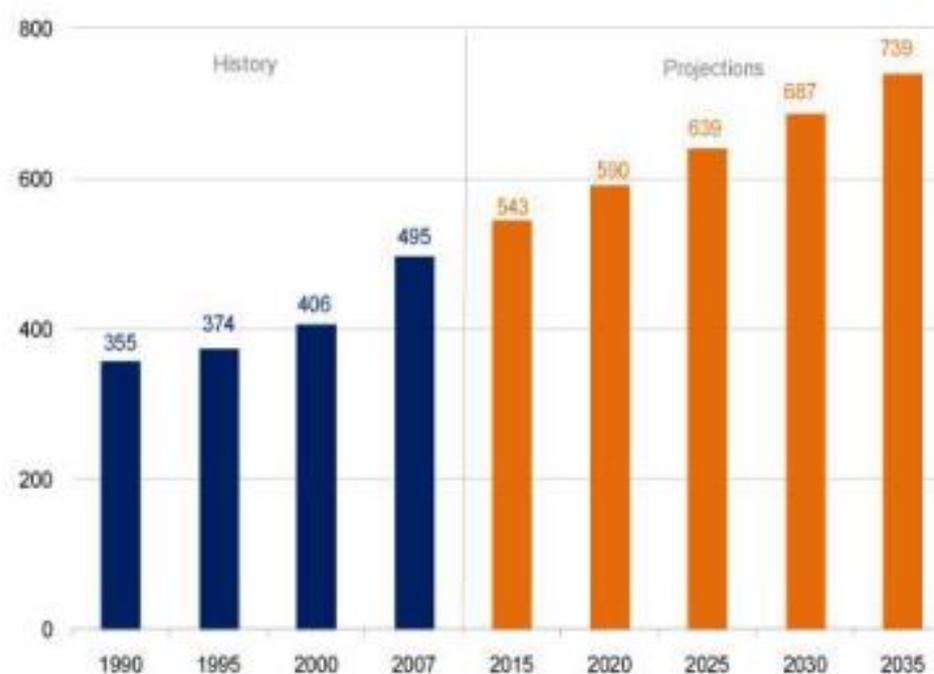


Рис. 3. Потребление энергии на мировом рынке в БТЕ (британская тепловая единица), количество тепловой энергии, необходимое для поднятия температуры 1 фунта воды от 59,5 до 60,5 °F. (1000 БТЕ /час = 293Вт).

Если обратиться к прогнозному сценарию в эквиваленте потребления электрической энергии, международное энергетическое агентство представляет следующие показатели.

Энергетический сектор, обеспечивающий жизнедеятельность всех отраслей, является индикатором состояния мирового народного хозяйства, так как во многом определяет основные финансово-экономические показатели. В связи с этим, энергетика играет важнейшую роль, проникая во все сферы жизни человека, являясь импульсом развития человечества на всех иерархических ступенях его существования, пронизывая все отрасли экономики [6, 7].



Рис. 4. Структура энергосектора.

Так или иначе, все сферы экономического пространства связаны с отраслью энергетики, и связь эта взаимообусловлена. Проблемы энергообеспечения – важнейшие проблемы народного хозяйства любого государства, определяющие уровень экономического развития, национальную безопасность и рост благосостояния граждан. Современная ситуация в мировом энергообеспечении весьма сложна и характеризуется следующими параметрами:

Во-первых, близко исчерпание основных разведанных запасов нефти и газа; Как полагает Медоуз Д., при реальной оценке запасов нефти, оставшиеся на каждом конкретном крупном месторождении, в ближайшие двадцать лет, с 2010-го по 2030-й, произойдет общее падение нефтедобычи на 50 процентов. Постоянно растет между объемом мировой добычи нефти и разведанных запасов. Разведанных запасов газа, по данным компании ВР хватит менее, чем на 70 лет.

Во-вторых, разведка и разработка новых месторождений углеводородов становятся все более дорогими.



Рис. 5. Растущий разрыв между ежегодным объемом мировой добычи нефти и объемом разведанных запасов.

В-третьих, наблюдается рост цен на энергоносители, исходя из первых двух параметров, который создает предпосылки для роста цен на общественные блага.

Обозначенные факторы оказывают влияние на политическую, социальную и экономическую сторону жизни мирового сообщества. Сегодня мы наблюдаем острую борьбу за энергетические ресурсы, межнациональные столкновения, несущие боль и разрушения.

Есть еще одна очень значимая проблема, связанная с энергообеспечением – экологическая. Рассмотрение исторического аспекта энергообеспечения мирового народного хозяйства выявило форсирование энергопотребления с развитием человеческой цивилизации – с каждым веком энерговооруженность усиливается все стремительнее, человек осваивает все новые источники энергии, новые технологии энергообеспечения. Вместе с позитивным влиянием новых открытий в энергообеспечении человечества на развитие общества существует и негативное. Воздействие на природу, с каждым этапом развития отрасли энергетики, все более усиливается. Этот процесс начался со второй половины I тысячелетия, когда нещадно вырубался лес для военных нужд, для освоения Америки и колонизации завоеванных стран. Освоение энергии пара и каменного угля провоцировало загрязнение атмосферы близ промышленных объектов (конец XVIII – начало XIX в.в.) четвертый период. Пятая энергореволюция на рубеже двух последующих веков, наряду с электрификацией и развитием автомобильного и воздушного транспорта, принесла выбросы побочных продуктов от электростанций и транспорта. В середине XX века возросли выбросы от ТЭЦ. И, сейчас, в начале XXI века, мир столкнулся с процессами многофакторного кризисного явления в энергообеспечении мировой экономики, связанными не только с истощением основных невозобновляемых природных ресурсов, но и с негативным влиянием использования традиционного топлива на экологию [18, 20].

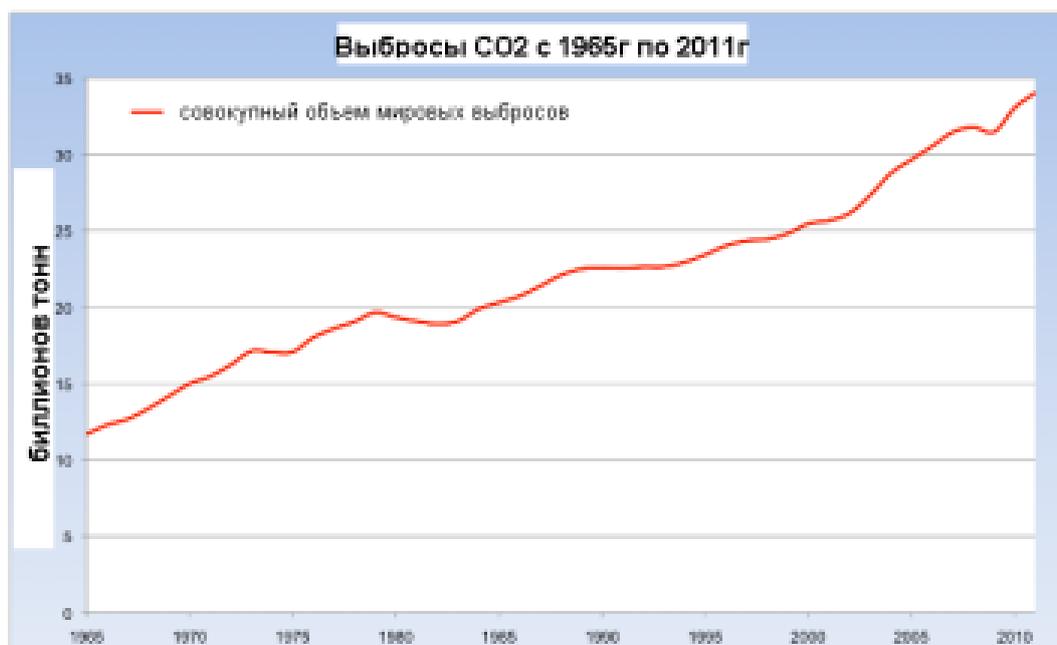


Рис. 6. Динамика выбросов CO<sub>2</sub>.

Длительная эксплуатация планеты в антагонистическом режиме несет опасность гибели общества. Поэтому в последние 10-летия развитые страны задумались над вопросом спасения планеты. И, несмотря на то, что в мире не существует единого плана энергетического развития Земли и разработки природных ресурсов, необходимость последовательной реализации программ квартета «энергетика-экономика-экология-общество», являющегося производным от триады «природа-общество-экономика» (необходимость сокращения кумулятивной эмиссии диоксида углерода, образующуюся от сжигания органического топлива), осознанна. Уже существует понимание, что решение проблемы требует целостного подхода и новой стратегии, совместных усилий всех стран, исключая линейный подход. Современная глобальная экономика находится в процессе трансформации, обусловленной тем, что мировой экономической кризис обнажил проблемы экономической системы, основанной на доминировании финансового капитала. Эта трансформация не могла не отразиться на энергетической отрасли как в вопросах использования

традиционных энергоносителей, так и альтернативных. Уже не требуется доказательств, что развитие возобновляемых источников энергии может принести серьезные экологические выгоды, что не исключает и экономических плюсов. Возобновляемые источники энергии, к которым относят биомассу, гидроэнергию, энергии солнца, геотермальных вод и ветра, могут заменять ископаемые виды топлива, сокращать зависимость от импортируемого топлива, создавать дополнительные возможности для некоторых отраслей промышленности и сельского хозяйства, уменьшать выбросы парниковых газов и других вредных веществ.

Проблема использования возобновляемых источников энергии была поставлена по инициативе ООН еще в 70-е годы. Были проведены международные конференции и саммиты в 1972г в Стокгольме, в 1992г в Рио-де-Жанейро и в 2002г в Йоханнесбурге, где была обозначена глобальная стратегия устойчивого развития, однако сдержать рост потребления невозобновляемых источников энергии пока не удается. Ядерная энергетика, на которую возлагались огромные надежды в вопросе мирового энергообеспечения, остро поразила человечество катаклизмами. Согласно утверждению Фомина Ю.А., перспектива эволюции в энергообеспечении, исходя из разумных соображений, теперь не может быть связана с атомной энергетикой, учитывая ряд аварий на атомных объектах, в частности, на Чернобыльской АЭС. Это обстоятельство не говорит в пользу массового использования атомной и ядерной энергии, а свидетельствует о необходимости поиска новых альтернатив. Ученые в области атомной энергетике, Шнайдер М., Фроггатт и др. тоже констатируют тот факт, что после столь серьезных катаклизмов нет оснований предполагать рост доли атомной энергии в мировом топливно-энергетическом балансе. Негатив к использованию атомной энергии наблюдается и со стороны общественности. Под влиянием социального негодования, в связи с катастрофой на АЭС в Японии, летом 2011 года правительством ФРГ была принята концепция полного отказа от производства электроэнергии на АЭС до 2022 года,

которая получила в Германии название «Энергетический поворот». В ней провозглашается необходимость развития возобновляемой энергетики в среднесрочном и в долгосрочном аспектах, и подтверждаются национальные цели в отношении климата. Неудивительно, что именно в странах ЕС декларируются цели, связанные с альтернативной энергетикой, ведь именно европейские страны находятся в состоянии устойчивой внешней зависимости от импорта энергоносителей.

В противовес приверженцам альтернативной энергетики, сторонники традиционной энергетики (как правило, это страны с мощными запасами углеводородов) призывают к реализму в энергетической политике. Но и они не стоят на месте. Для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду, например, в Саудовской Аравии в научно-исследовательском центре Эр-Рияда, проводятся глубокие исследования, для создания, по заявлению Халида Аль Фалиха, «прагматичных и доступных технологий будущего», связанных с использованием нефти.

В США вокруг энергетической стратегии ведутся глобальные споры. Лауреат нобелевской премии, известный ученый физик Рихтер Б., озабоченный проблемой выбросов CO<sub>2</sub> и других парниковых газов, выступает за замену всех угольных электростанций и электростанций на природном газе, но считает, что атомные электростанции все же имеют перспективу занять достойное место в выработке электрической энергии, необходимо лишь направить научные усилия на разработку новых, безопасных технологий генерации. Зеннен О. полагает, что акцент на альтернативные источники энергии стал своего рода «фетишем» для правительства, что основные усилия необходимо концентрировать на совершенствовании новых технологий в традиционной энергетике и в ресурсосбережении, т.к. ВИЭ-технологии весьма затратные, и не приносят должных дивидендов стране. Он критикует даже электроавто, влияние которых, по его мнению на окружающую среду не чуть не меньше, чем бензиновых [8, 9, 10].

Несмотря на критику ВИЭ – энергетики, правительственная поддержка сектора альтернативной энергетики в США очень значительна - существует различных вариантов льгот для предприятий, генерирующих альтернативную энергию и спрос на рынке «чистых» технологий, многие предприниматели США частично диверсифицировали свой бизнес. В частности, компания, Hydro Aluminum, стала одним из крупнейших поставщиков солнечных батарей, а United Technologies (производитель подъемников и системы кондиционирования) и Siemens заняли 7%-ую долю рынка по технологиям ветроэнергетики. Поэтому заявленная Пибалсом А. еще в 2006 году декларация «Мы можем честно сказать сегодня, что европейская модель «становится полюсом привлекательности» мирового энергетического регулирования» не безосновательна. Например, в ЕС с 2004 года помимо всех традиционных стимуляторов альтернативной энергетики, используются дополнительные выплаты владельцам биогазовых установок – 6 центов за кВт электроэнергии. Вернувшись к США, где, в отличие от Европы, достаточно углеводородных ресурсов, но, несмотря на это, альтернативная энергетика является стратегически значимым направлением в стране. Кроме возобновляемой энергетики, американские компании инвестируют в технологии, связанные с малой (блочной) атомной энергетикой, улавливание углерода и восстановления природного газа из сланцев. Эксперты Международного энергетического агентства (МЭА) считают, что мировое правительство (правительства развитых стран) должно вложить в течение ближайших 20 лет 25 600 млрд. долларов США в различные под отрасли энергетики для финансирования инфраструктуры, необходимой для удовлетворения растущего спроса на энергоносители.

Все чаще в ВИЭ-энергетические проекты включается экологическая оценка эффективности. Включение в процесс проектирования энергетических систем экологических критериев является чрезвычайно важным и инновационным шагом, учитывая высокую себестоимость ВИЭ-генераторов и его длительную окупаемость. Этот факт повлиял на

пересмотр национальной энергетической стратегии Швейцарии -2050 , поскольку концепция производства 2000W на 1 тонну испускаемого CO<sub>2</sub>-эквивалента на душу населения в год, определенная Федеральным советом Швейцарии в 2011году, к 2050 году должна быть реализована. На сегодняшний день Швейцария потребляет около 4600W на одного жителя и производит около 7 тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента на жителя в год. Обозначенные показатели планируется достигнуть за счет потенциала геотермальной энергии, фотоэлектричества, биомассы и энергии ветра. Основной акцент планируется сделать на геотермальную энергию и энергию биомассы, а также комбинированного производства электроэнергии. Использование энергетической интеграции по мнению специалистов, ответственных за реализацию концепции - это прорыв в энергообеспечении будущего страны [11].

