

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент



2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
/ Г.А. Пикус
_____ 2018г.

**Технология устройства теплоизоляции ограждающих
конструкций зданий с применением вакуумных
теплоизоляционных панелей**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР

Руководитель работы,
Доцент кафедры «СПТС», к.т.н.
/К.М. Мозгалев
 2018г.

Нормоконтролер,
Доцент кафедры «СПТС», к.т.н.
/К.М. Мозгалев
_____ 2018г.

Автор работы
студент, группы АС-279
Леонтьев
_____ 2018г.

Антиплагиат,
Доцент кафедры «СПТС», к.т.н.
/К.М. Мозгалев
_____ 2018г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	12
1.1 Обзор современных теплоизоляционных материалов.....	12
1.2 Предпосылки к созданию, история появления и развития вакуумных теплоизоляционных панелей.....	15
1.3 Конструкция и изготовление вакуумных теплоизоляционных панелей, основные характеристики и применение в строительной сфере.....	20
1.3.1 Конструкция вакуумных теплоизоляционных панелей	20
1.3.2 Производство вакуумных теплоизоляционных панелей.....	29
1.3.3 Основные характеристики, преимущества и недостатки вакуумных теплоизоляционных панелей	31
1.3.4 Применение вакуумных теплоизоляционных панелей в строительной сфере	36
1.4 Патентный поиск по теме научно исследовательской работы.....	38
1.4.1 Patent US20090324871	38
1.4.2 Patent WO 2003089729	40
1.4.3 Патент RU 2 421 656	46
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ.....	48
2.1 Исследование системы «мокрого» фасада с применением вакуумных теплоизоляционных панелей.....	48
2.1.1 Исходные данные для исследования.....	48
2.1.2 Теплотехнический расчет	49
2.1.3 Моделирование процесса стационарной теплопередачи в конструкции наружной стены с «мокрым» фасадом в программном комплексе elcut.....	53
2.2 Исследование трёхслойной железобетонной панели с сердечником из вакуумных теплоизоляционных панелей.....	58
2.2.1 Исходные данные для исследования.....	58
2.2.2 Теплотехнический расчет	58
2.2.3 Моделирование процесса стационарной теплопередачи в конструкции трехслойной железобетонной панели в программном комплексе elcut.....	60

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР				

2.3	Исследование системы вентилируемого фасада с вакуумной теплоизоляционной панелью в качестве утеплителя.....	65
2.3.1	Исходные данные для исследования.....	65
2.3.2	Теплотехнический расчет.....	67
2.3.3	Моделирование процесса стационарной теплопередачи в конструкции наружной стены с системой вентилируемого фасада в программном комплексе elcut.....	69
2.4	Моделирование нежелательных эффектов, возникающих в процессе монтажа и эксплуатации вакуумных теплоизоляционных панелей.....	73
2.4.1	Моделирование нежелательного эффекта, связанного с повреждением защитного слоя вакуумной теплоизоляционной панели.....	73
2.4.2	Моделирование нежелательного эффекта, связанного с ошибкой при монтаже вакуумной теплоизоляционной панели.....	77
3	СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕШЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НАРУЖНЫХ СТЕН. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ.....	79
3.1	Функционально-стоимостной анализ.....	79
3.1.1	Описание конструкции, нежелательные эффекты.....	79
3.1.2	Аналитический этап.....	80
3.1.3	Список задач по итогам компонентного анализа.....	81
3.2	Расчет энергетического паспорта жилого дома.....	85
3.2.1	Общая информация.....	85
3.2.2	Расчетные условия.....	86
3.2.3	Расчет геометрических показателей жилого дома.....	87
3.2.4	Определение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.....	91
3.2.5	Определение коэффициента теплопроводности здания.....	94
3.2.6	Определение общих теплопотерь здания.....	99
3.2.7	Расчет удельного расхода энергии на отопление здания.....	101
3.2.8	Расчет теплотехнических характеристик при утеплении здания вакуумными теплоизоляционными панелями.....	102
3.2.9	Сравнение теплотехнических показателей при двух вариантах утепления наружных стеновых панелей.....	105

3.3 Экономическое обоснование утепления стен вакуумными теплоизоляционными панелями.....	106
3.3.1 Исходные данные	106
3.3.2 Расчет стоимости ж/б панелей с двумя различными вариантами утепления.....	108
3.3.3 Расчет экономии от транспортировки.....	109
3.3.4 Расчет экономии от монтажа панелей.....	109
3.3.5 Расчет удорожания стоимости панелей за счет использования вакуумной теплоизоляции	110
3.3.6 Расчет сэкономленной площади за счет уменьшения толщины стеновых панелей.....	110
3.3.7 Расчет экономии на отоплении в период эксплуатации.....	111
3.3.8 Сводные данные	111
3.4 Рекомендации по безопасному монтажу и эксплуатации вакуумных теплоизоляционных панелей.....	112
3.4.1 Рекомендации по устройству вакуумных теплоизоляционных панелей в многослойных конструкциях.....	113
3.4.2 Рекомендации по безопасному монтажу и эксплуатации вакуумных теплоизоляционных панелей	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	118
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ А - Матрица взаимодействий.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Таблица взаимодействий	123

