

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет»**

На правах рукописи



Емельянов Алексей Андреевич

**РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ
С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ С УЧЕТОМ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ**

**Специальность 05.23.01 – «Строительные конструкции,
здания и сооружения»**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
В.М. Туснина



Москва – 2015 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	
1.1. Навесные фасадные системы, применяемые в отечественном строительстве	13
1.2. Экспериментально-теоретические исследования эксплуатационных свойств навесных фасадных систем	18
1.3. Экспериментально-теоретические исследования теплотехнических свойств навесных фасадных систем	25
1.4. Цель и задачи исследования	39
Глава 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ НАВЕСНОЙ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ И УЗЛОВЫМ КРЕПЛЕНИЕМ ОБЛИЦОВКИ	
2.1. Конструирование навесной фасадной системы с гибкими связями и узловым креплением облицовки	40
2.1.1. Выбор геометрических параметров системы на основе анализа прочностных и теплотехнических свойств типовых конструктивных решений	40
2.1.2. Разработка конструктивного решения системы с гибкими связями, обладающего повышенным сопротивлением теплопередаче	43
2.2. Оценка материалоемкости конструкции фасадной системы с гибкими связями на основе изготовления опытной партии элементов конструкции	51
Выводы по главе	55
Глава 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НАВЕСНОЙ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ	
3.1. Анализ теплотехнических свойств разработанной конструкции	57
3.1.1. Исследование теплотехнических свойств наружных стен зданий с навесными фасадными системами	57

3.1.2. Исследование теплотехнических свойств разработанной конструкции на основе численного расчета трехмерного температурного поля	62
3.2. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен зданий с применением системы на гибких связях	74
3.2.1. Разработка методики определения дополнительных тепловых потерь через теплотехнические неоднородности наружной стены	74
3.2.2. Разработка методики определения приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены	76
Выводы по главе	77
Глава 4. ЧИСЛЕННЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	
4.1. Численные исследования прочности и деформативности системы при действии статических и динамических нагрузок	78
4.1.1. Определение диапазона предельно допустимых нагрузок системы в зависимости от ветрового района и высоты здания	78
4.1.2. Конечно-элементное моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния конструкции	88
4.1.3. Сравнение результатов расчета в вычислительном комплексе «ЛИРА» и расчета по инженерной методике	96
4.2. Экспериментальные исследования прочности и деформативности разработанной фасадной системы при действии динамических нагрузок	99
4.2.1. Цель и задачи экспериментального исследования	99
4.2.2. Методика и программа эксперимента	101
4.2.3. Монтаж экспериментального фрагмента системы	107
4.2.4. Анализ динамических характеристик и принципиальной работы системы с использованием вычислительного комплекса «WinПОС»	110
4.2.5. Оценка эксплуатационной пригодности системы при использовании ее в зданиях повышенной этажности и в условиях динамических воздействий	118
Выводы по главе	124

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	127
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	129
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Данные о несущей способности системы при действии статических и динамических нагрузок	147
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Акт внедрения результатов научно-исследовательской работы	163

ВВЕДЕНИЕ

Высокие темпы роста монтажа навесных фасадных систем в России обуславливаются возросшей потребностью утепления наружных стен и придания архитектурной выразительности фасаду.

В настоящее время существует большое количество навесных фасадных систем, которые отличаются видом облицовочного материала, конструктивным решением и материалом несущей конструкции. Широкое распространение в России получили навесные фасадные системы с использованием в качестве облицовочного материала керамогранитных плит. Применение в навесных фасадах материалов с различной теплопроводностью (металлических элементов несущей конструкции и теплоизоляционного материала) приводит к тому, что не обеспечивается теплотехническая однородность утепляемой стены. Металлические кронштейны системы «пррезают» слой утеплителя и, имея значительную площадь соприкосновения со стеной здания, являются «мостиками холода». Все это ухудшает общие теплотехнические свойства ограждающей конструкции.

Снижение тепловых потерь из помещений, которые происходят, в основном, через наружные стены является сегодня одной из важнейших задач при проектировании ограждающих конструкций зданий.

В настоящее время существует конструктивное решение навесного фасада [7], обладающее повышенной теплотехнической однородностью в сравнении с существующими распространенными системами. Кронштейны такой конструкции устанавливаются только в торцы плит перекрытий на фасаде зданий. Тем самым, за счет сокращения «мостиков холода» (сокращается количество кронштейнов), повышается теплотехническая однородность системы утепления. Однако, направляющие системы не имеют промежуточных опор и воспринимают нагрузки с большей грузовой площади в сравнении с распространенными конструкциями. Это ведет к повышению требований по несущей способности и соответственно к увеличению их

материалоемкости. Поэтому широкое распространение такие системы не получили.

Отсутствие исследований по оптимизации несущих элементов навесных фасадных систем осложняет стоящую перед проектировщиками задачу по обеспечению требуемого нормами сопротивления теплопередаче стен зданий повышенной этажности с учетом значительных динамических нагрузок (сейсмической и пульсационной ветровой).

В связи с комплексным воздействием перечисленных факторов (неоднородность системы утепления, повышенная материалоемкость несущей конструкции и узкая область применения существующих навесных фасадных систем) на эффективность стенового ограждения зданий, возникает необходимость в целевых исследованиях.

Актуальность диссертационных исследований обусловлена необходимостью усовершенствования системы навесного вентилируемого фасада с целью повышения теплотехнической однородности наружных стен зданий, снижения материалоемкости несущих конструктивных элементов и расширения области применения таких систем в зданиях повышенной этажности в условиях динамических воздействий.

Известно, что наружные стены с применением навесных фасадных систем являются многослойными неоднородными конструкциями, подвергающимися комплексу силовых и не силовых воздействий, влияющих не только на их несущую способность, но и на срок службы ограждающих конструкций зданий. Однако, пришедшие с Запада и широко применяемые сегодня в нашей стране, навесные фасадные системы остаются недостаточно изученными с точки зрения адаптации их к условиям строительства в России. В связи с чем, исследование влияния конструктивных особенностей фасадной системы с гибкими связями на несущую способность и тепловую эффективность стенового ограждения в зданиях повышенной этажности для различных ветровых и сейсмических районов России представляется очень важной и актуальной задачей.

Степень разработанности темы диссертации. Исследованиями в области совершенствования ограждающих конструкций зданий с целью повышения их несущей способности и эксплуатационных качеств занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Известны работы по изучению прочности и деформативности навесных фасадных систем А.В. Грановского, Д.А. Киселева, М.Г. Александрия, А.Б. Крутилина, И.Л. Корчинского, А.Ю. Кудряшова и др. Исследованиям теплофизических свойств посвящены работы В.Г. Гагарина, Н.И. Ватина, А.Р. Туснина, В.В. Козлова, М.В. Петроченко, В.А. Езерского, В.М. Тусниной, Christoph Tanner, Christoph Zürcher и др.

Однако влияние конструктивных особенностей фасадных систем на их несущую способность и тепловую эффективность наружных стен до настоящего времени остается недостаточно изученным.