## **1.2. Использование возобновляемых источников энергии.**

Несколько десятков лет назад, многие зарубежные политики и экономисты приняли решение стимулировать развитие возобновляемой энергетики. Более 80 государств разного географического расположения, разного уровня материального благополучия, с разным количеством ископаемых углеводородов рассматривают развитие альтернативной энергетики в качестве одной из приоритетных государственных задач. Новой тенденцией трансформации мировой энергетики является увеличение доли децентрализованного производства электрической и тепловой энергии, в том числе, связанных с возобновляемыми ресурсами. В 108 странах мира развитие альтернативной энергетики декларируются как национальная стратегия. Генерация на основе альтернативных источников энергии растет с каждым годом. Более половины (56%) прироста мировых мощностей электроэнергетики обеспечили ВИЭ в 2013 году. Мировое производство энергии от ветра, солнца, биомассы и отходов, геотермальной энергии, малой гидроэнергетики и энергии приливов и отливов в 2014 году оценивается в 9,1% общего мирового производства электроэнергии, в сравнении с 8,5% в 2013 году, что эквивалентно экономии выбросов 1,3 Гт CO<sub>2</sub>.

В сравнении с прошлым годом количество рабочих мест, занятых в секторе увеличилось на 18 %.

Существует несколько видов ВИЭ, некоторые из них к ВИЭ причисляются неоднозначно, когда одни ученые относят их к традиционным источникам энергии, в то время, когда другие считают их ВИЭ. Рассмотрим коротко каждый вид возобновляемых источников энергии.

Энергия приливов и отливов существенно несет в себе кинетическую энергию вращения земли. Это - единственная форма энергии, которая происходит непосредственно от системы взаимодействий Луны с Землей, и, в меньшей степени, от системы отношений Земли и Солнца. Приливные силы, произведенные Луной и Солнцем, в сочетании с вращением Земли,

являются мощными естественными энергогенераторами. Считается, что приливные генераторы более безвредны для окружающей среды и оказывают меньше воздействия на экосистемы. На сегодняшний день энергия приливов и отливов используется не так широко, однако ученые предсказывают ее высокий потенциал для будущего производства электроэнергии, поскольку энергопотоки приливной энергии более предсказуемы, чем энергия ветра и солнечная энергия.

Попытка использовать энергию приливов и отливов была уже в Средневековье, а по некоторым источникам, во времена Римской Империи. Гидроаккумулирующие электростанции, которые генерируют электроэнергию, строятся непосредственно на берегу океанов, сейчас такие генераторы альтернативной энергии существуют как в Европе, так и на Атлантическом побережье США [12, 13, 14].

Использование энергии волн связана с транспортировкой энергии океанских поверхностных волн, для производства электроэнергии, опреснения воды или перекачки воды (в водохранилища). Использование энергии волн несколько затруднено из-за непредсказуемости направления волны, в этом ее отличие от стабильного потока энергии приливов и отливов. Это и является лимитирующим фактором в ее использовании – коммерциализация проектов ВИЭ-электростанций на основе поверхностных волн весьма ограничена. Энергетические конвертеры волн (генераторы энергии) используются в Европе, где уже в 1890 году были первые попытки конвертации энергии волны. Первая в мире коммерческая ВИЭ-электростанция, основанная на генерации энергии волн, базируется в Португалии в парке Аквадора Вейв, и состоит из трех 750-киловаттовых блоков. Эта технология применяется также в Соединенных Штатах Америки, например, существует Тихоокеанский Северо-западный Кооператив, который производит электроэнергию в Ридспорте, штат Орегона. Эта ВИЭ-электростанция состоит из модульных, океанских бакенов. Повышение и падение волн создает механическую энергию, которая

преобразуется в электричество. ВИЭ, основанные на фотогальванике используют солнечную энергию для производства электричества. Это одна из наиболее быстрорастущих ВИЭ-технологий в мире. Развитие рынка, трансформация и усовершенствование технологий, использующих солнечную энергию, происходит в стремительном темпе. Солнечные батареи становятся более эффективными, транспортабельными и даже гибкими, упрощается их монтаж. Специалисты, работающие в этой области ВИЭ-технологий научились регулировать требуемую скорость и интенсивность потока солнечной энергии [16, 17].

В Японии поставлена задача достижения паритета стоимости доходов от традиционной и солнечной энергии, с каждым годом технологии солнечной энергетики оптимизируются и становятся все более коммерчески жизнеспособными.

Особенно активно в период 1970-х и в начале 1980-х рост производства солнечных батарей простимулировал нефтяной кризис 1973 года. В последствии, постоянно падающие цены на нефть, однако, привели к сокращению финансирования проектов, связанных с фотогальваникой, в особенности в США, где, по энергетическом закону в 1978 году были сняты и налоговые льготы предприятиям данного сектора. Это привело к тому, что с середины 1990-х лидерство в секторе производства плазмы перешло от США к Японии, и Германии, где были введены специальные субсидии. На сегодняшний день установки генерации солнечной энергии активно устанавливаются во всем мире [18].

Преобразование энергии ветра в полезный формат, такой как электричество или механическая энергия, осуществляется с помощью ветряных двигателей. Крупномасштабные ветровые электростанции, как правило, входят в общую электросеть, чтобы обеспечить электричеством изолированные области. Считается, что ветровые электростанции, установленные на пахотной земле или пастушихся областях, имеют одно из самых низких воздействий на окружающую среду из всех источников

энергии. Хотя ветер производит только около 1,5% мирового электричества, это направление ВИЭ-энергетики стремительно растет. Международный совет по ветроэнергетике прогнозирует увеличение доли мирового производства ветровой энергии до 12% к 2020 году [22, 24].

В некоторых странах доля ветрогенерации достигла относительно высоких уровней проникновения, составляя приблизительно 19% производства электроэнергии в Дании, 11% в Испании и Португалии, и 7% в Германии и Ирландской Республике. Энергия ветра исторически использовалась для движения парусных судов или преобразовывалась в механическую энергию для перекачки воды и размола зерна, о чем упоминалось в первой главе научного исследования, однако основное применение энергии ветра человечество нашло в эру электричества. С 2008 года Европа активно развивает использование направления оффшорной энергии ветра, из-за высокой плотности населения побережья Северного и Балтийского морей, и, соответственно, ограничения на подходящие местоположения ВИЭ-генераторов; кроме того, ветра Северного и Балтийского морей очень сильные и являются мощным ресурсом для энергообеспечения [121, 22].

Гидроэлектричество - электричество, произведенное гидро-электроэнергией, т.е., связанное с генерацией посредством использования гравитационной силы падения воды. Это - наиболее широко используемая форма возобновляемой энергии. Наиважнейшим параметром, обуславливающим популярность данного типа электрогенерации, является момент, характеризующий отсутствие прямых отходов, в том числе энергоотходов, после того, как гидроэлектрический комплекс построен и функционирует. Мелкомасштабная гидро или микрогидроэнергия становится все более и более популярным альтернативным источником энергии, особенно в отдаленных районах, где другие источники энергии не жизнеспособны. Мелкомасштабные гидроэнергосистемы могут быть установлены в небольших реках или потоках с минимальным заметным

воздействием на окружающую среду. Большинство мелкомасштабных гидроэнергосистем не требует создания специальной дамбы для мощной водной диверсии, им достаточно водяных колес, чтобы произвести энергию. На таких электростанциях производится приблизительно 19% электричества в мире. Мощные гидроэлектрические проекты создаются, чтобы поставлять электричество в общественные сети, чтобы обеспечивать нужды промышленных предприятий. Специальные гидроэлектрические проекты часто разрабатываются, чтобы обеспечить значительным количеством электричества, например, электролитические заводы, необходимые для производства алюминия. Такие электростанции есть в Шотландии, США, Новой Зеландии и др. странах. Геотермическая энергия - очень сильный и эффективный способ извлечь возобновляемую энергию из Земли, используя происходящие в ней естественные процессы. Это может быть применено в микромасштабе, чтобы обеспечить определенную температуру воздуха в доме (геотермический тепловой насос), или в очень крупном масштабе - выработка энергии через геотермическую электростанцию. Эта технология использовалась для обогрева и купания со времен Древнего Рима, но теперь более известна в качестве генератора электричества. Геотермическая энергия экономически выгодна, надежна, и безвредна для окружающей среды, но ранее была географически ограничена областями границ близ тектонической плиты. Недавние технические достижения существенно расширили диапазон и возможности естественных ВИЭ-ресурсов, специально для прямого использования, например, для отопления домов. Геотермическая энергия не требует никакого топлива и поэтому не подвержена колебаниям стоимости ресурса, но капитальные затраты достаточно велики - бурение скважин для извлечения глубинных ресурсов влечет за собой очень высокие финансовые риски. Из положительных аспектов - разная степень масштабируемости геотермической энергии, если крупный геотермический завод может обеспечить энергией несколько городов, то мини-электростанция может

поставлять электроэнергию в сельские деревни или нагреть отдельные дома. Одним из основных преимуществ геотермальной энергии является то, что она обеспечивает стабильную базисную мощность генерации при эксплуатации, в отличие от других возобновляемых источников энергии, таких как ветер или солнце, которые подвержены климатическим изменениям. В странах с благоприятными геологическими условиями, такими как Исландия, неиссякаемые горячие источники энергии необходимо максимально использовать для производства тепловой и электрической энергии. Тем не менее, в большинстве стран, не столь благоприятные условия, например, в Швейцарии, где гидротермальные ресурсы не имеют достаточного уровня температуры для производства электроэнергии [22, 25].

Биомасса, как возобновляемый источник энергии, относится к биологическому материалу, который может использоваться в качестве топлива или для промышленного производства электроэнергии. Это может быть мусор, старые деревья и ветви, щепа, разлагаемые микроорганизмами отходы, которые могут быть сожжены как топливо. Биомассой может быть растительная культура - гашиш, зерно, тополь, ива, сорго, сахарный тростник и множество разновидностей деревьев, от эвкалипта до масличной пальмы (пальмовое масло). Производство энергии на основе биомассы – растущая отрасль, поскольку она (биомасса) является неиссякаемым источником энергии и экономически оправдана. В Соединенных Штатах Америки доля биомассы в американском электроснабжении составляет приблизительно 0,5 %. Этот факт уменьшает зависимость страны от нефти больше чем на один миллион баррелей в год, а сырьем является сахарный тростник, древесные отходы, отходы заповедников, отходы жизнедеятельности животных.

В качестве альтернативы ископаемого топлива, из которого производится бензин, дизель или пропан, используется природный газ метан. Хотя его сгорание все же выбрасывает парниковые газы, но это - более экологически чистая альтернатива традиционному топливу, и намного

более безопасный энергоноситель, чем другие виды топлива в случае протекания (природный газ легче воздуха, и рассеивается быстро). Используется газ метан в традиционных автомобилях для бензиновых двигателей внутреннего сгорания, которые переделываются в дуотопливные транспортные средства (бензин/газ). Транспортные средства на природном газе все более и более используются в Европе и Южной Америке из-за возрастающих цен на бензин. В ответ на высокие цены на топливо и экологические проблемы, газ метан все более применяется также в транспортных средствах для перевозки пассажиров, для пикапов, автофургонов, транзитных и школьных автобусов и поездов. Лидером по количеству транспортных средств на метане является Италия. Крупнейший производитель природного газа - Канада, поэтому и в Канаде этот энергоноситель очень популярен в качестве экономичного моторного топлива. Канадские промышленники разработали двигатели на метане для грузовых автомобилей и автобусов, легких грузовиков и такси. По всей стране в крупнейших центрах оборудованы специализированные заправочные станции на природном газе. Активно этот вид топлива использовался в Новой Зеландии в период 1970-х и 1980-х, в связи с нефтяными кризисами, но позже, когда цены на бензин упали, потребление природного газа уменьшилось в пользу традиционного моторного топлива.

## **Глава II. Общие характеристики пассивных домов.**

### **2.1. Определение и специфика понятия «пассивный дом».**

Пассивный дом, энергосберегающий дом или экодом (нем. *passivhaus*, англ. *passive house*) — сооружение, основной особенностью которого является отсутствие необходимости отопления или малое энергопотребление — в среднем около 10 % от удельной энергии на единицу объема, потребляемой большинством современных зданий. В большинстве развитых стран существуют собственные требования к стандарту пассивного дома [6].

Растут цены на электричество и тепло. Остро стоит вопрос эксплуатационных затрат на жилье. Показателем энергоэффективности объекта служат потери тепловой энергии с квадратного метра ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ) в год или в отопительный период. В среднем составляет 100—120  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . Энергосберегающим считается здание, где этот показатель ниже 40  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  [5]. Для европейских стран этот показатель еще ниже — порядка 10  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ .

Достигается снижение потребления энергии в первую очередь за счет уменьшения теплопотерь здания.

Архитектурная концепция пассивного дома базируется на принципах: компактности, качественного и эффективного утепления, отсутствия мостиков холода в материалах и узлах примыканий, правильной геометрии здания, зонировании, ориентации по сторонам света. Из активных методов в пассивном доме обязательным является использование системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией.

В идеале, пассивный дом должен быть независимой энергосистемой, вообще не требующей расходов на поддержание комфортной температуры. Отопление пассивного дома должно происходить благодаря теплу, выделяемому живущими в нем людьми и бытовыми приборами. При необходимости дополнительного «активного» обогрева, желательным является использование альтернативных источников энергии. Горячее

водоснабжение также может осуществляться за счет установок возобновляемой энергии: тепловых насосов или солнечных водонагревателей. Решать проблему охлаждения/кондиционирования здания также предполагается за счет соответствующего архитектурного решения, а в случае необходимости дополнительного охлаждения - за счет альтернативных источников энергии, например, геотермального теплового насоса.

Иногда определение «пассивный дом» путают с системой «умный дом», одной из задач которой является обеспечение контроля энергопотребления здания. Также отличается система «активного дома», которая помимо того, что мало тратит энергии, еще и сама вырабатывает ее столько, что может не только обеспечивать себя, но и отдавать в центральную сеть (дом с положительным энергобалансом).

Визуально пассивный дом не отличается от обычного. Речь идет не о вопросе стиля, а просто о современном строительном стандарте. Пассивный дом является логичным продолжением дома с низким потреблением энергии. Его отличительными особенностями являются особый комфорт, оптимальные температурные условия и высокое качество воздуха в помещении - и это при максимально низком потреблении энергии. При обычном пользовании в пассивном доме потребляется 1,5 л нефти или 1,5 м<sup>2</sup> природного газа (15 кВт·ч) на м жилой площади в год. По сравнению со средним потреблением энергии в традиционных домах это означает экономию 90 %. Даже традиционные новостройки потребляют 6-10 л нефти на м<sup>2</sup> жилой площади.