1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Обзор современных теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы – строительные изделия и материалы, призванные обеспечить тепловую изоляцию зданий и сооружений, различной аппаратуры, установок, холодильных камер, трубопроводов, транспортных средств и т.д. с целью уменьшения тепловых потерь в окружающую среду. Теплозащитные свойства теплоизоляционных материалов обусловлены их малой плотностью, а также пористой структурой.

По области применения теплоизоляционные материалы можно разделить на следующие виды:

- Теплоизоляция для производства 2- и 3-слойных железобетонных плит, сэндвич-панелей;
- Кровельные теплоизоляционные материалы;
- Общестроительная теплоизоляция, применяемая для утепления полов, фасадов, перегородок и пр.;
- Техническая теплоизоляция, предназначенная для изоляции трубопроводов, судов, вагонов, транспортных средств, холодильных установок и пр.

Основными целями использования современных утеплителей в строительной сфере является сокращение затрат на отопление зданий и сооружений, что влечет за собой снижение выбросов в атмосферу углекислого газа, двуокиси серы и двуокиси азота теплоэлектростанциями и котельными, сокращение веса конструкций здания, сокращение расхода строительных материалов при строительстве, а также сокращение сроков возведения объектов.

В конструкциях современных зданий и сооружений применяется широкий спектр теплоизоляционных материалов. Согласно оценкам специалистов холдинга «Технониколь», структура рынка теплоизоляционных материалов на территории

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

продукции. В-третьих, следует учитывать сферу применения утеплителя – на фасаде, в полах, в крыше и т.д. И, в-четвертых, на выбор могут повлиять сопутствующие факторы – финансовые возможности, географические, климатические характеристики, логистические возможности.

Основные характеристики наиболее часто используемых теплоизоляционных материалов приведены в таблице 1.1.1. В ней учтены как физические свойства материалов, так и их применимость в различных конструктивных элементах здания, горючесть и погодные ограничения по монтажу. Дадим краткую характеристику.

Если взять за основу фактор теплопроводности, являющийся главным по определению для ТИМ, то пенополистирол является наиболее эффективным материалом. Экструдированный пенополистирол имеет низкий коэффициент теплопроводности, низкую степень паропроницаемости, но при этом высокую цену. Минеральная вата имеет преимущество – в некоторых системах навесных фасадов ее применение безальтернативно, например, в системах с натуральным искусственным камнем, в 3D плоскостях и т.д. Но есть и недостаток при устройстве вентилируемых фасадов: если применяются алюминиевые крепления, с помощью которых минеральная вата крепится к стене дома, то они выступают в роли мостиков холода.

Рассматривая вопрос пожарной безопасности, следует отметить, что минеральная вата менее горяча, чем материалы из полимеров. Но, как уже оговаривалось выше, необходимо судить о конструкции ограждения в целом. Следует также учитывать, что теплозащитные свойства системы во многом зависят от влагостойкости материала утеплителя, так как при поглощении влаги утеплитель в большей или меньшей степени теряет свойство задерживать тепло. Влагостойкость газобетона и минеральной ваты ниже, чем у пенополистирола, а паропроницаемость наоборот, выше. Эти факторы в разы снижают их теплоизолирующие свойства. Когда данные теплоизоляционные материалы

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

энергетического кризиса, произошедшего в 1970-х годах, и уже в 1976 г в большинстве передовых стран нормируемые показатели теплозащиты ограждающих конструкций возросли в 2-3,5 раза. На сегодняшний день требования к теплоизоляционным материалам постоянно меняются, но неизменно в сторону повышения. Это ужесточает нормативы теплопроницаемости, а также смежных показателей как здания в целом, так и строительных конструкций в отдельности.

Концепция дома с энергосбережением постепенно находит признание и в России. До относительно недавнего времени низкая стоимость энергоносителей в нашей стране не позволяла ощутить максимальный экономический эффект от использования современных решений по утеплению зданий. Но так как наша страна взяла курс на создание эффективной экономики, то, согласно программе долгосрочного развития, особое внимание необходимо уделять инновациям в сфере эффективных энергосберегающих систем для строительства, сфер ЖКХ и промышленности.