Научно-техническая гипотеза – применение гибких связей взамен жестких кронштейнов несущей конструкции навесного фасада позволит повысить теплотехническую однородность и, как следствие, приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен зданий.

Цель работы – повышение тепловой эффективности стенового ограждения зданий за счет применения фасадной системы с гибкими связями несущей конструкции и узловым креплением облицовки.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Анализ существующих навесных фасадных систем для выявления конструктивных особенностей, влияющих на теплотехническую однородность системы утепления наружных стен зданий, материалоемкость несущей конструкции фасада и область применения в зависимости от высоты здания и района строительства.

2. Исследование влияния неоднородных включений в конструкциях фасадных систем на теплотехнические свойства наружных стен зданий на основе численного расчета трехмерного температурного поля.

3. Разработка конструкции на гибких связях с узловым креплением облицовки на основе анализа результатов теоретических и численных исследований несущей способности и эксплуатационной надежности фасадной системы с учетом влияния особенностей района строительства и этажности здания.

4. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния и несущей способности разработанной фасадной системы при действии динамических нагрузок.

5. Исследование прочностных и деформационных характеристик конструкции с гибкими связями.

6. Изучение напряженно-деформированного состояния разработанной конструкции с гибкими связями при действии динамических нагрузок на основе конечно-элементного моделирования.

Объектом исследования является конструкция навесной фасадной системы на гибких связях с узловым креплением облицовки.

Предметом исследования является тепловая эффективность конструкции навесной фасадной системы на гибких связях с узловым креплением облицовки.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- установлено влияние геометрических параметров конструкции гибких связей фасадной системы на тепловую эффективность наружных стен зданий;
- получена трехмерная картина распределения температуры в стационарном поле наружных стен с фасадными системами на гибких и жестких связях;

- усовершенствована методика теплотехнического расчета наружных стен зданий с фасадными системами на гибких связях;

- получены данные о несущей способности фасадной системы с гибкими связями при действии динамических нагрузок.

Методология и методы диссертационного исследования обеспечиваются использованием экспериментальных и теоретических исследований отечественных и зарубежных ученых, согласованием исходных положений с общеизвестными методами научных исследований, базирующихся на фундаментальных принципах строительной механики и теплофизики.

Теоретическое и практическое значение исследования.

1. Предложена навесная фасадная система на гибких связях с узловым креплением керамогранитных плит для строительства и реконструкции зданий высотой до 75 метров в различных климатических районах России, характеризующаяся повышенным сопротивлением теплопередаче и меньшей материалоемкостью в сравнении с существующими аналогами.

2. Разработан альбом конструктивных решений предлагаемой фасадной системы для практического использования при проектировании и строительстве зданий повышенной этажности в различных климатических районах России.

3. Усовершенствована методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен зданий с фасадными системами на гибких связях.

4. Предложены критерии оценки параметров предельных состояний систем для идентификации их технического состояния в зависимости от характерных особенностей и количественных показателей повреждений на основе анализа базы данных результатов испытаний на виброплатформе существующих конструкций навесных фасадов с облицовкой керамогранитными плитами.

5. Установлено, что предложенная конструктивная система хорошо демпфирует колебания. Конструкция гибких связей обеспечивает рассеивание энергии системы от действия динамических нагрузок и, как следствие этого, приводит к уменьшению ускорений несущей конструкции навесного фасада, что весьма важно учитывать для повышения безопасности эксплуатации зданий.

Достоверность результатов и выводов заключается в корректности постановки задач, строгостью применяемых методов строительной физики, статики и динамики строительных конструкций. Результаты численных расчетов в вычислительных комплексах подтверждаются хорошей сходимостью экспериментальных данных и расчетов по инженерной методике.

Реализация результатов работы.

Конструктивное решение на гибких связях с узловым креплением облицовки использовано при модернизации навесной фасадной системы «Альт-фасад-02» на объекте: «Торгово-офисный центр по адресу: г. Тверь, ул. Красина, д. 70» для решения задач по улучшению характеристик системы с облицовкой керамогранитными плитами. В результате внедрения разработанной конструкции на гибких связях установлено, что затраты на отопление здания в зимний период снизились на 8%.

На защиту выносятся:

1. Разработанное конструктивное решение навесной фасадной системы на гибких связях с узловым креплением облицовки.
2. Результаты численного анализа тепловой эффективности фасадной системы на гибких связях.
3. Усовершенствованная методика определения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с навесной фасадной системой на гибких связях.

4. Результаты численного анализа напряженно-деформированного состояния системы на гибких связях при действии динамических нагрузок.

5. Результаты экспериментальных исследований несущей способности системы с гибкими связями на действие динамических нагрузок.

Личный вклад автора диссертации заключается в совершенствовании конструкции навесного фасада с облицовкой из керамогранитных плит; совершенствовании методики теплотехнического расчета навесных фасадных систем и получении коэффициентов теплотехнической однородности стенового ограждения для различных типов крепления облицовочных плит; в проведении экспериментальных исследований и обработке их результатов; в выполнении численного анализа на основе конечно-элементного моделирования системы и сравнении экспериментальных и теоретических результатов; в формулировке заключений и выводов диссертационного исследования, имеющих научную новизну и практическую значимость.

Апробация работы, степень ее достоверности и публикации.

Основные положения диссертационной работы докладывались на международных научно-практических конференциях:

– Пятнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности», Москва, МГСУ, апрель 2012г.;

– Семнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности», Москва, МГСУ, апрель 2014г.

Основные положения диссертации и результаты исследований опубликованы в шести печатных трудах, из них четыре в журналах, рекомендуемых ВАК РФ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (176 наименований), двух приложений и содержит 163 страницы машинописного текста, в том числе: 80 рисунков, 24 таблицы.

Диссертационная работа выполнена в 2011 – 2015 годах в ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» под руководством кандидата технических наук В.М. Тусниной.

Экспериментальные исследования прочности и деформативности навесной фасадной системы проводились в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Навесные фасадные системы, применяемые в отечественном строительстве

Фасадные системы в настоящее время в России широко применяются при строительстве и реконструкции зданий. Увеличение объемов применения навесных фасадных систем (далее НФС) связано с необходимостью выполнения требований действующих норм [107] в части обеспечения нормируемого уровня температурно-влажностного режима эксплуатируемого помещения.

Согласно данным, представленным в [92], НФС впервые появились в начале 70-х годов в Германии и сразу стали широко применяться в разных странах мира. В России НФС появились значительно позже, в начале 90-х годов, но уже успели завоевать популярность.

В России используется большое количество систем, которые отличаются конструктивным решением (с вертикальными направляющими или комбинированные), материалом несущей конструкции (оцинкованная сталь, алюминиевый сплав или коррозионностойкая сталь), видом облицовочного материала (керамогранит, композит, металлокассеты, листовые материалы, натуральный камень, сайдинг и др.) и способом крепления облицовочного материала (видимое или скрытое). Многообразие фасадных систем объясняется требованиями архитектурной выразительности зданий и поиском альтернативных НФС, более дешёвых и в то же время надежных в эксплуатации.