Как же пассивный дом достигает таких показателей? В первую очередь пассивный дом обладает компактным корпусом: при минимальной наружной поверхности потеря энергии изначально минимизируется. При этом используются строительные элементы, которые настолько снижают тепловые потери, что дом практически не нуждается в отоплении. Это теплозащитные окна с тройными стеклами и изолированной рамой, а также особенно хорошая теплоизоляция стен, крыши и подвала. Герметичная оболочка здания предотвращает нежелательную потерю тепла при проветривании и заботится

о безупречном функционировании вентиляционной установки, обеспечивающей приятно свежий воздух в помещении и использующей отводимый воздух дополнительно для возврата тепла. Чтобы покрыть остающуюся потребность в тепле, используется эффективная бытовая техника. Так получается пассивный дом, который использует пассивные источники тепла (например, солнце, человека, бытовые приборы), а также тепло отработанного воздуха и может практически отказаться от дорогих источников энергии, таких как нефть и природный газ. И это является крайне своевременным с учетом постоянной растущей стоимости энергии.

Основоположником направления энергоэффективных домов является доктор Вольфганг Файст, основатель Института Пассивного дома в немецком городе Дармштадт. Авторами архитектурной части проекта являются архитекторы проф. Ботт-Риддер и Вестермауер; разработкой и реализацией проекта руководил сам доктор Вольфганг Файст, который работал в то время еще в Институте жилья и окружающей среды. Здание было полностью построено в 1991 г. и с октября 1991 г. в нем проживают четыре семьи. Это здание нуждается в столь малом количестве тепла, что можно было бы действительно отказаться от отдельной системы отопления: расход на отопление составляет меньше 1 л жидкого топлива в год на 1 м<sup>2</sup> жилой площади. С 1996 г. под надзором «Рабочей группы малозатратных пассивных домов» было построено уже 600 квартир в пассивных домах второго поколения. К вышесказанному относятся:

- первый поселок, состоящий из пассивных домов, в г. Висбадене с 22 таунхаусами, которые были полностью построены в 1997 г. заказчиком Rasch & Partner. (Под таунхаусами понимают дома одинакового конструктивного исполнения и типа, которые построены в один ряд (возможно небольшое смещение по горизонтали или вертикали) и имеют общие боковые стены с соседними домами);
- здания, построенные с использованием опалубочных элементов заказчиком Fruh и другими;

- отдельные и двухквартирные коттеджи, которые возводили с 1998 г. как пассивные дома архитектор Манфред Браузер;
- административное здание фирмы Wagner&Co, которое эксплуатируется с 1998 г. без традиционного отопления и без кондиционеров;
- дома архитектора Рудольфа, в особенности поселок в Фирнгейме и поселок из пассивных домов в Штутгарте.

К современным экспериментам повышения энергосбережения зданий также можно отнести сооружение, построенное в 1972 году в городе Манчестер в штате Нью-Гэмпшир (США). Оно обладало кубической формой, что обеспечивало минимальную поверхность наружных стен, площадь остекления не превышала 10 %, что позволяло уменьшить потери тепла за счет объемно-планировочного решения. По северному фасаду отсутствовало остекление. Покрытие плоской кровли было выполнено в светлых тонах, что уменьшало ее нагрев и, соответственно, снижало требования к вентиляции в теплое время года. На кровле здания были установлены солнечные коллекторы.

В 1973—1979 годах был построен комплекс «ECONO-HOUSE» в городе Отаниеми, Финляндия. В здании, кроме сложного объемно-планировочного решения, учитывающего особенности местоположения и климата, была применена особая система вентиляции, при которой воздух нагревался за счет солнечной радиации, тепло которой аккумулировалось специальными стеклопакетами и жалюзи. Также, в общую схему теплообмена здания, обеспечивающую энергосбережение, были включены солнечные коллекторы и геотермальная установка. Форма скатов кровли здания учитывала широту места строительства и углы падения солнечных лучей в различное время года.

За двадцать лет проведены глубокие исследования влияния на термостатирование зданий многочисленных факторов, как в процессе строительства, так и процессе эксплуатации, отработаны программы расчета и технологии строительства. На базе этих сформированных знаний стало

возможным широкое распространение Пассивных домов не только в Германии, но и во всех странах Запада. В этих домах применяются современные строительные материалы и конструкции и новейшее инженерное оборудование. На сегодня - это самые совершенные дома в Европе с точки зрения комфорта внутреннего климата помещений. В этих домах автоматически поддерживаются: комфортные температура и влажность воздуха внутри дома, чистота воздуха EU -7 (особо чистый воздух). Ощущение комфорта среды у человека, попавшего в Пассивный дом, начинается уже с первых минут пребывания в нем. Чистый, теплый свежий воздух, теплые стены и полы (хотя отопление полов отсутствует) вызывает ощущение пребывания в горной местности в летний период. Если учесть, что человек за свою жизнь более 50 % находится в жилище, то такая комфортная среда обитания внутри Пассивного дома, благотворно влияя на здоровье человека, способствует существенному продлению дееспособного срока жизни человека. Очень много информации в западной прессе о пользе Пассивных домов для аллергиков. Поэтому именно фактор необычного внутри климатического комфорта, а не экономия энергии в последние годы становится причиной растущей популярности Пассивных домов в Европе, особенно на вторичном рынке. На популярность Пассивных домов также повлияло снижение стоимости их строительства до уровня стоимости домов традиционного типа благодаря массовости строительства, совершенствованию технологии строительства и инженерного оборудования.

Тем не менее, сейчас стоимость постройки энергосберегающего дома все же примерно на 8-10 % больше средних показателей для обычного здания. Дополнительные затраты на строительство окупаются в течение 7-10 лет. При этом нет необходимости прокладывать внутри здания трубы водяного отопления, строить котельные, емкости для хранения топлива и т. д.

Итак, уникальность Пассивного дома в том, что его можно построить в «чистом» поле без использования сетей газа и теплоцентралей. Нужна только вода и электроэнергия в обычном размере 10 кВт на дом или квартиру. Этого

вполне достаточно для приготовления пищи, отопления, кондиционирования, вентиляции, горячей и холодной воды. При возможном отключении электроэнергии Пассивный дом остывает на 1 °С в сутки при температуре наружного воздуха -15 °С. Во многом этому способствуют аккумуляторы тепла, роль которых выполняют массивные несущие стены, железобетонные плиты пола первого этажа и междуэтажные перекрытия. Можно еще более повысить энергобезопасность Пассивного дома дополняя инженерное оборудование различными источниками энергии: камины, печи, тепловые насосы, солнечные коллекторы для подогрева воды, солнечные батареи, ветроэлектростанции, и т. д. Такие мероприятия по повышению энергобезопасности могут сделать Пассивный дом полностью энергонезависимым с децентрализованным энергоснабжением, водоснабжением и очисткой бытовых стоков. Колодцы, скважины для воды и индивидуальные очистные сооружения сегодня выполняются многими фирмами и являются делом обыденным.

## 2.2. Технологии пассивного дома. Эффективность системы.

Теплоизоляция оболочки пассивного дома оказывает решающее влияние на необходимое потребление тепловой энергии на отопление. Эта теплоизоляция должна:

- иметь высочайшее качество;
- укладываться плотно и без зазоров вокруг всего здания.

Теплоизоляция здания считается самой лучшей тогда, когда значительно снижаются теплотери. Проще всего это достигается при проектировании наружных стен по возможности с минимальной площадью. Такое устройство теплоизоляции является экономически эффективным: если площадь наружной оболочки мала, то уменьшается стоимость строительства.

Принципы для достижения этого давно известны:

- по возможности компактный способ строительства с благоприятным  $A/V$  соотношением (отношение площади внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций здания к отапливаемому объему здания);
- сооружение пристроек вместо отдельно стоящих зданий;
- следует избегать сложных форм наружной теплоизоляционной оболочки здания.

Это не означает, что необходимо отказаться от архитектурных деталей оформления фасадов. Проблема в том, что за теплоизоляционной оболочкой и в ней самой появляются новые зазоры. Компактность - это в первую очередь вопрос цены строительства. Чем менее компактна оболочка здания, тем больше необходимо инвестировать для сокращения теплотерь, что приводит к удорожанию строительства.

Основные принципы хорошей теплоизоляции:

- необходимо определить замкнутую термическую (теплоизоляционную) оболочку, охватывающую комфортную зону. Все

помещения, температура которых в зимнее время должна быть выше  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , находятся внутри оболочки;

- эта оболочка, которая прерывается только в местах установки окон, должна иметь во всех местах высокие теплоизоляционные характеристики. Минимальная толщина утеплителя составляет в любом месте теплоизоляционной оболочки 25 см. (Группа по коэффициенту теплопроводности 040, т. е.  $X = 0,04\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ ). Желательно, чтобы коэффициент теплопередачи был равен  $R_0 = 10\text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ .

Оболочки зданий состоят не только из общепринятых конструкций (стена, крыша, перекрытие), но и охватывают грани, углы, стыки и места нарушения целостности наружной теплоизоляционной оболочки (вследствие сквозного прохождения, например, трубопроводов, вентиляционных каналов или элементов строительных конструкций). Во всех этих местах теплотери, как правило, увеличены по сравнению с обычными поверхностями. Благодаря тщательному проектированию и добросовестному выполнению возможно довольно сильно сократить теплотери, возникающие из-за тепловых мостов.

Приведем основные принципы, которые должны соблюдаться при повышении теплового сопротивления ограждающих конструкций:

- Разделение функций строительных материалов в конструкциях. Конструкционные и крепежные элементы должны обеспечивать прочность, утеплители должны обеспечивать тепловую изоляцию, декоративно-отделочные материалы - внешний вид. При таком подходе удастся сократить количество «тепловых мостов», по которым тепло из дома может выходить наружу.

- Теплоизоляция должна располагаться равномерно и непрерывно по всему контуру здания.

- Мостики холода должны максимально исключаться и при необходимости иметь дополнительную теплоизоляцию.

- По всему контуру здания должна быть проложена воздухонепроницаемая оболочка, обеспечивающая герметизацию здания.

При реализации вышеизложенных принципов стоимость кирпичной стены, обеспечивающей необходимое тепловое сопротивление в несколько раз выше каркасной стены с облицовкой. Это видно из сопоставления толщин стен различных конструкций одинаковой теплопроводности, обеспечивающих тепловое ограждение для разницы температур -26 градусов снаружи, +18 градусов внутри:

Наиболее проблемные места для теплозащиты здания:

- места сочленения крыши и стен;
- места примыкания перекрытий и стен;
- контуры установки оконных коробок и примыкания фрамуг;
- места примыкания стен к фундаменту.

Как правило, места примыкания стараются делать с применением термовкладок из конструкционных материалов с низкой теплопроводностью. Например, блоки из ячеистого бетона, специальных видов кирпича и т.д. Места сочленений дополнительно герметизируют различными видами герметиков, пластичными строительными растворами.

Теплопотери через фундамент сокращают:

- теплоизоляцией фундамента снаружи по всей высоте;
- установкой горизонтальной наружной теплоизоляции по периметру дома у нижней кромки опоры фундамента;
- установкой фундаментных блоков на песчанную подушку;
- применением схемы укладки плиты первого этажа на грунт через сэндвич: песчанная подушка, гидроизоляция, толстый утеплитель;
- фундаментные блоки над поверхностью должны иметь теплоизоляцию снаружи и изнутри.

- Вентиляция

Пассивный дом - коттедж, который построен очень качественно - в нем нет щелей и отверстий для естественной вентиляции. Он непродуваем. Поэтому в пассивном доме обязательным атрибутом является вентиляционная установка, которая обеспечивает регулируемый воздухообмен. В помещении

поступает воздух нужного объема и правильной температуры (минимум +17 °С, независимо от времени года). Нужная температура обеспечивается рекуператором (элемент вентиляционной установки), в котором выходящий из дома отработанный воздух отдает свое тепло воздуху входящему (рис. 1). Для дополнительного подогрева входящего воздуха в зимний период и снижения энергозатрат используется грунтовой теплообменник. В результате расход энергии на работу такой для выполнения управляемой системы вентиляции необходимо выполнение следующих гигиенических условий:

- потребность в приточном воздухе:  $V = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^3$  жил. площади,
- температурные ограничения:  $q < 500 \text{ °С}$  в калорифере,
- $Qq = 30 \text{ К}$ ; max тепловая нагрузка:  $P_{kz} = 1 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^3) \cdot 0,33 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{К}\cdot\text{м}^3) \times 30 \text{ К} = 10 \text{ Вт}$  ( $\text{м}^3$  жил. площади).

Необходимо, чтобы максимально допустимый годовой удельный расход тепловой энергии на отопление здания, относящийся к жилой площади, составлял  $S=15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ .

На примере можно показать, что требуемое минимальное отопление легко достигается с помощью нагрева приточного воздуха. Если максимальная требуемая тепловая нагрузка на систему отопления здания составляет менее чем  $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , то для жилой комнаты будет достаточно излучения двух вышеупомянутых ламп накаливания. Требуемое тепло получают в этом случае, нагревая приточный воздух системы принудительной вентиляции.

Вентиляционной системы пассивного дома абсолютно минимален - энергия тратится только на перемещение воздуха.

Выше на рисунке показаны расчеты, почему и как это функционирует. Если, нагрев приточного воздуха системы вентиляции достаточен для здания как единственный источник тепла для системы отопления, то такое здание называют пассивным домом, так как оно не нуждается в активной системе отопления, а также в системе кондиционирования.

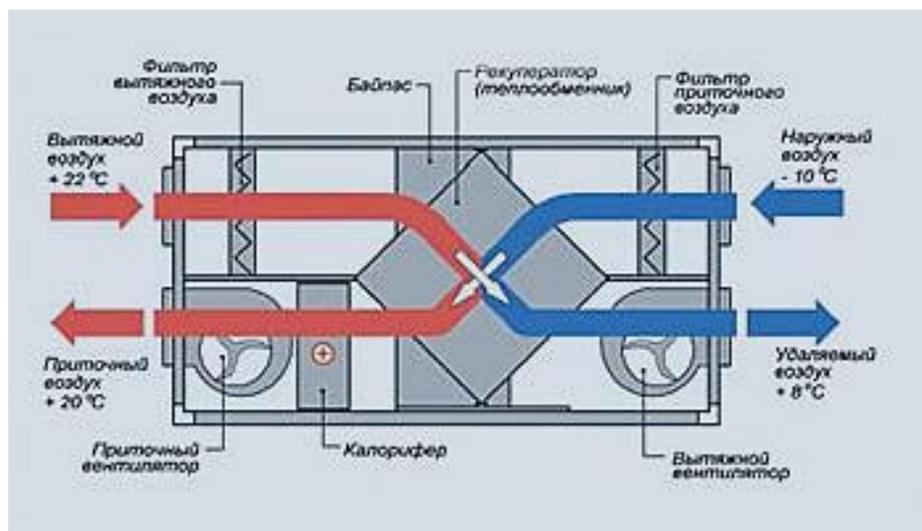


Рис. 7. Схема рекуперативного теплообменника приточно-вытяжной вентиляционной системы.