В России был принят закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 №261-ФЗ, целью которого является создание экономических, правовых и организационных основ для стимулирования энергосбережения и роста энергоэффективности. Известно, что энергоэффективность складывается из нескольких факторов.

Теплопотери, возникающие в жилом здании в зимнее время суток, отображены на рисунке 1.2.1. Согласно данной информации, основные теплопотери в зимний период приходятся на наружные ограждающие конструкции, а именно наружные стены (около 40% тепла). Распределение остальных потерь тепла выглядит следующим образом: 18% - на окна, двери, 10% - на подвал, 14% - на систему вентиляции, 18% - на крыше. Очевидно, что данное распределение потерь тепла носит общий характер и может довольно сильно коррелироваться в зависимости от

Обладание высокой термической стабильностью и низкой плотностью позволяет использовать вакуумные теплоизоляционные изделия с сердечником из стекловолокна в печах.

Несмотря на то, что сердечник из стекловолокна относительно недорогой, срок службы вакуумной панели с его использованием, согласно исследованиям, составляет около 15 лет, что делает недопустимым его применение в строительной сфере.

1.3.1.2 Десиканты, газопоглотители и глушители

Одним из крупнейших недостатков вакуумных теплоизоляционных панелей является увеличение их теплопроводности с течением времени, что является следствием проникание газа и водяных паров в сердечник панели через оболочку. Для противодействия этому процессу в материал сердечника добавляют осушители и газопоглотители.

Глушители добавляются в сердечник для сокращения потерь тепла через излучение. Таким образом можно достичь сокращение коэффициента теплопередачи панели до 0,001 Вт/(м·К).

Осушители и газопоглотители добавляются в сердечник для увеличения срока службы вакуумной теплоизоляции: они адсорбируют газы и водяные пары, проникающие через защитный слой, и помогают обеспечивать заданный уровень теплопередачи вакуумной панели до тех пор, пока их адсорбирующая способность не будет исчерпана. Газопоглотитель представляют собой вещество, поглощающее и прочно удерживающее газы (кроме инертных), связывая их за счёт хемосорбции, часто используются в устройствах (которые в обиходе тоже называют геттерами) для газопоглощения и обеспечения необходимой степени вакуумирования. Десиканты (влагопоглотители, осушители) состоят из высокогигроскопичных материалов, и за счет этого свойства они улавливают и удерживают в себе влагу, попадающую в сердечник. Некоторые материалы, из которых изготавливается сердечник, уже обладают свойствами, присущими десикантам (например,

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

Пенополиуретан:

$$m = 50 \times 1 \times 0,12 = 6 \text{ кг}$$

Вакуумная теплоизоляция:

$$m = 180 \times 1 \times 0,02 = 3,6 \text{ кг}$$

Исходя из вычисленных данных, можно сделать вывод, что при сравнении наиболее известных и часто применяемых при утеплении здания материалов (пенополистирол, пенополиуретан, минеральная вата) с вакуумными теплоизоляционными панелями, последние оказались гораздо тоньше и легче

Как уже упоминалось выше, вакуумные теплоизоляционные панели представляют собой сердечник из пористого материал (кремнезем, стекловолокно, аэрогели, пенополиуретан и пр.), заключенный в газонепроницаемую оболочку. Сердечник, находящийся в вакууме, выполняет функцию теплоизолятора, а также механическую функцию – он поддерживает форму панели. Газонепроницаемая оболочка выполняет защитную функцию – она предохраняет сердечник от попадания в него влаги, а также от механических воздействий, возникающих в процессе монтажа и эксплуатации. Помимо защитной функции, оболочка поддерживает вакуум внутри панели, что значительно снижает ее теплопроводность.

Выделим основные преимущества и недостатки вакуумных теплоизоляционных панелей:

Преимущества:

- уменьшение общей толщины и веса конструкции за счет того, что вакуум позволяет значительно сократить толщину теплоизоляционного слоя;
- существенное повышение энергетической эффективности;
- экологически чистый материал, не наносит вред и риск для здоровья человека и животных;

- устойчивость конструкции в течение длительного периода – срок службы вакуумной теплоизоляции может составлять до 50 лет;
- негорюч;
- материал можно применять многократно;
- не требует утилизации.

Недостатки:

- нельзя резать и распиливать, сверлить так как при любом повреждении защитного слоя происходит повышение давления в панели, что, в свою очередь, приводит к снижению теплоизолирующих свойств;
- нельзя ходить по незащищенным панелям.
- высокая стоимость панелей;
- хрупкость;
- невозможность использования в сложных местах.