На рис. 1.1 показано распределение объемов отделки фасадов в России на 2013г. Диаграмма составлена по результатам анализа материалов, представленных в [92].

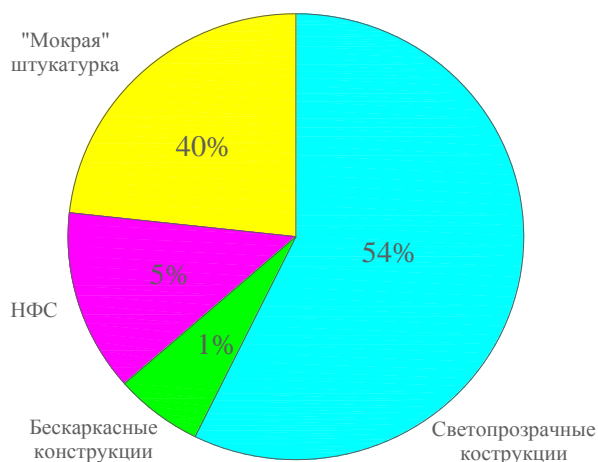


Рисунок 1.1 – Объемы отделки фасадов.

Область применения НФС в России включает в себя здания различного функционального назначения: жилые, общественные, промышленные и частное строительство. НФС используются при реконструкции существующей застройки и в новом строительстве, в том числе и на высотных зданиях. На рис. 1.2 показано распределение объемов НФС, примененных на различных типах зданий в России в 2013 году, согласно данным представленным в [92].



Рисунок 1.2 – Распределение объёмов НФС, устанавливаемых на различных типах зданий.

Существует три вида несущей конструкции НФС, в зависимости от материала, из которого они изготавливаются: из оцинкованной стали (или стали с полимерным покрытием), из нержавеющей (коррозионностойкой) стали и из алюминиевых сплавов. На рис.1.3 показано распределение объемов монтажа несущих конструкций систем из различных металлов (оцинкованной стали, коррозионностойкой стали и алюминиевых сплавов), применяемых в России на 2013 г. Диаграмма составлена по результатам анализа материалов, представленных в [92].

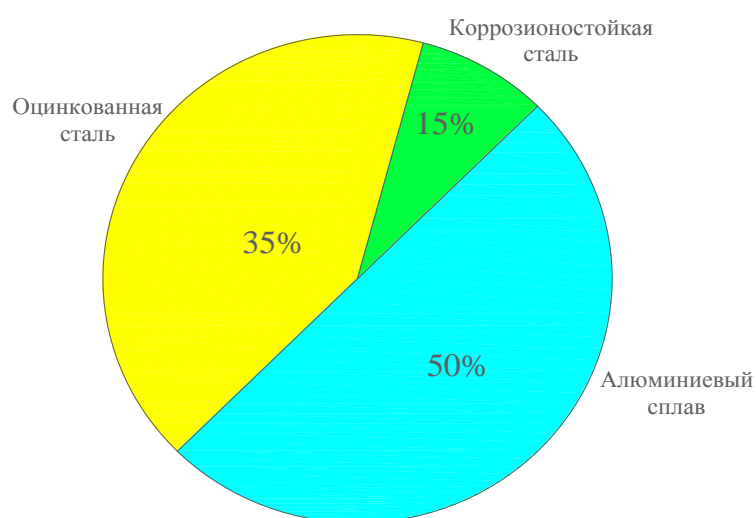


Рисунок 1.3 – Объемы монтажа несущих конструкций НФС из различных металлов.

Основными облицовочными материалами НФС являются: керамогранитные плиты, кассеты из композитных материалов, металлические кассеты, фиброцементные и асбестоцементные плиты, различные виды натурального камня, сайдинг. Керамогранит в настоящее время является одним из широко используемых видов облицовочного материала, применяемого в НФС. На рис. 1.4 показано распределение объемов монтажа облицовки из различных материалов, примененных в НФС в России на 2013 г. по данным [92].

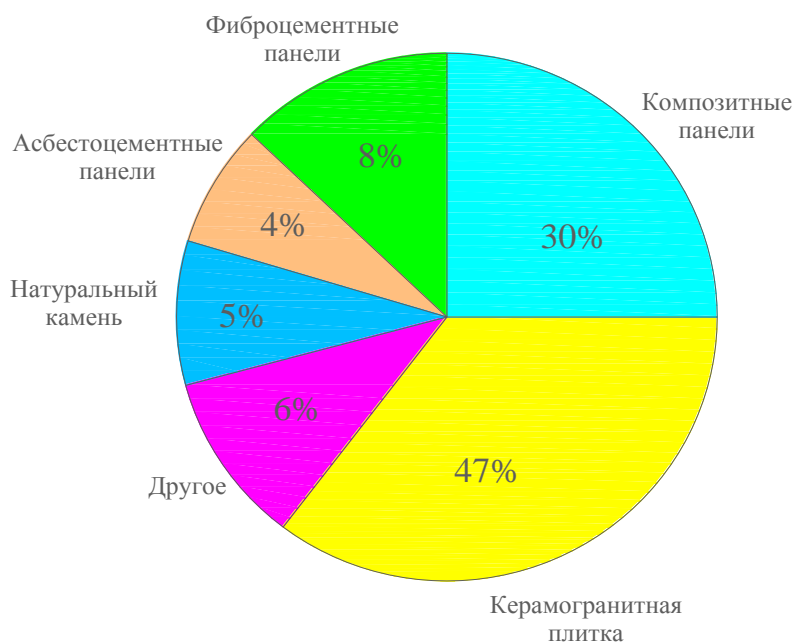


Рисунок 1.4 – Соотношение объемов монтажа облицовки из различных материалов, применяемых в НФС.

В настоящее время в НФС используются два типа крепления керамогранита: видимое и скрытое. На рис.1.5 изображено видимое крепление, на рис. 1.6 – скрытое.