Обязательным условием для соблюдения качества воздуха в жилых помещениях является контролируемая система вентиляции. При этом следует избегать рециркуляции воздуха.

Тем не менее, приточный воздух этой обновленной системы вентиляции можно использовать для транспортирования небольшого количества тепла (летом - холода). По немецким промышленным нормам DIN 1946 на одного человека требуется  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  свежего воздуха, таким образом, получается, что при соблюдении условия  $30 \text{ м}^2$  жилой площади на одного человека необходимо на каждый квадратный метр жилой площади  $1 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{-ч})$  приточного воздуха.

Максимальная температура в воздухонагревателе (калорифере) должна быть менее  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , чтобы предотвратить подгорание пыли. Простой расчет с теплоемкостью воздуха, равной  $0,33 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\cdot\text{K})$ , дает в итоге максимальную тепловую нагрузку в размере  $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , которая может быть без проблем подведена с помощью приточного воздуха. Этот результат относится, впрочем, ко всем жилым зданиям независимо от климата. Разница между теплотерями и свободным теплом (телопоступления без учета расхода тепла на отопление) ограничена этой совсем малой величиной. Однако затраты на строительство значительно различаются в зависимости от климата.

Нагревание приточного воздуха происходит с помощью калорифера, который догревает приточный воздух до необходимых параметров и расположен непосредственно за теплообменником. После калорифера вентиляционный канал с приточным воздухом может проходить в обычном случае только внутри теплых помещений. Необходимо предотвращать непосредственный перенос тепла из канала с приточным воздухом в канал с вытяжным воздухом. Часть тепла передается в помещения уже через систему каналов с приточным воздухом, а это вполне желательный процесс. Тепло для подогрева приточного воздуха может быть заимствовано, к примеру, из предусмотренной проектом системы нагрева горячей воды. Требуемая тепловая нагрузка для системы вентиляции в любом случае намного меньше, чем максимальная нагрузка для получения горячей воды.

Особенно хорошей возможностью является получение тепла с помощью маленького, высокоэффективного теплового насоса с величиной годового коэффициента преобразования больше 3. В качестве источника тепла для теплового насоса может служить удаляемый воздух на выходе после теплообменника. Если, как рекомендовано, применять грунтовый теплообменник для предварительного нагрева наружного свежего воздуха, то температура удаляемого воздуха даже в самые холодные дни составляет не менее 6...10 °С.

Тепловые насосы относятся к наиболее эффективным средствам использования энергии окружающей среды, т. к. позволяют получить в 3 раза больше энергии по сравнению с затраченной в месте использования и покрыть все энергопотребности здания (при условии его хороших теплотехнических характеристик). Более того, тепловые насосы повышенной мощности способны обеспечивать энергией не только отдельные здания, но и целые районы городской застройки, что делает весьма целесообразным их использование в групповых (централизованных) источниках энергоснабжения.

Тепловые насосы делятся на геотермальные (грунтовые) и воздушные. Как следует из названий, первые используют в качестве источника тепла тепло грунта, вторые - воздух. Воздушные тепловые насосы дешевле (в том числе и в монтаже), но работают на тепло при температуре не ниже минус 15 °С. Соответственно в наших условиях их применение ограничено.

Случае только внутри теплых помещений. Необходимо предотвращать непосредственный перенос тепла из канала с приточным воздухом в канал с вытяжным воздухом. Часть тепла передается в помещения уже через систему каналов с приточным воздухом, а это вполне желательный процесс. Тепло для подогрева приточного воздуха может быть заимствовано, к примеру, из предусмотренной проектом системы нагрева горячей воды. Требуемая тепловая нагрузка для системы вентиляции в любом случае намного меньше, чем максимальная нагрузка для получения горячей воды.

Особенно хорошей возможностью является получение тепла с помощью маленького, высокоэффективного теплового насоса с величиной годового коэффициента преобразования больше 3. В качестве источника тепла для теплового насоса может служить удаляемый воздух на выходе после теплообменника. Если, как рекомендовано, применять грунтовый теплообменник для предварительного нагрева наружного свежего воздуха, то температура удаляемого воздуха даже в самые холодные дни составляет не менее 6...10 °С.

Тепловые насосы относятся к наиболее эффективным средствам использования энергии окружающей среды, т. к. позволяют получить в 3 раза больше энергии по сравнению с затраченной в месте использования и покрыть все энергопотребности здания (при условии его хороших теплотехнических характеристик). Более того, тепловые насосы повышенной мощности способны обеспечивать энергией не только отдельные здания, но и целые районы городской застройки, что делает весьма целесообразным их использование в групповых (централизованных) источниках энергоснабжения.

Тепловые насосы делятся на геотермальные (грунтовые) и воздушные. Как следует из названий, первые используют в качестве источника тепла тепло грунта, вторые - воздух. Воздушные тепловые насосы дешевле (в том числе и в монтаже), но работают на тепло при температуре не ниже минус 15 °С. Соответственно в наших условиях их применение ограничено.

В таком случае обычный накопительный бак заменят специальной емкостью, обеспечивающей нагрев воды не только от отопительного прибора, но и солнца. Объемы таких «солнечных» накопительных баков больше (как правило, от 500 л.). Это решение позволяет обеспечивать ГВС исключительно за счет солнечной энергии в течение примерно полугода (в том числе в Ташкенте), и в этот период времени энергозатраты на горячее водоснабжения близки нулю.

Для электроснабжения пассивного дома рекомендуются солнечные (фотоэлектрические) панели с соответствующими аккумуляторами в сочетании с генератором на жидком топливе (дизель), либо на газообразном (природный газ), используемым периодически в период осень - весна, а также в качестве резервного источника (на случай длительных периодов пасмурной погоды). Использование ветряных электрогенераторов для автономного дома может быть рационально в регионах с соответствующей ветровой нагрузкой и при наличии большой территории участка. Электрическая энергия используется в домашнем хозяйстве для многих целей: охлаждение, заморозка, стирка, мойка посуды, связь, освещение и многое другое. Эта используемая техника значительно облегчила нашу жизнь и сделала ее комфортнее. По аналогии с отоплением помещений, для которых расход энергии благодаря современной технике пассивного дома можно свести почти к нулю, потребление электрической энергии в домашнем хозяйстве также значительно сокращается благодаря эффективным приборам.

Положительный баланс от солнечных теплопоступлений может значительно уменьшиться, если из-за плохих оконных рам и тепловых мостов в области окон недопустимо высоко возрастут тепло потери. Обычные

оконные рамы имеют значения коэффициента теплопередачи 1,5...2 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Тепло потери от 1 м<sup>2</sup> таких рам более чем в два раза превышают тепло потери от 1 м<sup>2</sup> остекления для пассивного дома, для которого коэффициент теплопередачи примерно равен 7 Вт/(м·°С). Кроме этого, необходимо учитывать значительные тепловые мосты в местах соединения остекления с рамой. В таком случае, чтобы снова не потерять положительный баланс от солнечных теплопоступлений вследствие этих дополнительных теплопотерь, необходимо применять оконные рамы с высоким термическим сопротивлением.

Окна пассивных зданий работают как солнечные коллекторы - теплопоступления от пассивного использования солнечной энергии вносят основной вклад в возмещение теплопотерь. Цель состоит не в том, чтобы любой ценой получить максимально возможное количество солнечной энергии, а в большей степени в том, чтобы по возможности сохранять на минимальном уровне недостающую потребность в энергии на отопление.

Принципы, необходимые для пассивного использования солнечной энергии в пассивных зданиях:

- теплопотери через прозрачные поверхности должны быть незначительными. Необходимы высококачественные остекления, которые имеют высокую пропускающую способность солнечной энергии, но прежде всего низкий коэффициент теплопередачи ( $R_0$ );
- прочие потери по периметру окна должны быть незначительными: тепловые мосты в месте соединения остекления с оконной рамой (по краям остекления), а также вместе примыкания оконной рамы и наружной стены значительно повышают теплопотери;
- Также должна быть возможность теплопоступлений от использования солнечной энергии через прозрачные поверхности: это означает прежде всего необходимую ориентацию (юг для зимних месяцев идеален) и отсутствие препятствий, дающих тень. Строительные элементы, расположенные перед фасадом и дающие тень, не пропускают солнечные

лучи. В этом случае остекление не может выполнять функции коллектора и всегда будут иметь место высокие теплотери.

Ключевое значение для энергоснабжения пассивного дома имеет возобновляемая энергетика. Наиболее важной проблемой при проектировании зданий, использующих энергию природной среды, является поиск путей и средств эффективного управления процессами распределения энергетических (воздушных, тепловых, световых и др.) потоков с целью поддержания оптимальных микроклиматических параметров помещений в условиях циклических (суточных, сезонных) и периодических (облачность, осадки) изменений параметров внешней среды. При этом ключевое значение имеет решение трех задач:

- как собрать энергию (как получить необходимое количество энергии, учитывая ее определенную рассеянность во внешней среде, т. е. компенсировать недостаточную мощность естественных энергетических потоков);
- как хранить(аккумулировать)собранную энергию (как компенсировать характерное несовпадение во времени периодов и суточно-сезонную неравномерность поступления и потребления энергии);
- как распределять энергию (как обеспечить регулируемое распределение энергии в здании для обеспечения требующихся в данный момент и в данное время функционально-технологических и микроклиматических параметров его элементов).

Основными элементами энергоснабжения предлагается солнечные коллекторы и тепловой насос.

Для выработки тепловой и электрической энергии могут применяться различные технические устройства, которые можно разделить на активные и пассивные. К активным относятся:

- гелиоприемники - в виде особо сконструированных панелей из фотоэлектрических элементов, обеспечивающих получение электроэнергии,

или плоских гелиоколлекторов теплообменного типа, обеспечивающих получение тепла;

- гелиостаты - зеркальные отражатели, перераспределяющие потоки солнечной энергии в пространстве (позволяют сократить площадь коллекторов в 2 - 4 раза;

- концентраторы - криволинейные (обычно, зеркальные) отражатели, обеспечивающие сведение энергетического потока к точечному приемнику, на котором за счет повышения плотности излучения можно получать температуры до 650 °С с К.П.Д. около 75 %.

С другой стороны, основными пассивными средствами будут служить:

- термические емкости - нагреваемые солнцем и медленно отдающие тепло естественные аккумуляторы (массивные конструкции зданий: каменные и водонаполненные стены, перекрытия; внутренние и наружные водоемы, каменные и глинистые массивы грунта и т. п.;

- энергоактивные буферные пространства, в отличие от изолирующих энергоэкономичных, собирают тепло, отдаваемое термическими емкостями во внешнюю среду, посредством естественного "парникового эффекта", который имеет место в пространствах со светопрозрачными наружными ограждениями (теплицы, оранжереи, веранды) и позволяют обеспечить до 25% энергопотребления; так, весьма высокая энергетическая эффективность буферных пространств, использующих энергию солнца, наблюдается при устройстве теплиц на крышах зданий (общественных, производственных, жилых)

- «солнечные трубы» - вертикальные пространства на всю высоту здания, через которые осуществляется внутреннее воздушное отопление (зимой) и качественное проветривание (летом) всех основных помещений за счет эффекта естественной вертикальной тяги;

- другие ландшафтно-градостроительные, объемно-планировочные и конструктивные средства, обеспечивающие приток наибольшего количества

- энергии к «улавливающим» ее частям здания, а также кратчайшие пути ее распределения.

- - комбинированные системы - например, стена-витраж, обеспечивающая нагрев внутренних ограждений помещения, выполненных в виде термических емкостей, а также остекленные атриумы, являющиеся квинтэссенцией пассивных средств использования энергии природной среды: энергетическая структура атриума, соединяющая свойства термических емкостей, буферного пространства, «солнечной трубы» и даже световода, определяет его значение как ключевого инструмента регулирования микроклиматических параметров здания, разумное использование которого позволяет обеспечить помещения естественным освещением (устройство атриума наиболее эффективно, когда предусматривается его использование для вентиляции, отопления и освещения; с другой стороны, неоспоримые функциональные и эстетические качества атриумов сообщают им исключительную социальную значимость; остекленные атриумы, как пассивные системы, обладающие целым комплексом ценных энергетических свойств, стали наиболее характерным элементом сооружений, проектируемых в соответствии с принципами биоклиматической архитектуры.

- Тепловой насос - устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой [1]. С точки зрения термодинамики, тепловой насос аналогичен холодильной машине. Однако если в холодильной машине основной целью является производство холода путем отбора теплоты из какого-либо объема испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель - теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

Достоинства теплового насоса (теплонасосной установки - ТНУ):

По виду теплоносителя во внешнем и внутреннем контурах ТНУ делят на шесть типов: «грунт-вода», «вода-вода», «воздух-вода», «грунт-воздух», «вода-воздух», «воздух-воздух». Выбор конкретного типа ТНУ

осуществляется в зависимости от климатических условий и условий использования установки.

- Тепловой насос экономичен, так как при потреблении 1 кВт·ч электроэнергии выдает от 3 до 5 кВт·ч тепловой энергии.
- Работает как на обогрев и обеспечение ГВС, так и в качестве кондиционера.
- Тепловой насос надежен, его работой управляет автоматика, при помощи которой осуществляется контроль и регулирование температуры в обогреваемых помещениях.
- Компактность и отсутствие шума.

Особенно эффективен тепловой насос в сочетании с системой теплый пол и при применении теплового аккумулятора (например, бойлер), запасующего и перераспределяющего тепловую энергию в течение суток.

В качестве варианта снижения затрат на строительство пассивного дома, может быть применен принцип «Объемно-модульного строительства» - один из видов сборного строительства, основанный на использовании предварительно изготовленных в заводских условиях блок-модулей при возведении малоэтажных зданий различного назначения.

Основными преимуществами этих технологий считаются:

- Короткий срок строительства жилья «под ключ» - процесс строительства больше напоминает сборку конструктора. Срок строительства готовых к заселению зданий «под ключ» составляет не более 10 дней, сами модули, из которых в дальнейшем на строительной площадке монтируется жилой дом со всей необходимой внутренней отделкой, производятся на заводе.

- Относительно низкая себестоимость строительства - около 160 долл. за кв. м. без учета стоимости коммунальной инфраструктуры.
- Длительный срок службы построенного жилья (50-60 лет) и высокая степень сопротивления агрессивному воздействию окружающей среды (ветровому напору, низким температурам и т. п.).
- Возможность подключения зданий к уже существующим инженерным сетям, возведения на сохранившихся фундаментах либо на наиболее дешевых ленточных.