Вакуумные теплоизоляционные панели разных производителей имеют разный состав, характеристики и области применения. Для полного представления характеристик вакуумных панелей рассмотрим основные свойства панели va-Q-vip, производимой фирмой va-Q-tec, основанной в Германии в 2000 г. Данная панель предназначена как для утепления строительных конструкций (полов, стен, крыш и др), так и при утеплении котлов, поездов, кораблей и др. техники [18].

Основные характеристики представлены в виде таблицы 1.3.3.1. Сама панель представлена на рисунке 1.3.3.2.

- 19. краевая область
- 20. провод
- 30. отверстие
- 32. пустота
- 34. покрытие
- 36. первый конец втулки
- 37. первый воротник
- 38. второй конец втулки
- 39. второй воротник

Надсистема:

- 40. Анкер
- 41. Кирпичная кладка
- 42. Армирующая сетка, покрытая клеевым составом
- 43. Соседняя вакуумная теплоизоляционная панель
- 44. Тепловой поток с улицы
- 45. Тепловой поток из помещения

2. Описание модели и внесенные изменения

В данном изобретении идет речь о вакуумной изолирующей панели, содержащей сердечник или опорный корпус изолирующего материала, на основной поверхности которого размещается по меньшей мере один проход.

Панели вакуумной изоляции в соответствии с изобретением отличается тем, что конструкции в отверстиях, а именно ошейники или фланцы, образуют устойчивую опорную поверхность для крепежных деталей, как, например, винты и т.д., таким образом, что крепления изоляции панелей вакуума, например, к стене, не вызывает никаких деформации изолирующего материала несущего тела

3. Результат изменения. Разрешенные решением противоречия

					ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		39

Система:

1. ядра
2. фронтальные края
3. вкладыш
5. вакуумная теплоизоляционная панель
7. вакуум
9. покрытие

Надсистема:

10. Кирпичная кладка
11. Армирующая сетка, покрытая клеевым составом
12. Соседняя вакуумная теплоизоляционная панель
13. Тепловой поток с улицы
14. Тепловой поток из помещения

2) Описание модели и внесенные изменения)

Способность панелей изгибаться позволяет использовать вакуумные изоляционные панели для изоляции угловых элементов на фасадах зданий, внутри или снаружи прямоугольных воздуховодов или полых конструктивных секций или компрессорного отсека в холодильниках

Однако, если сердечники расположены слишком близко друг к другу, во время изготовления такой панели могут возникать чрезмерные помехи, что делает невозможным достижение требуемой степени изгиба

Поэтому целью настоящего изобретения является создание гибкой вакуумной изоляционной панели и способа изготовления, которая позволяет преодолеть или минимизировать эти проблемы.

3) Результат изменения. Разрешенные решением противоречия

Возможность использования панелей для теплоизоляции угловых элементов здания.

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

Значение составляющей λ_t зависит от кажущейся плотности пористого наполнителя панели и в случае применения диатомита характеризуется конкретным месторождением. Благодаря его высокой пористости, составляющая λ_t имеет достаточно низкое значение. Дальнейшее снижение плотности диатомита с целью уменьшения значений коэффициента его теплопроводности связано с дорогостоящими технологическими процедурами физико-химического модифицирования его структуры и поверхности. Поэтому экономически целесообразнее снижать радиационную составляющую теплопроводности λ_r .

Эффективность теплоизоляции вакуумной панели и долговечность ее эксплуатации зависит от барьерных свойств оболочки, т.е. газопроницаемости. Несмотря на то, что фиброцементные плиты и полиуретановый клей обладают низкой газонепроницаемостью, они не являются надежными барьерными материалами, достаточными для обеспечения требуемой герметичности корпуса панели в течение длительной эксплуатации.

Но, имея повышенные теплозащитные характеристики в результате использования чистых диатомитов, эта вакуумная панель не обеспечивает полного повышения теплоизоляционных свойств и длительного сохранения герметичности конструкции.

Технический результат по снижению лучистого теплообмена диатомитового наполнителя заявляемой вакуумной теплоизоляционной панели достигается путем применения инфракрасных глушителей, в качестве которых могут использоваться вспученный перлит, сажа, терморасширенный графит, карбид кремния, оксиды металлов: алюминия, железа, марганца, титана, циркония, хрома, - а также соли: силикаты и фосфаты.

Технический результат по обеспечению герметичности корпуса заявляемой вакуумной теплоизоляционной панели и длительного сохранения вакуума внутри ее достигается применением высокоэффективных барьерных материалов оболочки панели на основе полимерных композитов.

3) Результат изменения. Разрешенные решением противоречия.