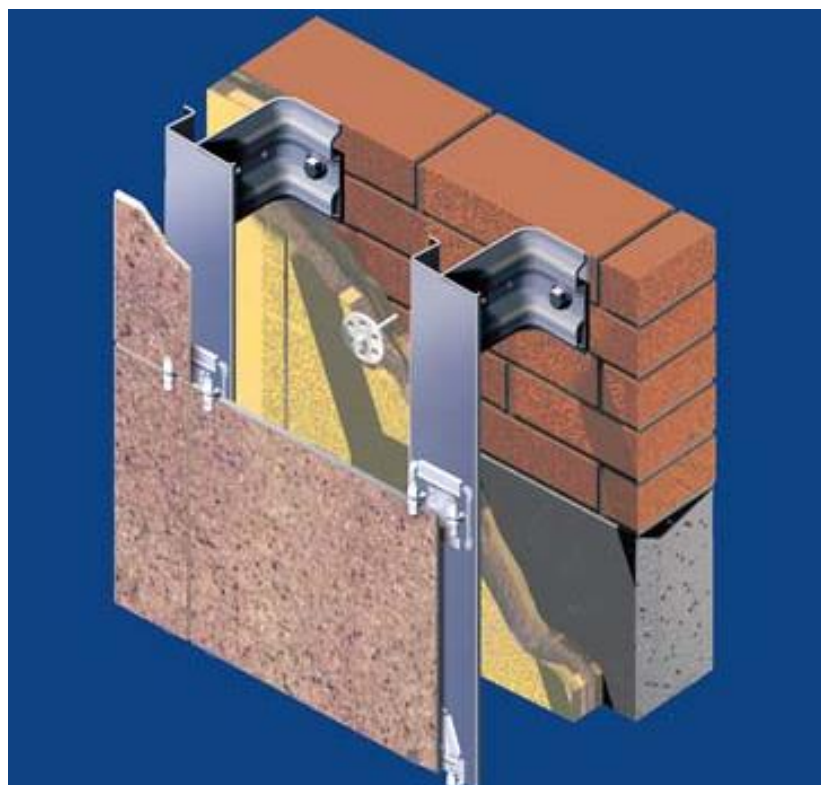


Рисунок 1.5 – Общий вид видимого крепления керамогранита в НФС

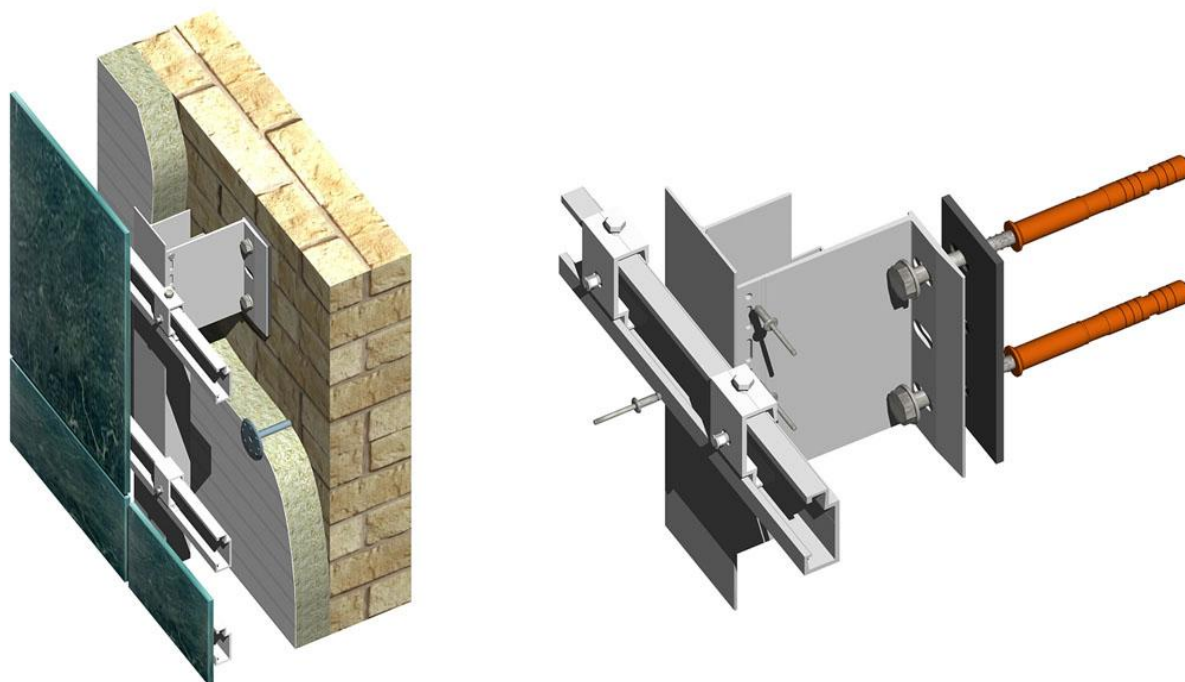


Рисунок 1.6 – Общий вид скрытого крепления керамогранита в НФС

При монтаже с помощью открытых систем крепления применяют рустовой способ крепления и монтаж плит на кляммеры. Способ крепления кляммерами в настоящее время является самым распространенным.

Скрытое крепление керамогранита выполняется двух видов: клеевой способ крепления и установка плит с отверстиями на специальные держатели.

Клеевой способ широко применяется за границей. В России он стал применяться недавно и пока не получил широкого распространения. Установка керамогранитных плит на специальные держатели является наиболее широко используемым способом скрытого крепления.

Скрытое крепление значительно дороже видимого, но имеет лучший эстетический вид. Надежность этого вида крепления связана с качеством производства работ. Его чаще всего применяют только на нижних этажах зданий.

1.2. Экспериментально-теоретические исследования эксплуатационных свойств навесных фасадных систем

Эксплуатационные свойства НФС зависят от прочности крепления системы к строительному основанию и от эксплуатационных свойств непосредственно самой системы [164, 67, 101].

Вопросы обеспечения прочности крепления НФС к стенам зданий и сооружений за счет использования зарубежных [148] и отечественных [39] исследований формализованы появлением отдельных нормативных документов [100]. Вопросы проектирования и расчета НФС (как для обычных, так и особенно, для сейсмоопасных регионов) в связи с отсутствием нормативной базы не позволяют достаточно четко установить оптимальные критерии безопасности НФС.

Ниже приведен обзор экспериментально-теоретических исследований эксплуатационных свойств НФС в указанных областях.

Прочность крепления системы к строительному основанию.

Прочностные вопросы анкерного крепления НФС к строительному основанию рассматриваются в работе [37]. В ЦНИИСКе им. В. А. Кучеренко проводятся испытания анкерного крепежа на действие динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия при землетрясениях интенсивностью 7 – 9 баллов по шкале MSK–64 [72]. Составлены рекомендации по применению различного анкерного крепежа, применяемого для крепления НФС.

В работе [62] рассматривается возможность повышения прочностных свойств и адгезионной прочности анкерного крепления НФС в каменные и бетонные материалы, подвергнутые деструктивным процессам в ходе длительной эксплуатации, путём пропитки полимер-содержащими композициями. Разработана методика введения пропитывающих композиций непосредственно в гнездо анкера, позволяющая увеличить скорость процесса устройства НФС и обеспечить надёжность их эксплуатации.

Эксплуатационные свойства системы.

Важными задачами обеспечения требуемых эксплуатационных свойств НФС являются:

- обеспечение требуемой прочности и деформативности несущей системы;
- обеспечение требуемых эксплуатационных свойств утеплителя;
- обеспечение требуемых эксплуатационных свойств облицовки;
- обеспечение коррозионной стойкости несущей подконструкции НФС;
- обеспечение пожарной безопасности НФС.

Прочность и деформативность несущей системы.

Исследованиям в области повышения безопасности эксплуатации зданий посвящены работы [51, 99, 113–115]. В них рассматриваются вопросы работы конструкций зданий под различными эксплуатационными нагрузками и воздействиями, в том числе и при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера.