К основным недостаткам можно отнести следующее:

- Технология ориентирована на малоэтажное (до трех этажей) и мансардное строительство, что существенно сужает рынок.
- Средний срок службы объемно-модульных зданий (50-60 лет) меньше срока службы кирпичных и монолитных домов.

Так, как один из критериев пассивного дома - окупаемость дополнительных затрат на теплоизоляцию, рекуперацию энергии и другое оборудование, срок службы имеет ключевое значение - в случае, если срок окупаемости немногим больше срока службы, целесообразность строительства пассивного дома теряется.

Для быстрого монтажа и, если потребуется, демонтажа конструкции может быть применена технология «Дом-трансформер», который не требует сложных конструктивных решений. Технический результат заключается в снижении трудоемкости процесса развертывания и складывания дома.

Способ трансформирования мобильного дома включает транспортировку дома к месту эксплуатации посредством автоплатформы и его фиксацию на выбранном месте посредством выдвижных опор, вертикальное перемещение составной крыши, раскладывание крыши посредством поворота раскладных панелей относительно неповоротной панели, раскладывание поворотных панелей боковых, торцевых стен, раскладывание поворотных панелей пола.

Посредством поворота раскладных панелей относительно неповоротной панели, раскладывание поворотных панелей боковых, торцевых стен, раскладывание поворотных панелей пола.

Наиболее рациональными техническими решениями являются передвижной контейнер-дом, содержащий прямоугольный остов с неподвижно соединенными между собой стенами, потолком и полом, мансарду с продольными и торцевыми стенами и крышей, под которой размещены остов и раскладная часть чердака, мансарды и корпуса первого этажа в виде комплекта поворотных панелей, причем панели внутренних стен-перегородок мансарды установлены в транспортном положении горизонтально над потолком остова, а вдоль продольных стен последнего последовательно.

В транспортном положении установлены панели внутренних стен-перегородок корпуса, шарнирно соединенные с продольными стенами остова, панели торцевых стен корпуса, шарнирно соединенные с краями продольных стен остова, панели наружных продольных стен корпуса, шарнирно соединенные с панелями пола корпуса, шарнирно прикрепленными к полу остова, панели потолка корпуса, шарнирно соединенные с потолком остова и с панелями торцевых стен чердака, а также панели наружных продольных стен чердака, шарнирно соединенные с нижней частью панелей крыши чердака, шарнирно прикрепленных верхней частью к продольным краям крыши мансарды, при этом продольные и торцевые стены мансарды выполнены раскладными в виде панелей, причем панели торцевых стен мансарды шарнирно соединены с потолком остова и размещены в транспортном положении на панелях внутренних стен-перегородок мансарды под панелями продольных стен последней, шарнирно соединенными с ее крышей.

Свайно-винтовые фундаменты идеально дополняют технологию и философию домов-трансформеров, «постройка» которых занимает всего три дня, первый из которых уходит на то, чтобы установить фундамент. Стальные опоры позволяют выбрать любую площадку без ограничений. Винтовые сваи

устанавливаются на любом грунте, включая сыпучие и обводненные, а также на любом рельефе местности. Согласно проекту, каждую винтовую сваю ввинчивают ручным или механическим способом за глубину промерзания грунта, обрезают под один уровень, стволы заполняют цементно-песчаным раствором, сверху приваривают оголовки. Буквально сразу, благодаря тому, что винтовые сваи не дают осадки, на них можно ставить объект, который привозят на трейлере - в собранном виде он не превышает габаритов стандартного морского контейнера. Затем бригада из трех-четырех человек также вручную разворачивает дом, следуя подробной инструкции по сборке, подключает приборы и коммуникаций.

Дом-трансформер оснащен автономным генератором мощностью 30 кВт, а также резервуаром для воды и газовым баллоном в качестве дополнительных опций. Кроме того, предусмотрено все необходимое для подключения к центральным коммуникациям (электричество, газ, вода, канализация, отопление). Настоящее изобретение направлено на решение технической задачи упрощения трансформирования мобильного дома, снижения трудоемкости и сроков его разворачивания и складывания, повышения универсальности конструкции здания при увеличении его полезной площади и улучшении эксплуатационных характеристик дома.

### **2.3. Исследования демонстрационных проектов.**

Вскоре стало понятно, что для энергооптимизации здания не достаточно ограничение лишь на обогрев - все потребление энергии в быту должно быть сведено к минимуму. В противном случае было бы возможным, например, свести на ноль экономию энергии, используя неэффективные электрические устройства, которые имеют высокие показатели теплопотерь (например, самые обычные лампы накаливания). В то же время, точное значение внутреннего тепла в стандартном доме было неизвестно. Тщательные измерения в построенном Пассивном Доме показали, что это значение составляет около 2 Вт / кв.м. [АккР 5]. Тем не менее, даже сегодня, в большинстве национальных энергостандартов по-прежнему приходится рассчитывать на не слишком оптимистичные значения (более 5 Вт/кв.м.).

Чтобы подготовиться к строительству первого Пассивного Дома в Гессене, была создана рабочая группа ученых, финансируемая Министерством Экономики и Технологий Гессена (НМВТ). Министр экономики, в то время - Альфред Шмидт (Alfred Schmidt), проявил большой интерес к исследованиям. Рабочая группа выполняет восемь научно-исследовательских проектов, результаты которых были непосредственно использованы в строительстве первого Пассивного Дома в Краницштайн (Kranichstein). Также было разработано несколько архитектурных проектов, проведено исследование повышения эффективности циркуляции тепла в системе вентиляции, установлены параметры вентиляции для поддержания воздуха надлежащего качества, разработаны высокоэффективные изотермические оконные рамы, разработаны детали с минимальной потерей тепла для соединения различных строительных элементов.

Город Дармштадт (Darmstadt) незамедлительно заявил о своей заинтересованности в реализации проекта первого Пассивного Дома в контексте "Экспериментальное жилищное строительство Дармштадт Kranichstein K7". Четверо частных собственников формируют сообщество

владельцев Пассивного Дома и поручают архитекторам Ботту (Bott), Риддеру (Ridder) и профессору Вестермейстеру (Westermeyer) проектирование четырехсекционного дома, с площадью каждой секции 156 кв.м. Прототипы компонентов для этого первого Пассивного Дома, которые уже работали в низкоэнергетических зданиях, были проработаны дальше [Feist 1988]. Только с помощью таких элементов можно было достичь амбициозной цели - практически полной ликвидации системы отопления. Но в то же время эти элементы не были дешевыми, так как все они были результатом ручной работы. Дополнительные расходы по сравнению с обычным строительством были скомпенсированы на 50% при строительстве Департамента охраны окружающей среды Гессииана (Hessian). При строительстве в 1991 году дом был оснащен весьма точными средствами мониторинга, чтобы в дальнейшем была возможность оценить его эффективность.

Основное внимание при дизайне и строительстве Пассивного дома уделяется сохранению тепла: теплоизоляция и рекуперация тепла являются важнейшими компонентами. Это относится и к современным Пассивным домам. Помимо этого используются система нагрева воды с помощью солнечной энергии и наземный подогрев свежего воздуха. Дом имеет хорошую теплоизоляцию, которая за 16 лет с момента размещения работает исключительно хорошо.

Пассивный дом в Краништьтайне (Kranichstein) был закончен в октябре 1991 года. Все это время в нем жили 4 семьи. Материал для внутренней отделки был выбран специальным образом, с целью уменьшения загрязнения воздуха. Изоляционный материал - как он должен быть в идеале и в других зданиях - был отделен от интерьера с помощью специальных внутренних перегородок. Хорошее качество воздуха было подтверждено исследованием, в ходе которого люди прошли через социальный опрос [Rohrmann 1994].

Измерения в Пассивном доме в Дармштадте Краништьтайне подтвердили: при использовании доступных технологий потребление электроэнергии может быть сокращено до одной трети от ее текущего

потребления. Потребление газа для обогрева снижается на 15% [Ebel/Feist 1997]. Кроме того, экономия средств оказалось стабильной по времени.

После завершения работы и проведения в первых четырехсекционных домах первоначальных испытаний и непрерывного измерения (температуры и потребления энергии) стало ясно, что цели фактически были достигнуты. В общей сложности, потребление энергии составило:

- 19,8 кВт.ч / кв.м \*а в первом эксплуатационном году (1991/92) или всего 8% от потребления аналогичного жилья;
- 11,8 кВт.ч / кв.м \*а во втором эксплуатационном году (1992/93) или лишь 5,5% от потребления аналогичного жилья;
- менее 10 кВт.ч / кв.м \*а в среднем за все последующие годы

Эти величины потребления энергии настолько малы, что они были неправильно истолкованы в профессиональном мире: полученные 32 кВт / (кв.м а) по общему объему конечного потребления энергии, включая в том числе и бытовые приборы, были ложно истолкованы как потребление энергии только для отопления, так как в то время это было более убедительно для научного сообщества. На самом же деле, 32 кВт / (кв.м а) включает в себя потребление энергии всеми четырьмя секциями дома, включая бытовые приборы, потребление электроэнергии в подвале и потребление газа для приготовления пищи и горячей воды. Следует отметить, что 90% энергии было сэкономлено за счет самой технологии.

Даже заснеженная зима 1996/97, в течение которой температура была ниже средней в течение нескольких недель, не стала проблемой для комфорта в доме, который все это время держал тепло. Кроме того, потребления энергии на отопление даже в такой период осталось низким, менее 11кВт / (кв.м а).

Первый пассивный дом в Кранищштайне полностью оправдал возлагавшиеся на него надежды. Теперь акцент сменился на снижение затрат при массовом строительстве. Это привело к следующему этапу развития - Экономичный Пассивный Дом, Поколение 2.

Начиная с первых прототипов Пассивного дома в Кранищтайне, расходы на пассивный дом были сокращены на коэффициент 7: из более чем 50 000 евро до 6000-15000 евро за единичный экземпляр - начиная с больших зданий и заканчивая частными домами на одну семью. Это означает, что сегодня пассивные дома стали доступны для каждого. Благодаря огромной экономии энергии пассивный дом сам окупит себя. Учитывая цены на мазут и природный газ, это кажется перспективным вложением.

Даже без какой-либо рекламы и агитирования, постройка пассивных домов происходила хорошими темпами. Около 300 зданий было реализовано к концу 1999 года в Германии, к концу 2000 года их было уже 1000, а в 2006 году их число составляло 6000-7000. Кроме того, были построены и Пассивные дома второго поколения, с чрезвычайно низким потреблением энергии.

Однако прогресс достигался не только за счет количества построенных зданий. Из-за постоянно растущего числа компонентов для пассивного дома на рынке, цены реализации также сокращались. Реализация зданий была различной, что свидетельствовало о том, что пассивный дом это не какой-то специальный метод строительства, а некий стандарт. Пассивные дома начали строиться как частные дома для семей, как секционные дома и многоквартирные здания. В дополнении к этому, были построены несколько административных зданий, школ, а также заводы.

Даже в условиях холодного климата температура внутри дома остается высокой, что обеспечивается хорошей теплоизоляцией. Таким образом, удастся избежать низких температур и перепадов температур. Это было подтверждено неоднократными измерениями внутри дома. Однако лучше всяких цифр об этом говорят отзывы людей, которые проживают в пассивном доме: «мы никогда не замерзали», «мы бы определенно построили пассивный дом снова», «нам никогда еще не было настолько комфортно».

В Ташкентской области, в поселке Бирчмулла, реализована концепция дома, который использует энергию солнечных лучей. Целью реализации

данной концепции является снижения потребления энергоресурсов, произведенных с использованием невозобновляемых источников энергии.

Концепт жилой постройки был реализован научной группой «SOLARON» и одобрен экспертом по энергетическим вопросам Всемирного банка Марком Белланджером. Один из участников специальной творческой группы SOLARON по разработке проектов энергоэкономичных домов, кандидат архитектуры, доцент Мансур Захидов заявил о том, что идея гелиодома была эффективно реализована путем реконструкции части уже существовавшего одноэтажного здания.

В настоящее время идет дальнейшая обработка результатов эксперимента, проводятся поиски благоприятных архитектурных и конструктивных решений зданий с солнечным отоплением. В ходе обработки результатов было выявлено следующее:

1) Строительством и проведением соответствующих экспериментальных исследований по температурному режиму помещений, доказано техническая возможность и перспективность использования солнечной энергии для отопления зданий в зимних условиях Узбекистана.

2) Использование солнечной энергии позволяет на 60-85% сэкономить топливо, расходуемое на отопление. При соответствующих архитектурно-конструктивных решениях, в перспективе есть реальная возможность достижения 100%-ного солнечного отопления здания.

3) Расход топлива на отопление гелиодома по сравнению с обычным домом уменьшается в 8-11 раз.

4) Строительство домов с пассивными системами экономически выгодно, дополнительные расходы на приобретения и монтаж оборудования солнечного отопления окупаются в течение 4-5 лет.

## Глава III. Численное моделирование процессов в системах энергообеспечения жилых домов.

### 3.1. Расчет гелиосистемы тепло обеспечения зданий на примере “стены-коллектора Тромба”

Произведенные исследования радиационного (количества прямой и рассеянной солнечной радиации) и температурного режима, а также расчет стены позволили сделать вывод, что за счет исследуемой пассивной гелиосистемы можно компенсировать часть энергии, расходуемой на отопление зданий.

Актуальность данного исследования обусловлена, в первую очередь, проблемой рационального использования энергоресурсов в республике, в частности. Социальная, экологическая, экономическая, а особенно энергетическая ситуация в республике в начале XXI века характеризуется постоянным повышением тарифов на электроэнергию, высокими ценами на жилье и высокими эксплуатационными затратами на его содержание.

Основная задача исследования – рассмотреть возможность внедрения пассивной гелиосистемы “стена-коллектор Тромба” в качестве альтернативного источника отопления в условиях резко-континентального климата республики.

$h = 3,0$  м – высота стены;

$a = 3,3$  м – ширина стены;

$b = 0,1$  м – ширина зазора между массивной стеной и наружным остеклением (ширина зазора воздушной прослойки).