Повышение теплоизоляционных свойств и герметичности конструкции панели, обеспечение длительного сохранения вакуума внутри ее. Разрешение противоречия: низкая газопроницаемость не является гарантом необходимой герметичности корпуса в течение длительной эксплуатации и не обеспечивает полного повышения теплоизоляционных свойств

4) Прием, использованный для решения

Принцип частичного решения – лучистый теплообмен уменьшается частично за счет использования инфракрасного глушителя.

5) Закон развития технических систем, проявленный в решении:

Закон опережающего развития рабочего органа – основные изменения произошли в рабочем органе – наполнителе из диатомитового порошка (добавили в него инфракрасный глушитель, что привело к сокращению лучистого обмена тепла)

6) Уровень технического решения по Альтшуллеру:

Третий уровень.

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

герметично заваривают пленку. При этом формованное изделие подвергают прессованию. Способ отличается тем, что прессование формованного изделия осуществляют после его обертывания газонепроницаемой пленкой и перед вакуумированием.

3) Результат изменения. Разрешенные решением противоречия.

Улучшение качества поверхности вакуумной изоляционной поверхности, повышение гибкости панели, уменьшение теплопроводности. Решенное противоречие: за счет дополнительного спрессовывания может произойти повреждение элементов изделия, в частности сварного шва.

4) Прием, использованный для решения

Принцип предварительного действия – прессование осуществляется перед процессом вакуумирования.

5) Закон развития технических систем, проявленный в решении

Закон перехода с макроуровня на микроуровень

6) Уровень технического решения по Альтшуллеру:

Первый уровень

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

В данном разделе проведено исследование эффективности утепления наружных стен вакуумными теплоизоляционными панелями. Рассмотрены три возможных варианта устройства теплоизоляции:

1. Устройство «мокрого» фасада;
2. Устройство системы навесного фасада;
3. Устройство трехслойной железобетонной панели с вакуумными теплоизоляционными панелями в качестве утеплителя.

Для каждого решения утепления выполнен теплотехнический расчет, а также моделирование процесса стационарной теплопередачи в программном комплексе Elcut, получены картины распределения температурных полей в наружных стенах, а также сделаны выводы по каждому рассмотренному варианту утепления стен.

2.1 Исследование системы «мокрого» фасада с применением вакуумных теплоизоляционных панелей

2.1.1 Исходные данные для исследования

Система «мокрого» фасада выполнена по стене из кирпичной кладки толщиной 250 мм (в 1 кирпич) и представляет собой многослойную конструкцию, утеплителем в которой являются вакуумные теплоизоляционные панели va-Q-vir немецкой фирмы va-Q-tes. Облицовка выполнена из клинкерного кирпича. Состав стены приведен на рисунке 2.1.1.1.

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

2.1.3 Моделирование процесса стационарной теплопередачи в конструкции наружной стены с «мокрым» фасадом в программном комплексе Elcut

Моделирование процесса стационарной теплопередачи в программе Elcut проводится с целью наблюдения за распределением температурных полей, возникающих и в процессе эксплуатации здания.

Начальные условия задачи, исходные данные, состав стены приведены в пунктах 2.1.1 и 2.1.2.

Процесс создания модели можно разделить на следующие этапы:

- 1) Выбор типа задачи: стационарная теплопроводность;
- 2) Выбор класса модели (плоская), единиц длины (мм), системы координат (декартовы), типа расчета (обычный), шага сетки привязки (10 мм);
- 3) Непосредственно рисование модели по вершинам и граням;
- 4) Построение сетки конечных элементов (шаг дискретизации равен 75);

После построения сетки КЭ, модель выглядит так, как показано на рисунке 2.1.3.1.

5) После построения сетки конечных элементов необходимо задать метки отдельным блокам и граням. Блокам задаются свойства согласно данным таблицы 2.1.2.2.1

Свойства включают:

1. коэффициент теплопроводности;
2. удельный вес материала;
3. удельный коэффициент теплоемкости материала.

$$19,70^{\circ}\text{C} \geq 11,62^{\circ}\text{C}$$

2.3.3 Моделирование процесса стационарной теплопередачи в конструкции наружной стены с системой вентилируемого фасада в программном комплексе elcut

Моделирование процесса стационарной теплопередачи в программе Elcut проводится с целью наблюдения за распределением температурных полей, возникающих и в процессе эксплуатации здания.

Начальные условия задачи, исходные данные, состав стены приведены в пунктах 2.3.1 и 2.3.2. При составлении модели следует учесть, что у наружной поверхности стены имеет место температурный мостик, возникающий за счет вставок из пенополистирола.