НФС часто применяются в районах с сейсмической активностью. Здания в сейсмоопасных регионах воспринимают комплекс нагрузок, характер воздействия которых значительно отличается от воздействий, возникающих в зданиях, возводимых в обычных районах. В работах [42, 54, 59, 60, 69, 87] рассматриваются вопросы прочности и деформативности НФС при действии сейсмических нагрузок. Авторы анализируют методику испытаний по оценке сейсмостойкости, применяемую в России. В ЦНИИСКе им. В. А. Кучеренко проводятся испытания различных конструктивных решений НФС на действие динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия при землетрясениях. По результатам испытаний даются рекомендации по применению системы или по внесению изменений в конструктивное решение.

В работе [66] авторами предложены уточненные и новые методы определения ветровых нагрузок на элементы НФС, приведены примеры применения разработанных методик для расчёта ветровых нагрузок на

фасады реальных зданий с целью учета влияния пульсационного давления ветра.

В Канаде по результатам лабораторных испытаний [166] исследовано влияние конфигурации фасада на распределение ветровых нагрузок на поверхности облицовки.

В НФС возможно проявление усталостных явлений в металлических частях несущей конструкции вследствие переменных ветровых нагрузок. Разрушение НФС, обусловленное этим явлением, теоретического обоснования пока не получило, но ряд известных фасадных фирм («Краспан», «Диат-2000») в настоящее время проводят эксперименты на вибростендах. Вследствие перепадов температур в подконструкции могут так же возникать усталостные явления. По результатам испытаний [36] изменение длины направляющей в результате температурных деформаций с запасом компенсируется за счет работы кронштейна в зоне упругих деформаций.

По данным, представленным в [130], сегодня при проведении прочностных расчетов НФС не учитывается совместная пространственная работа всех элементов несущей конструкции.

Эксплуатационные свойства утеплителя.

В работах [52, 58, 70, 74] рассматриваются вопросы надежности эксплуатации различных теплоизоляционных материалов, применяемых в НФС.

В работе [70] сообщается о необходимости разработки нормативных требований к утеплителю (прочности на растяжение и сжатие, сжимаемости, упругости, гибкости, деформативности).

Исходя из натуральных наблюдений [58], установлено недопустимость переувлажнения минераловатного утеплителя в течение длительного времени, так как это может привести к снижению его прочностных свойств.

В статье [22] описывается существующее положение на рынке НФС, в части отсутствия или недостаточности величины вентилируемого зазора для

вентиляции воздушной прослойки. В таких системах влага, попадающая в воздушный зазор из помещений в следствие влагопереноса через стену и слой теплоизоляции, практически не выходит в наружный воздух, скапливается в зазоре и увлажняет утеплитель. Увлажнение утеплителя в процессе эксплуатации при действии знакопеременных нагрузок влечет к снижению его долговечности и теплозащитных свойств.

В работе [74] приводятся результаты экспериментов эксплуатации НФС без ветрозащитных пленок, которые показали эмиссию волокна минераловатными плитами. Однако этот вопрос до конца не изучен, поскольку имеются как сторонники, так и противники установки (сохранения) ветрозащитных пленок.

Эксплуатационные свойства облицовки.

Важной проблемой в проектировании НФС является выбор облицовочного материала. От него напрямую зависит архитектурный облик здания, срок службы и ремонтпригодность фасада.

В докладе [20] говорится о наиболее значимых проблемах облицовочных материалов, применяемых в НФС, и о научных исследованиях в этой области. Облицовочные материалы должны обладать малым коэффициентом капиллярного всасывания и высокой морозостойкостью. Так же в докладе отмечается, что увлажнение облицовочных материалов не должно приводить к образованию грибковых образований на них или изменению их окраски.

Авторы работы [154] исследуют экологичность применения гранитных облицовочных плит с точки зрения поражения их грибами, бактериями и лишайниками. Описывается опыт проектирования вентилируемых фасадных систем в Испании, приводятся рекомендации по борьбе с распространением биологических организмов в них.

Коррозионная стойкость НФС.

Вопросам исследования коррозионной стойкости НФС посвящены работы [24, 53, 64, 91].

По данным исследований, представленных в [24], проанализированы результаты, которые, совместно с мониторингом уже смонтированных фасадов, дают возможность разработать методику прогнозирования коррозионной стойкости систем НФС.

В работе [53], предложена методика испытаний элементов несущей конструкции НФС и выполнены экспериментальные исследования коррозионной стойкости для ряда систем, определена скорость коррозии металлических сплавов, применяемых для изготовления элементов НФС в зависимости от условий эксплуатации, разработаны рекомендации по их применению.

По результатам исследований, представленных в работе [91] проанализирована скорость коррозии металлических элементов подконструкции в контакте с минеральной ватой. Минеральная (каменная) вата имеет определенную кислотность, что обуславливает ее агрессивные свойства по отношению к металлам.

Согласно данным, представленным в [64], известно, что для увеличения эксплуатационного срока службы анкеров толщина защитного цинкового покрытия должна быть более 35 – 40 мкм.

Пожарная безопасность НФС.

Вопросам исследования пожарной безопасности НФС посвящены работы [25, 80, 104 – 106, 134, 146, 150, 155, 156, 161 – 164, 168, 172, 173, 176, 171].

В [105] и в приложении к [106] установлены общие требования к конструкциям НФС. Так же установлены требования пожарной безопасности к системам наружного утепления фасадов, в том числе и к НФС [104]. На основе натуральных огневых испытаний ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко и ВНИИПО МЧС России разработан ГОСТ [39], где установлены классы пожарной опасности наружных стен при наличии внешней изоляции, отделки толщиной более 0,5 мм, оклейки и облицовки.

Испытания по пожарной безопасности [155, 156], проведенные в Европе, выявили, что наиболее важными характеристиками, влияющими на распространение огня на фасаде здания при пожаре, являются решения оконных и дверных обрамлений. Требуемые характеристики материала облицовки НФС и решения обрамлений оконных и дверных проёмов даются в [146, 176].

В статье [25] говорится о широком обсуждении необходимости установки ветрозащитной пленки в конструкции НФС. Органы пожарного надзора обусловили применение ветрозащитных пленок установкой противопожарных металлических рассечек, которые существенно усложняют монтаж и удорожают фасад. Но по данным [80] выяснилось то, что указанные рассечки не смогли остановить распространение огня по фасаду при возгорании пленки.

В работах [76, 86] рассматриваются **вопросы улучшения технологии монтажа.**

Автором статьи [76] исследуются вопросы качества монтажа НФС как при наличии отклонений стен от вертикали, так и при некачественной кладке стен

В иностранных источниках [155, 156, 168] сообщается, что НФС имеют лучшие **звукоизоляционные характеристики** в сравнении с аналогичными конструкциями без вентилируемого зазора.

Выводы по обзору:

1. Обеспечение требуемых эксплуатационных свойств НФС в значительной степени зависит от надежности крепления системы к строительному основанию. В России, к сожалению, нет чёткого регламента, который бы ограничивал крепление НФС к строительному основанию с низкими прочностными показателями. Именно поэтому приходится разрабатывать новые конструктивные решения по креплению НФС к различным основаниям (применение химических анкеров, сквозных шпилек

или учащение шага кронштейнов). Всё это ведёт к удорожанию системы в целом и появлению нежелательных проблем, связанных со снижением теплотехнической однородности конструкции (появление так называемых «мостиков холода»).