Площадь наружной поверхности “стены-коллектора Тромба” определяется по формуле:

$S = a \cdot h = 3,3 \cdot 3 = 9,9 \text{ м}^2$  – площадь поверхности стены;

$\alpha_в = 8,7 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций;

Для решения системы балансовых уравнений необходимо ввести коэффициент теплообмена между поверхностью и воздухом  $\alpha_в$ , определяемый в зависимости от скорости движения воздуха  $v$  в воздушной прослойке по формуле:

$$\alpha_в' = 8,7 + 2,6 \cdot v = 8,7 + 2,6 \cdot 0,26 = 9,38 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}.$$

Скорость движения воздуха в замкнутой воздушной прослойке находится как отношение производительности канального вентилятора  $L$  к площади зазора воздушной прослойки щели Ащели :

$$v = \frac{L}{A_{щели}} = \frac{305}{0,33 \cdot 3600} = 0,26 \frac{м}{с}.$$

Для определения скорости движения воздуха  $v$  необходимо определить площадь зазора воздушной прослойки щели Ащели:

$$A_{щели} = a \cdot b = 3,3 \cdot 0,1 = 0,33 м^2 \quad \text{– площадь зазора воздушной прослойки.}$$

Теплотехнические характеристики для отдельных слоев конструкции берем из [22].

Для решения системы балансовых уравнений принимаем  $t_{помещ.} = t_{вх.} = 20^\circ C$ .

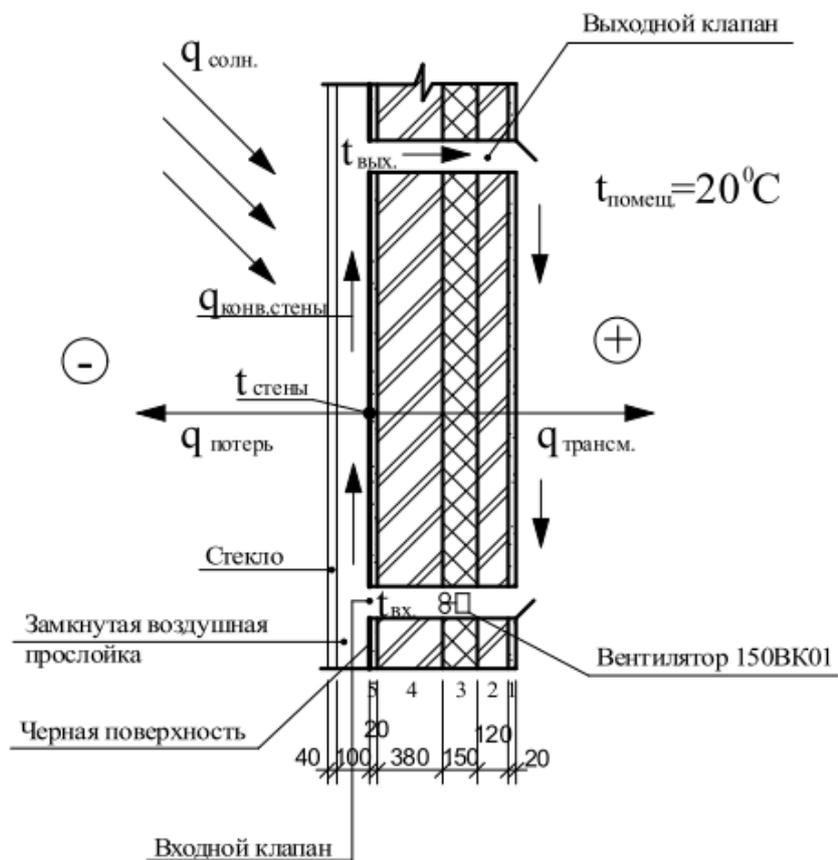


Рис. 8. Расчетная схема “стены-коллектора Тромба”.

$$\gamma_{\text{возд.}} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{— плотность воздуха при } t=20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_n = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{— коэффициент теплоотдачи для зимних условий};$$

$$\rho = 0,9 \quad \text{— коэффициент поглощения солнечной радиации};$$

$$\lambda_{\text{стекла}} = 0,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{— расчетный коэффициент теплопроводности при условии эксплуатации Б};$$

$$\delta_{\text{стекла}} = 0,04 \text{ м} \quad \text{— толщина остекления [18];}$$

$$S = 149 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad \text{— максимальное значение прямой солнечной радиации на вертикальную поверхность, приходящееся на 15 апреля};$$

$D = 128 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  – среднее часовое значение рассеянной солнечной радиации на вертикальную поверхность в апреле;

$\tau = 0,7$  – коэффициент пропускания для одинарного остекления прямой солнечной радиации;

$L = 305 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$  – производительность канального вентилятора марки 150ВК01 (мощность – 30 Вт, диаметр крыльчатки – 150 мм);

$C = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$  – удельная теплоемкость.

Определяем расчетный коэффициент остекления по формуле:

$$K_{\text{остекл.}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_{\text{стекла}}}{\lambda_{\text{стекла}}}} = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,76}} = 4,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}$$

Записываем систему балансовых уравнений:

$$q_{\text{ков.стены}} = \alpha_g (t_{\text{стены}} - (t_{\text{вх.}} + t_{\text{вых.}}) / 2)$$

$$q_{\text{трансм.}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5}\right)} \cdot (t_{\text{стены}} - t_{\text{помещ.}})$$

$$q_{\text{ков.стены}} + q_{\text{трансм.}} = q_{\text{солн.}} - q_{\text{потерь}} \quad (1.4)$$

$$q_{\text{ков.стены}} = L \cdot \gamma_{\text{возд.}} \cdot C (t_{\text{вых.}} - t_{\text{вх.}}) / A$$

$$q_{\text{потерь}} = K_{\text{остекл.}} \cdot \left(\frac{t_{\text{вых.}} + t_{\text{вх.}}}{2} - t_n\right)$$

$$t_n = \frac{0,23 + 4,98 + 9,72}{3} = 5^\circ\text{С} \quad \text{– среднemesячная температура за апрель.}$$

Определяем поток солнечной радиации, поглощенный 1 м<sup>2</sup> массивной стены, по формуле:

$$q_{\text{созн.}} = S \cdot \tau \cdot \rho + D \cdot \tau \cdot \rho = 149 \cdot 0,7 \cdot 0,9 + 128 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 174,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Для решения системы уравнений принимаем температуру наружной поверхности стены  $t_{\text{стены}} = 40^{\circ}\text{C}$ , а температуру на выходе из клапана (верхнее отверстие в массивной стене) равной  $t_{\text{вых.}} = 30^{\circ}\text{C}$ .

Переписываем систему уравнений с учетом известных величин:

$$q_{\text{конв.стены}} = 9,38(40 - (20 + 30)/2) = 140,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{трансм.}} = \frac{1}{\left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} \right)} \cdot (40 - 20) = 6,10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{потерь}} = 4,76 \cdot \left( \frac{30 + 20}{2} - 5 \right) = 95,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{конв.стены}} = q_{\text{созн.}} - q_{\text{потерь}} - q_{\text{трансм.}} = 174,5 - 95,2 - 6,10 = 73,20 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Выражаем  $t_{\text{вых.}}$  из уравнения баланса замкнутой воздушной прослойки:

$$t_{\text{вых.}} = \frac{73,20 \cdot 10 + \frac{20 \cdot 305 \cdot 1,2 \cdot 1}{3,6}}{\frac{305 \cdot 1,2 \cdot 1}{3,6}} = 27,2^{\circ}\text{C}$$

Получившаяся фактическая температура на выходе  $t_{\text{вых.}} = 27,2^{\circ}\text{C}$  приближается к заданной температуре  $t_{\text{вых.}} = 30^{\circ}\text{C}$ . Для более точного определения фактической температуры зададим  $t_{\text{вых.}} = 27,6^{\circ}\text{C}$  и пересчитаем систему с учетом этой температуры:

$$q_{\text{конв.стены}} = 9,38(40 - (20 + 27,6) / 2) = 152,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{трансм.}} = \frac{1}{\left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} \right)} \cdot (40 - 20) = 6,10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{потерь}} = 4,76 \cdot \left( \frac{27,6 + 20}{2} - 5 \right) = 89,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{конв.стены}} = q_{\text{солн.}} - q_{\text{потерь}} - q_{\text{трансм.}} =$$

Количество теплоты, передаваемое стеной в течение отопительного периода.

Месяцы	Количество теплоты Q, Дж
Январь	-206,84
Февраль	81,87
Март	572,95
Апрель	854,0
Первая половина мая	1078,13
Октябрь	50,83
Ноябрь	-246,16
Декабрь	-325,22



Рис. 8. Диаграмма изменения работы “стены-коллектора Тромба” в течение отопительного периода.

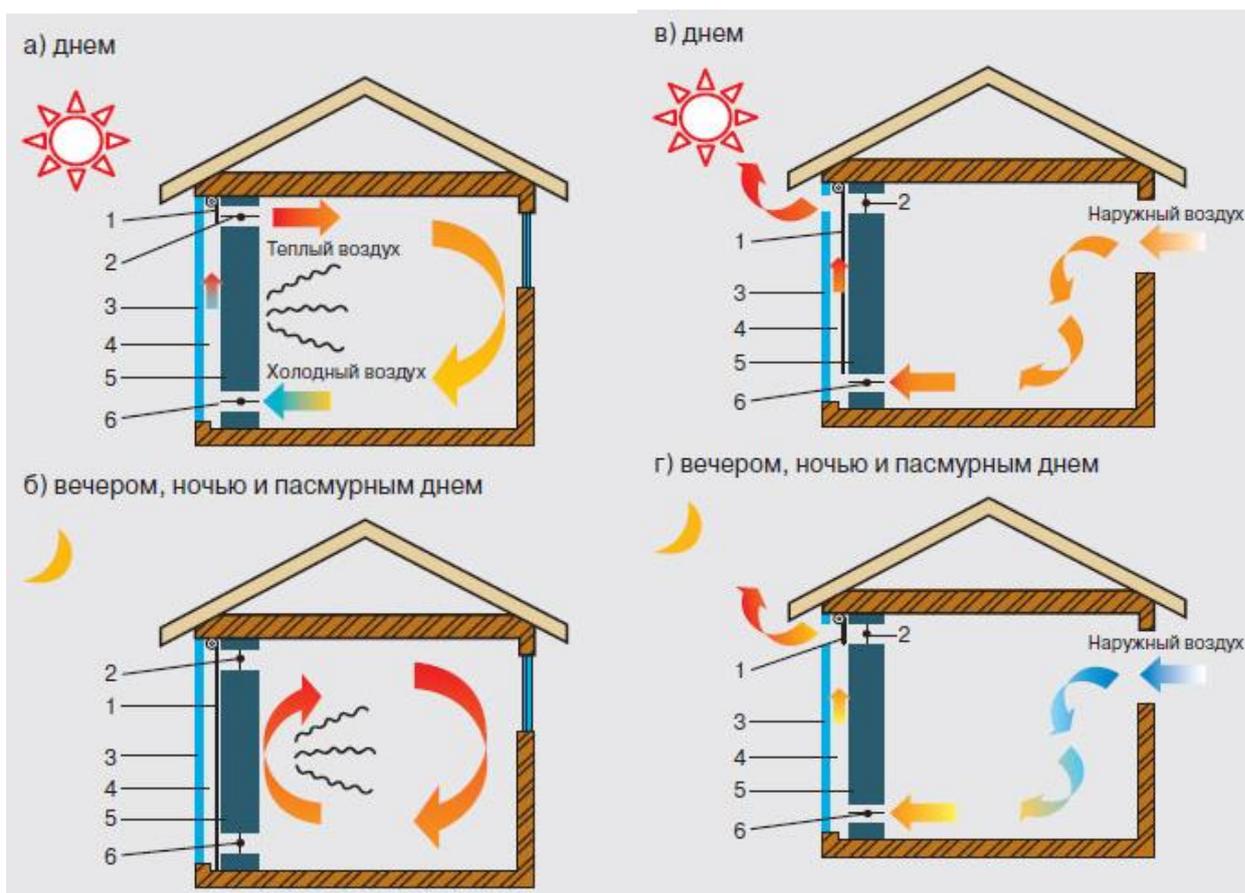


Рис. 9. Схема работы “стены-коллектора Тромба

Для эффективного определения периода продолжительности работы “стены-коллектора Тромба” нами была решена в системе балансовых уравнений. С помощью которого было определено количество теплоты  $Q$ , передаваемое стеной в обслуживаемое помещение.

По полученным значениям нами построена диаграмма зависимости количества теплоты  $Q$  от месяца отопительного периода).

Из анализа диаграммы можно сделать следующие выводы:

1. Эффективная работа стены наблюдается в трех месяцах: март, апрель и первая половина мая.
2. Максимальное количество теплоты, передаваемое стеной в обслуживаемое помещение, наблюдается в мае, а минимальное – в октябре.
3. Исследования показали, что стена не работает в ноябре, декабре и январе, то есть не передает тепло в обслуживаемое помещение.

Следовательно, стена позволит компенсировать часть энергии для отопления зданий в климатической зоне Республики Узбекистан.

### **3.2. Численное моделирование процессов теплопередачи в жилых домах.**

Численное моделирование процессов теплопередачи в жилых домах выбираем программу COMSOL Multiphysics. Программное обеспечение пакета COMSOL® предназначено для моделирования любых физических систем. COMSOL Multiphysics® включает в себя графический пользовательский интерфейс (GUI) COMSOL Desktop® и набор предварительно сконфигурированных пользовательских интерфейсов и инструментов моделирования (т.н. физические интерфейсы), которые предназначены для стандартных задач моделирования. Дополнительные модули расширяют возможности платформы мульти физического моделирования, обеспечивая моделирование для специфических областей применения и интеграцию с программными пакетами сторонних разработчиков и их функциями. Для запуска модулей расширения необходим пакет COMSOL Multiphysics.

Модули дополняют базовые физические интерфейсы пакета COMSOL Multiphysics®, что позволяет моделировать сложные электрические, механические, гидродинамические и химические явления. Для решения сложных мультифизических задач можно легко комбинировать любое количество модулей. В состав пакета COMSOL Multiphysics® входит среда разработки приложений, с помощью которой можно создавать удобные пользовательские интерфейсы, которые сделают математическое моделирование доступным всем заинтересованным сотрудникам вашей организации. Как можно ускорить создание эффективных продуктов с помощью **Application Builder**.

Модуль «Теплопередача» уникален, поскольку является специализированным инструментом для моделирования тепловых явлений в производственных процессах и элементах промышленного оборудования. COMSOL Multiphysics® использует единый подход к построению моделей

как тепловых процессов, так и других физических явлений. Таким образом, вы получаете стандартный инструмент для взаимодействия с инженерами и техническими отделами, изучающими другие процессы в других областях физики. Независимо от того, с какими физическими явлениями вы и ваши коллеги имеете дело в конкретном случае, ваш рабочий процесс будет единообразным, понятным и будет включать следующие этапы:

- Импорт или создание геометрии соответствующего устройства или системы
- Выбор веществ или материалов из единого набора файлов с использованием постоянных, либо зависящих от температуры физических свойств
- Оптимальное описание теплопередачи в моделируемой системе с помощью специализированных интерфейсов, которые могут устанавливать взаимосвязь с другими физическими явлениями, происходящими в данной системе
- Учет в рамках одной модели разных физических явлений, связанных с переносом теплоты
- Задание условий однозначности на границах расчетной области
- Построение расчетной сетки и последующее использование этой же или производных сеток для различных вариантов моделирования
- Запуск процесса решения с применением предварительно настроенного под конкретную задачу решателя
- Обработка и визуализация полученных результатов, построение графиков и диаграмм, в том числе на основе результатов, полученных для различных вариантов задачи

Тепловые мосты в строительстве-3D структуры между двумя этажами.