Процесс создания модели можно разделить на следующие этапы:

- 1) Выбор типа задачи: стационарная теплопроводность;
- 2) Выбор класса модели (плоская), единиц длины (мм), системы координат (декартовы), типа расчета (обычный), шага сетки привязки (10 мм);
- 3) Непосредственно рисование модели по вершинам и граням;
- 4) Построение сетки конечных элементов (шаг дискретизации равен 55);
- 5) После построения сетки конечных элементов необходимо задать метки отдельным блокам и граням. Блокам задаются свойства согласно данным таблицы 2.3.2.1.

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						69
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

полностью, но заметно сокращает свои теплоизоляционные характеристики. Это выражается в увеличении коэффициента теплопроводности с 0,005 Вт/(м·К), которым панель обладает при давлении в сердечнике 500 Па, до 0,02 Вт/(м·К) при атмосферном давлении.

Таким образом, теплопроводность панели при нарушении герметичности увеличивается в 4 раза.

Предположим, что в ходе эксплуатации была нарушена герметичность одной вакуумной теплоизоляционной панели размерами 500х600х30 мм. За счет этого ее теплопроводность сократилась в 4 раза. Смоделируем данный процесс в программном комплексе Elcut.

Для этого в готовой модели мокрого фасада зададим участку слоя вакуумной теплоизоляции длиной в 500 мм следующую характеристику: $\lambda = 0,02$ Вт/(м·К).

На рисунке 2.4.1.1 приведено сравнение двух картин температурных полей: слева изображена модель стены с вакуумной теплоизоляцией без повреждения, а справа - модель стены, в которой одна вакуумная теплоизоляционная панель потеряла часть своих теплоизоляционных характеристик

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74

2.4.2 Моделирование нежелательного эффекта, связанного с ошибкой при монтаже вакуумной теплоизоляционной панели

Предположим, что в ходе устройства «мокрого» фасада вакуумные теплоизоляционные панели va-Q-vip были смонтированы с зазором размером в 1 см. Это должно привести к возникновению мостика холода.

Для моделирование данной ситуации воспользуемся уже существующей моделью «мокрого» фасада и в слое вакуумной теплоизоляции создадим «дыру» размером в 1 см, придав ей характеристики воздуха.

На рисунке 2.4.2.1 приведено сравнение двух картин температурных полей: слева изображена модель стены с вакуумной теплоизоляцией, смонтированной без дефектов, а справа – модель стены с дефектом монтажа, характеризующимся зазором в 1 см между вакуумными теплоизоляционными панелями.

Из рисунка 2.4.2.2 хорошо видно, что дефект монтажа вакуумной теплоизоляционной панели привело к увеличению исходящего теплового потока: с величины в 15 Вт/м^2 он возрос до 26 Вт/м^2 . Но, несмотря на это, как видно из рисунка 2.4.4.1, вакуумная теплоизоляция продолжает проявлять свои теплоизоляционные свойства, хоть и с сокращением теплопроводности.

На рисунке 2.4.2.2 приведено сравнение двух полей картин тепловых потоков: слева – без дефекта монтажа, справа – с дефектом.

- VIII – Армирующая сетка из стекловолокна
- IX – Растворная штукатурная смесь;
- X – Наружная отделка поверхности

Перечислим компоненты НАДСИСТЕМЫ:

1. Помещение;
2. Нижнее перекрытие;
3. Верхнее перекрытие;
4. Боковые стены;
5. Люди;
6. Дождь;
7. Солнце;
8. Воздух;
9. Тепловое поле внешнее.

Известные нежелательные эффекты:

- НЭ-1 – Растрескивание и отслоение декоративно-армирующего слоя;
- НЭ-2 – Повреждение теплоизоляции;
- НЭ-3 – Растрескивание по диагонали;
- НЭ-4 – Вертикальные трещины, трещины между окном и откосом, сеточное растрескивание;
- НЭ-5 – Низкая контролеспособность многослойной конструкции;
- НЭ-6 – Малый срок службы теплоизоляции.

3.1.2 Аналитический этап

Включает компонентный и структурный анализ, а также описание взаимодействия элементов.

Перечень компонентов системы:

1. Стена из кирпичной кладки;
2. Клеевая смесь;
3. Строительный раствор с пазами под распорки;
4. Вакуумная теплоизоляционная панель;
5. Пластиковая распорка;
6. Пластичная растворная смесь;
7. Армирующая сетка из стекловолокна;
8. Растворная штукатурная смесь;
9. Декоративный сло

Перечень надсистемных элементов, взаимодействующих с анализируемой системой:

1. Помещение;
2. Нижнее перекрытие;
3. Верхнее перекрытие;
4. Боковые стены;
5. Люди;
6. Дождь;
7. Солнце;
8. Воздух;
9. Тепловое поле внешнее.