2. Сегодня в России существует потребность расширения области применения НФС (в высотном строительстве, в различных ветровых и в условиях динамических воздействий). Эксплуатационная надежность несущей конструкции НФС зависит от обеспечения требуемой прочности и деформативности конструктивным решением. Снижение материалоемкости НФС не должно влиять на эксплуатационную надежность конструктивного решения.

3. Утепление фасада является одной из основных задач устройства НФС. К сожалению, в нашей стране нет чётких требований по использованию того или иного материала утеплителя. Так же пока не существует надлежащих регламентов по необходимости применения ветрозащитных плёнок. Всё это ведёт к применению некачественных материалов на рынке НФС.

4. Выбор того или иного вида облицовки при устройстве НФС чаще всего зависит от архитектурного замысла проекта и от стоимости 1м^2 поверхности фасада. Но к облицовке также должен предъявляться и ряд требований, связанный с её сроком службы, эксплуатационным качеством, ремонтпригодности и пожарной безопасности.

5. Важной проблемой проектирования НФС является коррозионная стойкость системы, которая зачастую снижается при использовании разнообразных материалов в одном крепёжном узле подконструкции (оцинкованная сталь, алюминиевые сплавы и коррозионностойкая сталь), а так же, взаимодействие минеральной ваты, имеющей собственную кислотность, с металлическим каркасом подконструкции. Подобное сочетание различных материалов в одной системе зачастую делается для снижения общей стоимости НФС в ущерб её эксплуатационным показателям

и сроку службы. При оптимизации существующих конструктивных решений НФС недопустимо пренебрегать таким параметром системы как её срок службы. Для этого необходимо грамотное сочетание материалов, применяемых в системе.

6. Соблюдение требований пожарной безопасности в конструктивном решении НФС является неотъемлемой частью при проектировании и монтаже системы.

7. Важной проблемой при устройстве НФС является технологичность монтажа. Проработка критериев простоты монтажа снижает общие затраты на устройство НФС и уменьшает сроки сдачи объекта в эксплуатацию. Снижение трудоёмкости не должно быть связано со снижением качества монтажа.

При этом надо отметить, что важной задачей при проектировании системы является возможность регулировки необходимого выноса облицовки в зависимости от неровностей фасада.

1.3. Экспериментально-теоретические исследования теплотехнических свойств навесных фасадных систем

Главными особенностями НФС с точки зрения обеспечения нормируемых теплотехнических свойств являются:

- наличие вентилируемого зазора;
- неоднородность системы утепления.

Исследованию теплофизических свойств вентилируемых воздушных прослоек и их влиянию на температурно-влажностный режим ограждающих конструкций посвящены работы [13, 21, 26, 30, 33, 34, 52, 57, 61, 63, 68, 71, 75, 81, 82 – 85, 93, 95 – 97, 98, 111, 112, 124 – 126, 128, 132, 133, 139, 140, 147, 152, 154 – 156, 158 – 160, 169, 170, 106].

Авторы [75, 132] в своих работах определяют оптимальную величину вентилируемого воздушного зазора.

В статье [75] приводится анализ выбора размеров вертикального вентилируемого канала навесных вентилируемых фасадов в условиях свободноконвективного течения, основанный на использовании результатов численных экспериментов на реальных вентилируемых конструкциях.

В работе [132] утверждается, что для того, чтобы минимизировать потери напора на расширение воздушного потока в вентилируемом зазоре, необходимо иметь НФС с вентилируемой щелью, расширяющейся снизу вверх.

В [57] рассмотрен метод решения трехмерной задачи совместного нестационарного теплообмена для ограждающих конструкций зданий. Приводится расчет тепловлажностного режима наружных стен с вентилируемым фасадом.

В статье [81] рассмотрен принцип замещения слоев, используемый при проектировании воздушных прослоек. Сообщается, что при температуре поверхности стены выше температуры окружающей среды, воздух, омывающий поверхность, нагревается и, становясь более легким, начинает подниматься. В статьях [97, 98] сообщается, что при прогнозировании влажностного режима таких конструкций важно иметь четкое представление о течении воздуха в вентилируемом канале и учитывать гидравлические параметры свободно-конвективного течения воздуха в зазоре.

Работы [68, 82 – 85, 95, 96, 170] посвящены нахождению оптимального гидравлически вентилируемого канала.

Исходя из зарубежного опыта [135, 151, 153], можно сделать вывод, что минимальная ширина вертикального и горизонтального шва между облицовочными плитами керамогранита при плите размером 600×600 мм является 5–6 мм. Но отдельные иностранные источники [43] рекомендуют еще большую минимально допустимую ширину швов — не менее 10 мм.

На семинаре [139] обсуждались вопросы теплофизики НФС. Сообщалось, что выявлено две причины, влияющие на скорость циркуляции воздуха в воздушной прослойке: тепловой импульс (температура воздуха в

вентилируемом зазоре меньше наружного) и разница давления. Проведён графический анализ распределения вихревых потоков на фасаде здания, которые зависят от конфигурации здания и его геометрических характеристик.

В работе [133] сообщается, что для улучшения циркуляции воздуха в воздушной прослойке, при устройстве фасада с водонепроницаемой облицовкой, необходимо устраивать приточные и вытяжные отверстия в нижней и верхней частях фасада.

В Германии, по данным [152, 154, 158], были проведены исследования обтекания воздушного зазора. Определена требуемая величина воздушного зазора в зависимости от проницаемости облицовки и габаритных размеров облицовочного материала.

Авторами источников [140, 155, 156] рекомендуется принимать минимальную величину вентилируемой воздушной прослойки от 2 см. Рекомендации составлены по результатам исследования фасадов с различными облицовочными материалами.

В статье [30] автором разработана методика и программа для компьютера, позволяющая производить расчет и определять влияние продольной фильтрации на теплозащитные свойства конструкции.

В работе [26] сообщается, что при устройстве НФС в регионе, характеризующемся косыми дождями с сильным ветром, необходимо проводить расчет влажностного режима воздушной прослойки.

В статье [65] отмечается, что наличие конвективных движений в вентилируемом воздушном зазоре способствует выносу влаги в атмосферу и поддержанию утеплителя в состоянии с малой влажностью.

На основании результатов натурных исследований [61] были сделаны выводы о большом расхождении результатов измерений и расчетных значений температур воздуха на выходе из прослоек или в различных сечениях по высоте прослоек, рассчитанных по общеизвестным методикам.