Европейский стандарт EN ISO 10211: 2007 для тепловых мостов в строительных конструкциях обеспечивает четыре тестовых данных два 2D и 3D-два для проверки численного метода. Если значения, полученные с помощью способа, соответствуют результатам всех этих четырех случаях метод классифицируется как трехмерного стационарного метода с высокой точностью.

COMSOL Multiphysics успешно проходит все тестовые примеры, описанные в стандарте, и, следовательно, классифицируется как трехмерный стационарным методом высокой точности.

Эти исследования представляет собой реализацию первого 3D-модели.

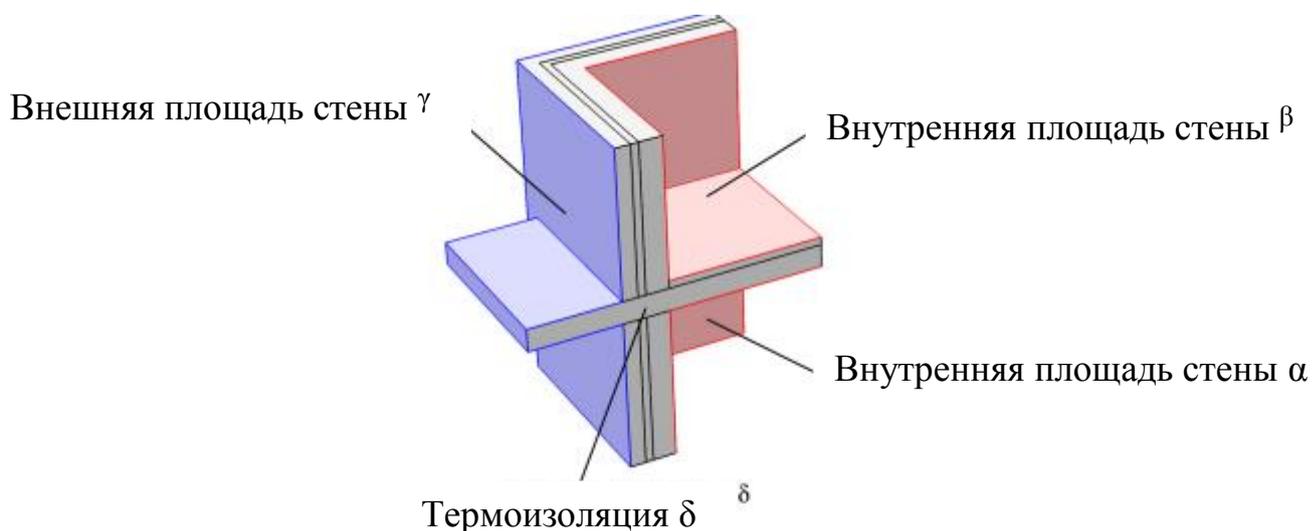


Рис. 10: Геометрия и граничные условия стены.

Здесь рассматривается проводимость тепла в строительной конструкции, разделяющей два этажа из внешней среды. Поверхности структуры делятся на четыре части:

- нижний уровень,  $\alpha$ ;
- верхний уровень,  $\beta$ ;
- снаружи,  $\gamma$ ;
- а остальные теплоизолированные поверхности,  $\delta$ .

Значения, представляющие интерес для проверки являются самые низкие температуры на поверхности  $\alpha$  и  $\beta$ , а также тепловые потоки через  $\alpha$ ,  $\rho$ , и  $\gamma$ . Модель Определеие На рис. 10 показана геометрия. Внешняя поверхность при температуре  $0^\circ\text{C}$  и внутренняя поверхность при температуре  $20^\circ\text{C}$ . Четыре материала с отчетливой теплопроводностью  $K$  используются в структуре. Горизонтальный блок разделения двух этажей имеет самую высокую теплопроводность ( $2,5\text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$ ). Она пересекает стенку, создавая тем самым теплового моста в структуре.

Поверхности  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и подвержены конвективного теплового потока. ISO 10211: Стандарт 2007 определяет значения теплового сопротивления  $R$ , который связан с коэффициентом теплопередачи,  $ch$ , в соответствии с

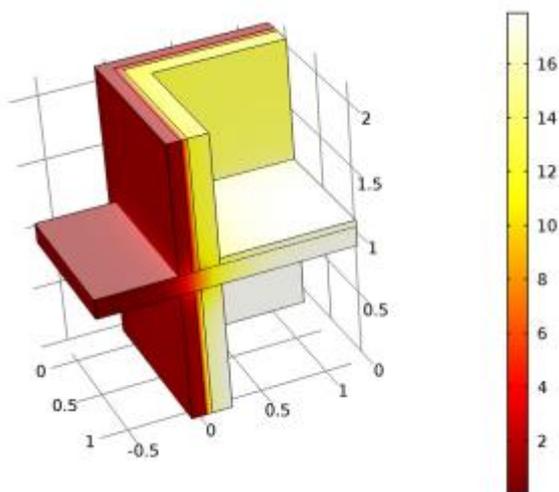


Рис. 11 Профиль температуры стены.

На рис. 11 представлен профиль температуры. Потери тепла больше вблизи теплового моста, образованного горизонтальным блоком, который пересекает стену.

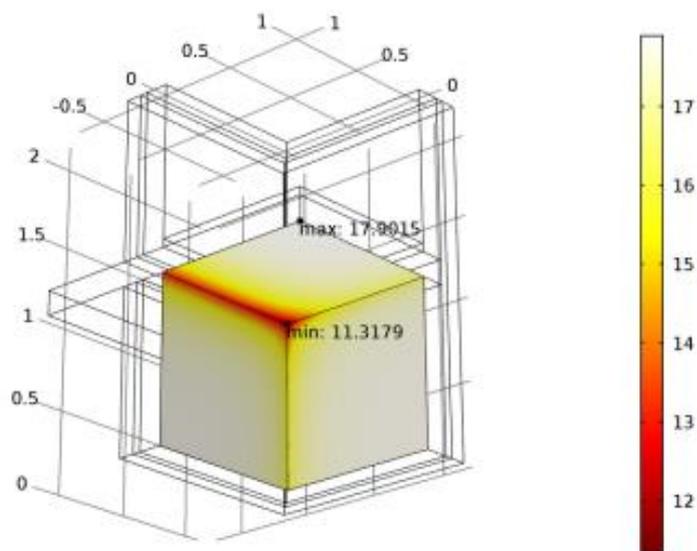


Рис.12: Минимальные и максимальные температуры на поверхности  $\alpha$ .

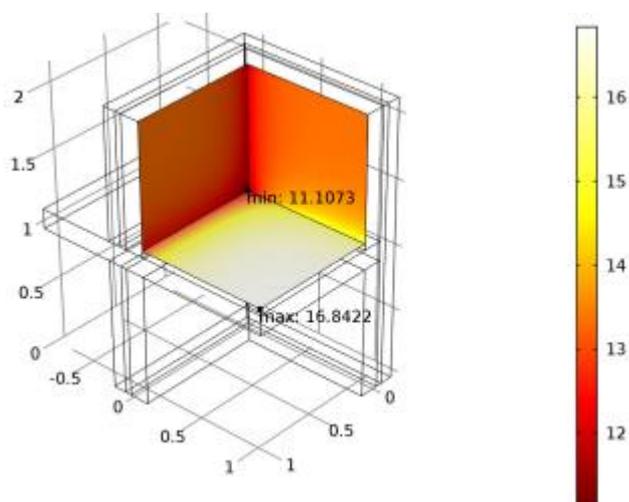


Рис. 13: Минимальные и максимальные температуры на поверхности  $\beta$ .

Влияние остекление на термическом свойства окон.

При проектировании здания, экологические проблемы приобрели значительное влияние на весь проект. Одной из первых проблем является улучшение тепловых представлений. В этом процессе моделирования программного обеспечения обеспечивают основные инструменты для моделирования тепловых потерь и выступления в здании. Международный стандарт ISO 10077-2: 2012 имеет дело с термическими характеристик окон, дверей и жалюзи. Она обеспечивает расчетные значения тепловых

характеристик рамных профилей с целью подтверждения программного обеспечения для моделирования.

COMSOL Multiphysics успешно проходит весь эталон. В этом документе описываются два тестовых случая ISO 10077-2: 2012, связанные с влиянием остекления на тепловых характеристик окна. Другие случаи тестирования этого стандарта доступны в следующих случаях:

- Термические исполнениям окон
- Термические исполнениям рольставней

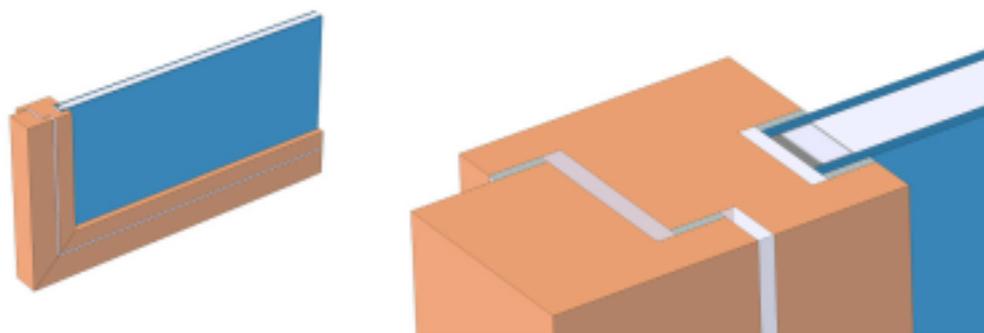


Рис. 14: Геометрия окна и вид поперечного сечения.

Модель определения. На каждом тестовом случае, секция окна отделяет горячую внутреннюю сторону от холодной внешней стороны. Рамка окна такая же, но в первом приложении, изоляционная панель заменяет традиционное остекление. Это традиционное остекление решена во втором приложении. После решения модели, две величины рассчитываются и сравниваются с нормативными значениями:

- Теплопроводность между внутренними и внешними сторонами
- Термический коэффициент пропускания рамы рассчитывается

Окно кадра содержит множество полостей. Цель состоит в том, чтобы обеспечить теплоизоляцию.

В соответствии со стандартом, полости моделируются по-разному в зависимости от их формы.

Расход тепла в полостях представлена эквивалентной теплопроводности  $k_{эк}$ , который включает в себя поток тепла за счет теплопроводности, конвекции и излучения. Это также зависит от геометрии полости и на прилегающей к ней материалов. Определение  $k_{эк}$  подробно описано в следующих параграфах.

Воздушные прослойки делятся на три типа:

- неветилируемые полости, полностью закрытые или связанные либо к наружной или к внутренней прорезью с шириной не более 2 мм;
- слегка вентилируемых полостей, соединенных либо к наружной или к внутренней прорезью больше, чем 2 мм, но не более 10 мм;
- хорошо вентилируемых полостей, что соответствует конфигурации не перекрывается одной из двух предыдущих типов, то предполагается, что вся поверхность подвергается воздействию окружающей среды, так что граничные условия применяются к (смотрите раздел граничных условий ниже для получения дополнительной информации),

Непрветриваемых прямоугольной полости.

Для непрветриваемых прямоугольной полости, эквивалентная теплопроводность определяется по формуле:

$$k_{eq} = \frac{d}{R}$$

где  $d$  есть размерность полости в направлении теплового потока, а  $R$  представляет полость тепловое сопротивление определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{h_a + h_r}$$

Внутренние и внешние поверхности теплового сопротивления не равны. Кроме того, на границах, связанных с внутренней стороны, повышенное тепловое сопротивление используется для краев. Рис. 15 объясняет, как определить границы, где он должен быть применен.

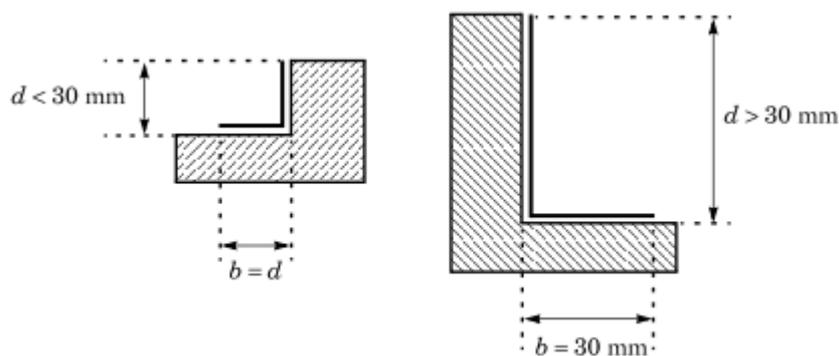


Рис. 15: Защищенные границы окон.

Если  $d$  больше, чем 30 мм,  $b$  устанавливается на 30 мм. В противном случае, выбирается  $b = d$ .

Кроме того, две границы рассматриваются в качестве адиабатического: границы в контакте со стенкой и концом изоляционной панели или остекления.

Описание двух примерах. На рис. 16 и 17 изображают геометрии каждого приложения, но только часть изоляционной панели или остекления представлена. Невентилируемые полости являются красными номерами, слегка вентилируемые полости зеленые номерами. Границы с повышенной термостойкостью представлены жирными черными линиями. Адиабатические границы в контакте со стенкой представлены полосатым прямоугольником.

Пример 1: Деревянный каркас с изоляционной панели. Первое приложение изучает проводимость тепла в секции деревянной рамой с изоляционной панели. Каркас выполнен из двух деревянных блоков с низкой теплопроводностью  $0,13 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ . Для того, чтобы контакт между этими двумя блоками и влагонепроницаемости окна, два этилен-пропилен-диенового мономера (EPDM) используются  $d > 30$  мм прокладки. Два других блоков EPDM расположены по обе стороны от изоляции панель. Панель изоляции имеет очень низкую теплопроводность  $0,035 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ .

Две полости полностью закрыты и считаются непрветриваемых. Третий считается слегка вентилируется.