Составим матрицу взаимосвязей элементов стены и надсистемы и на основе матрицы составим описание взаимодействия частей системы и надсистемы, также в табличном виде. Матрица взаимосвязей приведена в приложении 1; таблица с описанием взаимодействия частей системы и надсистемы приведена в приложении 2.

3.1.3 Список задач по итогам компонентного анализа

1. По связи «стена-распорка» необходимо устранить вредные действия: «разрушать стену» и сохранить полезные действия «держат распорку»;
2. По связи «стена-люди» необходимо устранить вредные действия: «разрушать стену (при сверлении)»;
3. По связи «раствор с пазами – распорка» необходимо устранить вредные действия: «разрушать раствор» и сохранить полезные действия: «держат распорку»;
4. По связи «ВИП – люди» необходимо устранить вредные действия: «протыкать ВИП (при сверлении)»;
5. По связи «Декоративный слой – люди» необходимо устранить вредные действия: «Разрушать декоративный слой»;
6. По связи «Декоративный слой – дождь» необходимо устранить вредные действия: «Разрушать декоративный слой» и сохранить полезные действия: «держат дождь»;

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		81

- Рекомендуется применение защитных слоев (например, из ППУ) с лицевых сторон панелей: это уменьшит риск повреждения панели при транспортировке и монтаже;

- Монтаж вакуумных теплоизоляционных панелей необходимо производить в сухих условиях, так как даже небольшое количество влаги может нанести ущерб ее изоляционным свойствам;

- При разработке системы утепления с применением вакуумных теплоизоляционных панелей необходимо учитывать необходимость замены одной или нескольких панелей в связи с их возможным повреждением и/или снижением изоляционных свойств;

- Лица, допущенные до работы с вакуумными теплоизоляционными панелями, должны обладать необходимой квалификацией и подготовкой;

- Не допускается ходьба по незащищенным вакуумным теплоизоляционным панелям: это может повредить защитную оболочку и стать причиной потери изоляционных свойств.

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		115

преимущества заключаются в экономии средств на строительство (в основном за счет экономии внутреннего пространства при использовании более тонкой конструкции), облегчении конструкции, а также уменьшении ее толщины. К недостаткам можно отнести сокращение теплоизоляционных свойств панели в случае повреждении ее наружного слоя, необходимость в высокой точности при проектировании и монтаже панелей и соответствующая квалификация монтажников, позволяющая работать с данным видом теплоизоляции.

Таким образом, использование вакуумных теплоизоляционных панелей при утеплении наружных стен возможно и обладает своими преимуществами, но требует необходимой высокой квалификации и точности монтажа, а также наблюдения за их состоянием в период эксплуатации.

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						117
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селяев В.П. Вакуумные теплоизоляционные панели на основе модифицированного диатомита / В.П. Селяев, В.Н. Неверов., О.Г. Маштаев, Н.Н. Киселев // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7(42). – с. 15-25.
2. Дульнев Г. Н. Теплопроводность моно- и полидисперсных зернистых материалов / Г.Н. Дульнев, Г.В. Сигалова // Строительная теплофизика. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 40-47.
3. Alam, M., Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry - A review of the contemporary developments and future directions / Alam, M., Singh, H., and Limbachiya, M. C. // Applied Energy. – 2011. - №88(11), - p. 3592–3602.
4. Brunner, S. In situ performance assessment of vacuum insulation panels in a flat roof construction./ Brunner, S. and Simmler, H. // Vacuum - №82(7), - p.700-707.
5. Fricke, J. Vacuum insulation panels - From research to market / Fricke, J., Heinemann, U., and Ebert, H. P. // Vacuum, №82(7), - p. 680-690.
6. Ghazi Wakili, Effective thermal conductivity of vacuum insulation panels / Ghazi Wakili, K., Bundi, R., and Binder, B. // Building Research and Information. – 2004/ - №32(4), - p. 293-299.
7. Ghazi Wakili Effective thermal conductivity of a staggered double layer of vacuum insulation panels. / Ghazi Wakili, K., Stahl, T., and Brunner, S. // Energy and Buildings. – 2004. - №43(6). – p.1241-1246.
8. Gudmundsson, K. A Parametric Study of a Metal Sandwich VIP. Proceedings of the 9th International Vacuum Insulation Symposium, September 18-19, 2009, London, UK.
9. Ghazi Wakili Effective thermal conductivity of a staggered double layer of vacuum insulation panels / K., Stahl, T., and Brunner, S. // Energy and Buildings. – 2011. - №43(6). – p.1241-1246.