В СП [107] представлена таблица сопротивлений паропрооницанию различных листовых материалов, в том числе некоторых пленок и покрытий, но данные о паропрооницаемости ветрозащитных пленок, применяемых в навесных фасадных системах, в этой таблице не приводятся. С помощью экспериментов описанных в работе [93] получено сопротивление воздухопроницанию ветрозащитных мембран «Тайвек». Исходя из таблицы СП [107], видно, что по значению сопротивления воздухопроницанию «Тайвек» сравним с кладкой из легкогобетонных блоков. Исходя из этого, в статье [52] делаются выводы о том, что с таким сопротивлением воздухопроницанию он не может обеспечить надежную защиту от поперечной фильтрации. Говорится, что если основанием вентилируемого фасада служат воздухопроницаемые материалы такие, как кирпичная кладка, пенобетонные блоки и др., то стены изнутри помещения необходимо обязательно оштукатуривать цементно-песчаным раствором.

В статье [27] говорится, что комплексное нормирование оболочки здания заключается в определении теплотехнических характеристик не отдельной ограждающей конструкции, а всего здания в целом (нахождении усредненного коэффициента теплопередачи всех ограждающих конструкций здания в комплексе с помощью моделирования оболочки здания).

Авторы [89] сообщают, что в настоящее время существует несколько классификаций НФС, разработанных в разных странах. В Литве разработана классификация систем по типу вентиляции прослоек [88]. Предложены способы предотвращения фильтрации воздуха в теплоизоляционном слое. Специалистами Канады и США используется классификация фасадов, проектируемых с вентилируемыми воздушными прослойками и защитными экранами. [167]. Во всех предложенных классификациях не охвачены системы, используемые в странах ближнего зарубежья, что делает их использование недостаточно эффективным. Стендовые и натурные исследования, проведенные авторами [90] и анализ работ зарубежных авторов [12, 31, 44, 94,] доказывают это.

Учет теплопроводных включений при определении сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции является неотъемлемой частью расчета при оценке реальных теплотехнических показателей.

Сопротивление теплопередаче стены – это нормируемый показатель эффективности утепления. Он характеризует теплозащиту отдельных ограждающих конструкций зданий.

В нормах приводятся оценки эффективности утепления конструкции с учетом ее неоднородности. Однако, и в России, и в Европейских странах, существуют проблемы, связанные с нечеткостью изложения методик, описанные в [23].

Наиболее развита и представлена документально (из европейских стран) система нормирования в Германии. Минимально допустимые значения сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций приводятся в табл.3 второй части DIN 4108 [144]. Требования к конструкциям с тепловыми мостиками «Сопротивление теплопередаче рассчитывается в соответствии с DIN EN ISO 10211-1 и EN ISO 10211-2...» сформулированы в п. 5.2.4 данного документа [141]. Можно сделать вывод, что данные требования относятся к приведенному сопротивлению теплопередаче. В стандартах [142, 143] изложены методы расчета влияния теплопроводных включений на потери тепловой энергии через теплотехнические неоднородности конструкции. Данные методы соответствуют методу расчета приведенного сопротивления теплопередаче, изложенному в приложении Е [107]. Несмотря на всё это, в Германии не существует понятия «приведенное сопротивление теплопередаче».

Сравнивая нормы, существующие в Германии и России, можно сделать вывод, что нормируемые в Германии минимальные значения сопротивлений теплопередаче существенно ниже, чем соответствующие действующие минимальные значения в России.

Во всех странах Европы существуют требования к основной теплозащитной характеристике ограждающих конструкций – сопротивлению

теплопередаче. Существование стандартов [142, 143] подтверждает возможность учета тепловых мостиков, или мостиков холода, или правильнее, теплотехнических неоднородностей. Анализ действительного учета влияния теплотехнических неоднородностей на теплозащитные свойства ограждающих конструкций при проектировании зданий в различных странах представлен ниже.

Россия. По данным анализа, представленного в [28] существует ряд проблем, мешающих полноценному учету теплопроводных включений. Поэтому значения приведенного сопротивления теплопередаче зачастую рассчитываются некорректно при проектировании зданий и подготовке раздела «Энергоэффективность». Основные причины проанализированы и представлены ниже.

Первой причиной является отсутствие в предыдущих нормативных документах четкой формулировки понятия приведенного сопротивления теплопередаче.

Второй причиной является нечеткое изложение методик расчета приведенного сопротивления теплопередаче в действовавшем СП [106] и других нормативных документах.

Третьей причиной является некорректное изложение табл. 6 в [106], содержащей значения минимально допустимых значений коэффициента теплотехнической однородности « r » для конструкций индустриального изготовления. Данная таблица содержит необоснованно завышенные значения « r », зачастую, недостижимые на практике. Приведенные в этой таблице значения воспринимаются в качестве ориентировочных значений для соответствующих или похожих конструкций, вместо своего прямого значения, ограничения конструкций по однородности. Как следствие, принимаются слишком высокие значения « r », что влечет к проектированию ограждающих конструкций с недостаточными теплозащитными свойствами.

При введении в действие СП [107] с четкой методикой расчета приведенного сопротивления теплопередаче ситуация должна нормализоваться.

Изучению теплофизических свойств неоднородных ограждающих конструкций зданий были посвящены исследования российских ученых: Н.И. Ватина, В. Г. Гагарина, В.В. Козлова, В.Д. Мачинского, К.Ф. Фокина, В.Н. Богословского, Ю.А. Табунщикова, Н.Н. Щербака, В.И. Лукьянова, Н.П. Умняковой, В.А. Езерского, М.В. Петроченко, А.Р. Туснина, В.М. Тусниной и др. [12, 14 – 19, 23, 25, 27, 30 – 32, 35, 38, 44, 45, 77, 89, 90, 94, 107, 119 – 127, 134, 136, 137, 139 – 141, 150, 155 – 157, 161 – 165, 171 – 175]. В этих работах рассматриваются вопросы теплопроводности через наружные стены с НФС, как через сложные, неоднородные ограждения.

При выполнении теплотехнического расчёта НФС с облицовкой керамогранитными плитами можно пренебречь сопротивлением теплопередачи отделочного материала [161]. Вопросы влияния воздушной прослойки и мостиков холода на теплотехнические свойства НФС описываются в [161 – 164]. В них сообщается о снижении коэффициента теплопередачи приблизительно на $8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (за счёт воздушной прослойки) [162, 163]. В [161] (разделе 4.2.2) и [164] (разделе 2.5) говорится о необходимости учёта «мостиков холода» в теплотехническом расчёте за счёт введения коэффициента теплотехнической неоднородности.

В источниках [150, 155] анализируются вопросы теплозащиты зданий в летний период времени. Рассчитана необходимая величина воздушного зазора, которая должна составлять от 2, 5 до 5 см.

В [139] сообщается о существовании норм S/A [161], которые не учитывают всех особенностей теплотехнической неоднородности НФС. Авторы исследований [134, 140, 155, 156] пытались обобщить учёт всех особенностей вентилируемого фасада при расчёте его теплотехнических характеристик. Проектом ЕМРА в начале 90-х годов было проведено моделирование НФС для расчёта дополнительных. Результаты расчётов

сравнивались с данными, приведенными в [172, 173]. Исследованиями доказано, что дополнительные теплотери конструкции НФС увеличивают коэффициент теплоотдачи до 60% в зависимости от особенностей конструкции НФС. Результаты работы [134] подтверждают исследования ЕМРА.