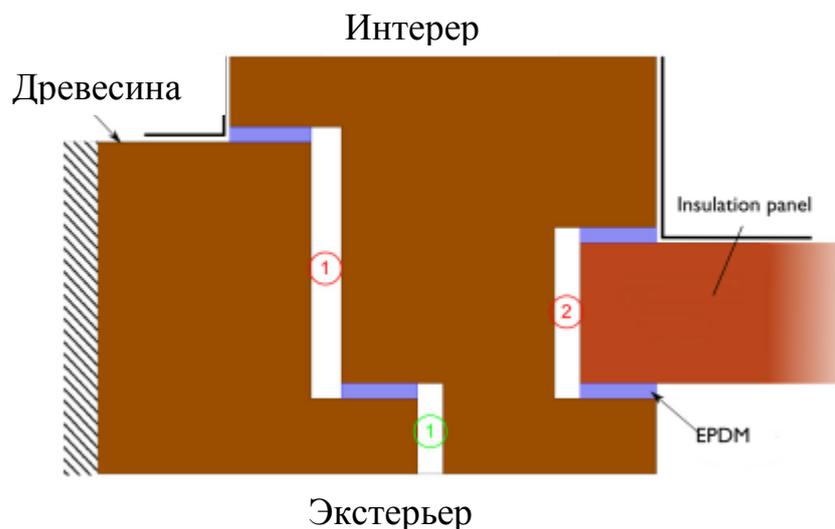


Рис. 16: Геометрия дерева рама с изоляционной панели.

Пример 2: Деревянная рама с традиционным остеклением. Остекление выполнена из двух стеклянных панелей с коэффициентом теплопроводности  $1,00 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ .

На стороне рамы остекления, конструкция выполнена из алюминия, полисульфида и силикагель используется для блокировки стеклянных блоков. Их теплопроводность являются  $160 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $0,40 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ , и  $0,13 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ , соответственно. Пространство между стеклами заполняется газом, теплопроводность составляет  $0,034 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$  (так что это пространство не рассматривается в качестве традиционной воздушной полости).

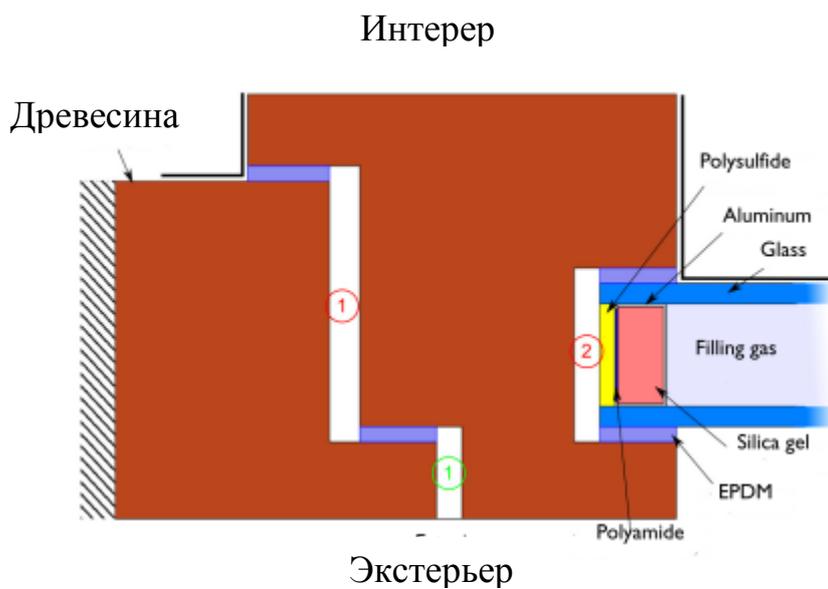


Рис. 17. Геометрия деревянной рамка с традиционным остеклением.

Результаты.

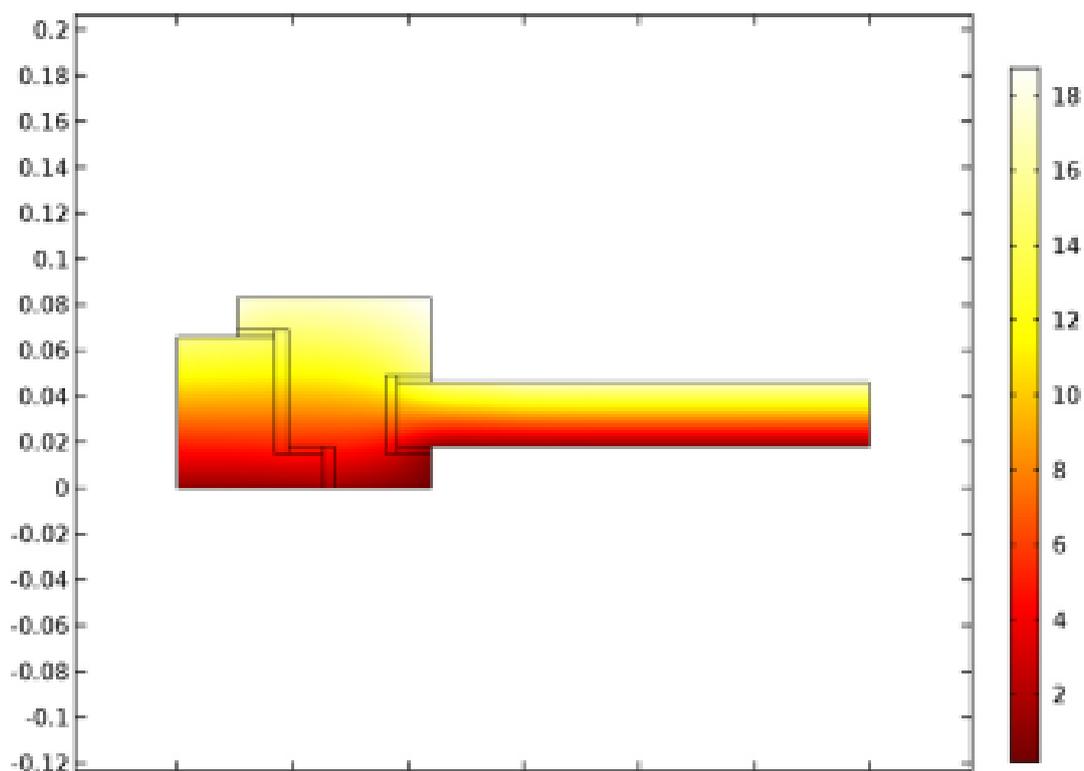


Рис. 18. Температурное поле с изоляционной панелью.

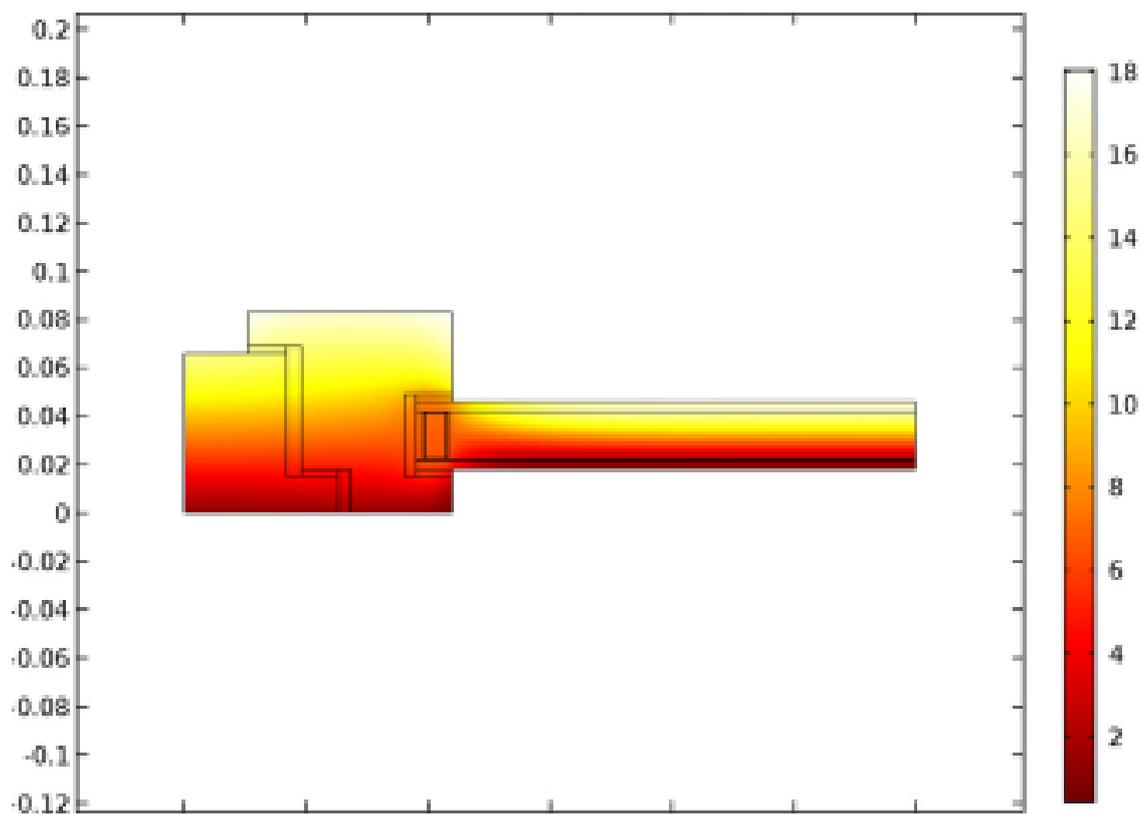


Рис. 19. Распределение температуры с остеклением.

## **Заключение.**

Настоящая работа посвящена возможности построения пассивного дома в условиях Ташкентского региона.

В первом разделе рассмотрены наиболее подходящие существующие технологии пассивных домов, выведены критерии эффективности системы пассивного дома, обозначены технологии, применяемые при строительстве энергоэффективных зданий; рассмотрены альтернативные возможности монтажа малоэтажных строений;

Во втором разделе были установлены географо-климатических условия выбранной территории, описана социально-экономическая ситуация Ташкентского региона, произведен расчет изоляции и потребности отопления пассивного дома для указанного региона.

В работе выявлено, что постройка пассивного дома с соблюдением всех технологий и соответствующего общемировым стандартам пассивного дома на данном этапе в климатических условиях Ташкентского региона затруднительна. Основными причинами являются:

Климатические условия региона, требующие увеличения слоя изоляции, разработки и применения новых видов изолирующих материалов с большим сопротивлением теплопередаче.

Экономические условия региона, определяющие выбор в пользу бюджетного жилья, нежели инновационного.

Сложность конструкции, отсутствие специалистов и практического опыта строительства пассивных домов.

Также было проведено численное моделирование процессов в системах энергообеспечения жилых домов и расчет гелиосистемы тепло обеспечения зданий на примере “стены-коллектора Тромба” с помощью программы COMSOL Multiphysics.

### **Список литературы.**

1. Указ Президента Республики Узбекистана «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии». г. Ташкент, 1.03.2013 г., № УП-4512.
2. И.А. Каримов. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана – Т: Узбекистан, 2009- с.19
3. Аллаев К.Р. - Энергетика мира и Узбекистана. – Ташкент, Молия, 2007. С. 388..
4. Воронкова О.Н. Акопова Е.С. Мировая экономика и международные экономические отношения. // МЭиМО. 2005. № 5.
5. Юсупалиев Р.М. Иссиклик электр станциясида сув технологияси. Ўқув қўлланма. –Тошкент. ТошДТУ. 2003. -235 б...
6. Топливо и энергетика России: Статистический сборник. М.: Финансы и статистика, 2004.
7. Экономика предприятий энергетического комплекса: учеб. для вузов / В.С. Самсонов, М.А. Вяткин. 2-е изд. М.: Высш. шк., 2003.
8. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. 5-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2008.
9. ThermaCAM P20. Руководство оператора / FLIR Systems AB. Sweden, 2003. 60 с.
10. Тепловой неразрушающий контроль изделий: науч.-метод. пособие / О.Н. Будадин, А.И. Потапов, В.И. Колганов, Т.Е. Троицкий-Марков, Е.В. Абрамова. М.: Наука, 2002.
11. Измерения в электромагнитных полях / Ю.К. Казаров, О.Н. Будадин, Т.Е. Троицкий-Марков, ОБ. Лебедев. М.: ВИНТИ РАН, 2003.
12. ThermaCAM Reporter. User's manual / FUR System AB. Sweden, 2004. 128 с.

13. Иванов, Г.С. Энергосбережение в зданиях / Г.С. Иванов, М.А. Подолян // Новости теплоснабжения. 2001. № 7.
14. Планк М. Теория теплового излучения: пер. с нем. / М. Планк; под ред. М.А. Ельяшевича. изд. 2-е, стер. М.: КомКнига, 2006.
15. Бекешко, Н.А. Активный тепловой контроль строительных материалов / Н.А. Бекешко // Дефектоскопия. 2007. № 2.
16. Иванишина, З.В. Активный тепловой контроль качества теплоизоляции контактным методом /З.В. Иванишина // Дефектоскопия. 2008. № 12.
17. Федоров, В.С. Руководство пользователя программой «TEMPER-3D» / С.В. Федоров. Омск, 2007. 32 с.
18. Михайлов, С.А. Методика проведения сбора и съема информации для определения теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций объекта/С.А. Михайлов, О.Н. Будадин. М.: Госстандарт России, 2003.
19. Будадин, О.Н. Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений телевизионным бесконтактным методом / О.Н. Будадин, Е.В. Абрамова, М.Н. Слитков. М.: Госстандарт России, 2001.
20. ИСО 6781-83. Теплоизоляция. Качественное выявление теплотехнических нарушений в ограждающих конструкциях. Инфракрасный метод. ТС 163/SC 1, 2003.
21. Глушков, Н.С. Строительный комплекс края. Перспективы развития до 2010 года / Н.С. Глушков // Вестник КрасГАСА: сб. науч. тр. Вып. 8 / под ред. В.Д. Надеяева. Красноярск: КрасГАСА, 2005. С. 4-8.
22. Каменский, В.Г. Теплозащитные качества наружных стен крупнопанельных жилых и общественных зданий / В.Г. Каменский. М.: Стройиздат, 2005.

23. Кривошеин, А.Д. Методическое пособие по теплотехническому расчету ограждающих конструкций зданий / А.Д. Кривошеин, Г.А. Пахотин, С.Н. Апатин. Омск: СибАДИ, 2007.

24. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий / В. Бондаренко, Я. Ляхович, В. Хлевчук, Ю. Матросов и др. // БСТ. 2001. № 11.

25. Гурьянов, Н.С. Способ оценки фактической величины приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий / Н.С. Гурьянов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2002. № 12. С. 20-21.

26. ГОСТ 23483-05. Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2005. 14 с. 61

27. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин; под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. 5-е изд., пересмотр. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

28. Information Paper IP 17/01, Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. Tim Ward, BRE, 2001.

29. Фонд содействия реформированию ЖКХ [Электронный ресурс]  
URL: <http://www.fondgkh.ru/>

30. Карта энергоэффективных домов России [Электронный ресурс]  
URL: <http://energodoma.ru/karta-energoeffektivnykh-domov-rossii/uralskij-fo/house/57>

31. <http://www.lex.uz>

32. <http://www.energy-saving.uz>