10. Zwerger, M., Klein, H. Integration of VIP's into external wall insulation systems. Proceedings of the 7th International Vacuum Insulation Symposium, September 28-29, 2005, Duebendorf / Zurich, Switzerland. - p. 173-179.
11. P. Johansson Vacuum Insulation Panels in Buildings. Literature review. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden 2012
12. R. Caps Quality control of vacuum insulation panels: methods of measuring gas pressure / R. Caps, H. Beyrichen, D. Kraus, S. Weismann //Vacuum/ - 2008. - №82 (7). - p. 691-699.
13. S.E. Kalnæs Vacuum insulation panel products: a state-of-the-art review and future research pathways / S.E. Kalnæs, B.P. Jelle // Appl. Energ. – 2014. - №116. - p. 355-375.
14. A. Binz Vacuum insulation in the building sector-Systems and applications / A. Moosmann, G. Steinke, U. Schonhardt, F. Fregnan, H. Simmler, S. Brunner, K. Ghazi Wakili, R. Bundi, U. Heinemann //IEA/EBC Annex. – 2005. - №39. - p. 1-134.
15. F.E. Boafо Configured cavity-core matrix for vacuum insulation panel: concept, preparation and thermophysical properties / F.E. Boafо, J.T. Kim, Z.F. Chen // Energy Build. – 2015. - №97. - p. 98-106.
16. M. Alam Experimental Characterisation and Evaluation of the Thermo-Physical Properties of Expanded Perlite-Fumed Silica Composite for Effective Vacuum Insulation Panel (VIP) Core / M. Alam, H. Singh, S. Brunner, C. Naziris // Energy and Buildings. – 2014. - №69. - p. 442–450.
17. General fitting and building application instruction. - https://www.va-q-tec.com/en/products-industries/construction/technical-customer_support/installation_instruction.html
18. Va-Q-vip Characteristics and application. - <https://www.va-q-tec.com/en/products-industries/appliances-food/products/va-q-vip.html>

19. VACUPOR Vacuum insulation panel. Technical information. - http://www.morganthermalceramics.com/media/4488/vacupor_en.pdf
20. Vacuum Insulation Panels. Study on VIP-components and Panels for Service Life. Prediction of VIP in Building Applications. (Subtask A). - [http://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC Annex 39 Report Subtask-A.pdf](http://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC%20Annex%2039%20Report%20Subtask-A.pdf)
21. VIP General fitting and building application instruction. - [https://www.va-q-tec.com/en/products-industries/construction/technical-customersupport /installation-instruction.html](https://www.va-q-tec.com/en/products-industries/construction/technical-customersupport/installation-instruction.html)
22. Обзор способов утепления фасадов. - http://www.sopro39.ru/_sposoby_utepleniya_fasada
23. Данилевский Л.Н. Вакуумная теплоизоляция и перспективы ее использования в строительстве // Архитектура и строительство. – 2006. - №5. – с. 114-117.
24. ГОСТ 31310-2015. Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным утеплителем. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 24 с.
25. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М.: Министерство Регионального Развития Российской Федерации, 2012. – 113 с.
26. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Министерство Регионального Развития Российской Федерации, 2012. – 100 с.
27. Мозгалев К.М., Энергетическая эффективность зданий: учебное пособие / Абаимов А.И. Головнев С.Г. Мозгалев К.М. – Челябинск: Изд-во РЕКПОЛ, 2011. - 36 с.
28. Воробьев В. А. Строительные материалы / Воробьев В. А., Комар А. Г.. –М.: Изд-во Стройиздат, 1971. – 452 с.

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						120
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

29. Чернов В.А. Технология строительных процессов: Курс лекций. – Набережные Челны: Камский государственный политехнический институт. 2004. – 310 с.

30. Patent 20090324871 USA. Vacuum insulation panel with a lead-through / Dieter Henn - № US 2009/0324871 A1; publ. dec. 31, 2009.

31. Patent 2003089729 WIPO. Flexible vacuum insulation panel and method of manufacture / Joseph Henry Ledgerton, Michael Edward Smith - № WO2003089729 A1; publ. oct. 30, 2003.

32. Пат. 120437 Российская Федерация. Вакуумная теплоизоляционная панель / Александр Дмитриевич Веденин, Андрей Петрович Пустовгар - № RU2012118186U; опубл. 04.05.12.

33. Пат. 2421656 Российская Федерация. Способ изготовления вакуумных изоляционных панелей / КЛАССЕН Йоханн, КРОГМАНН Йорг - № RU2421656C2; опубл. 20.05.2009.

34. Patent 20090179541 USA Vacuum insulation panel with smooth surface method for making and applications of same / Douglas M. Smith Stephen Wallace - № US20090179541A1; publ. dec. 12, 2007.

					<i>ЮУрГУ-08.04.01.2018.162.ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						<i>121</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		