Авторами [32] разработана методика расчета коэффициента теплотехнической однородности фасада с учетом влияния конструктивных элементов НФС. Подчеркивается невозможность учета всех факторов, влияющих на снижение коэффициента, что вызывает необходимость создавать ряд упрощений при замене реальной конструкции ее моделью. Приводятся результаты расчетов коэффициента теплотехнической однородности различных систем, показывающие, что количество кронштейнов, как и их площадь поперечного сечения значительно влияют на значение коэффициента теплотехнической однородности ограждения. Так, при увеличении их количества от 1 до 4 штук этот коэффициент снижается с 0,93 до 0,76 – для стальных и с 0,83 до 0,56 – для алюминиевых кронштейнов.

В статье [45] рассматривается проблема определения сопротивления теплопередаче стены с неоднородными участками численными методами. Авторы видят решение проблемы в наличии соответствующих программ, а также навыков работы у проектировщиков со сложным программным продуктом. Подчеркивается недостаточная изученность вопроса влияния крепежных элементов на коэффициент теплотехнической однородности наружных стен. Приводится анализ зависимости коэффициента теплотехнической однородности от различных факторов, в том числе от свойств материалов и геометрических параметров крепежных элементов. Авторами производятся расчеты значения величины сопротивления теплопередаче стены с учетом и без учета теплопроводных включений. Для упрощения определения коэффициента теплотехнической однородности на основании результатов расчетов разработана справочная таблица [38].

В методических указаниях [19] автором приводится зависимость изменения коэффициента теплотехнической однородности от количества кронштейнов, приходящихся на единицу площади фасада (см. рис. 1.7.)

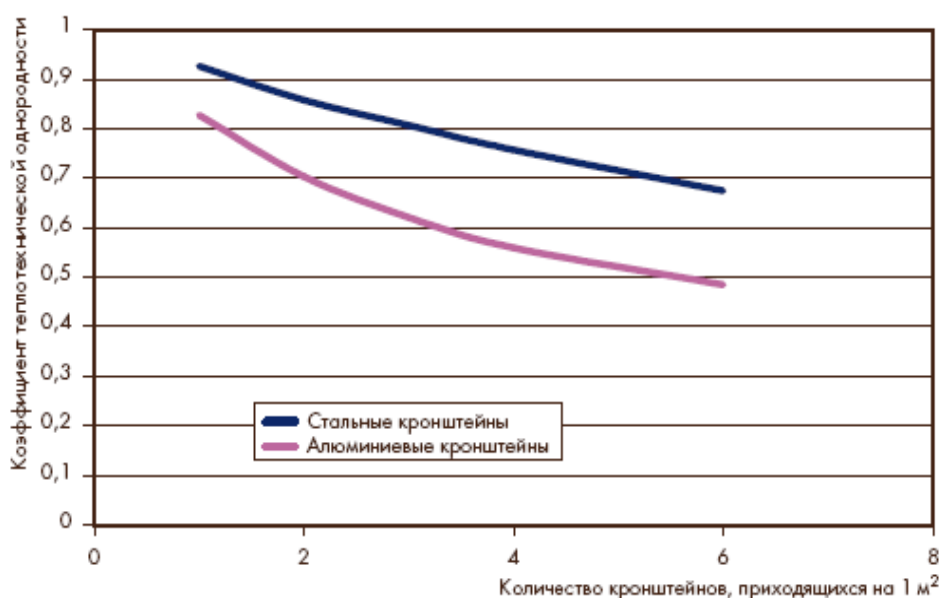


Рисунок 1.7 – График зависимости коэффициента теплотехнической однородности от количества кронштейнов, приходящихся на 1 м² фасада (при площади поперечного сечения кронштейна 2 см²)

В статьях [119, 120] исследован вопрос определения расчетного сопротивления теплопередаче конструкции. Авторы приходят к выводу, что решать проблему уменьшения затрат на отопление зданий необходимо комплексным методом, одна из составляющих которого – реальный и достоверный расчет сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с учетом всех имеющихся в ней неоднородностей, воздушных прослоек, особенностей геометрии и т. д.

Авторы статьи [121, 122] разработали программный комплекс «ТЕРЛ» предназначенный для теплотехнического расчета строительных конструкций. В нем реализовано численное решение дифференциального уравнения трехмерной стационарной теплопроводности [123]. Дискретизация данного уравнения проведена методом контрольных объемов [79].

В нормативной базе Европейских странах также существуют препятствия для правильного учета влияния теплопроводных включений при

проектировании ограждающих конструкций. Анализ состояния данного вопроса изложен в статье [138].

Дания. Влияние тепловых мостиков учитывается в нормах как в новом строительстве, так и при реконструкции зданий. В обоих случаях используется упрощенный подход.

Несложные конструктивные решения тепловых мостиков, зачастую, оцениваются ручным вычислением. Для более точного учета тепловых мостиков должен использоваться подробный численный анализ, но значения для всех типовых конструктивных решений сведены в таблицы, приведенные в стандартах, атласах и брошюрах. Составление таких таблиц выполняется производителями строительных материалов.

Существует ряд требований, предъявляемых к значению U – коэффициента теплопередачи по глади конструкции и, так же, имеются некоторые требования максимальных значений ϕ – удельных потерь теплоты через линейную неоднородность для трех видов узлов конструкций, в частности $0,03 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ для оконных откосов. Информации о требованиях к другим тепловым мостикам в датских нормах нет.

Для проектируемых зданий необходимо выполнение требований к потреблению энергии и определены требования к минимальным значениям ϕ для тех же тепловых мостиков: значение ϕ может быть не более $0,06 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ для оконных откосов.

Норвегия. Нормы разделяют тепловые мостики, влияющие незначительно, и мостики, необходимые для учета (существенные, по сравнению со значениями U , например края бетонного пола, идущего частично через изолированную стену). Последние тепловые мостики должны быть оценены отдельно.

Учет обоих видов тепловых мостиков выполняется посредством расчетов, которые обязательны и для новых, и для реконструируемых зданий.

Финляндия. Учет влияния тепловых мостиков в нормах выполняется только для проектируемых зданий. Методика расчета является упрощенной, применимой для многослойных конструкций, состоящих из материалов с различной теплопроводностью, расположенных параллельно тепловому потоку. При отношении большей теплопроводности к меньшей двух смежных материалов такого слоя менее 5 в качестве теплопроводности всего слоя используется усредненная по площади сечения теплопроводность материалов слоя. При отношении теплопроводностей материалов более, чем 5, элементы конструкции с большей теплопроводностью рассматриваются как тепловые мостики, влияние которых рассчитывается соответствующими методами или измерениями, приведенными в нормах. Добавка от влияния линейных и точечных теплотехнических неоднородностей рассчитывается по формуле и добавляется к значению U при расчетах трансмиссионных теплопотерь.

В нормах не содержится явных ограничений на влияние тепловых мостиков. Властями не контролируется соблюдение требований при проектировании конструкций (только в рекомендательной форме).

Бельгия. В настоящее время в Бельгии существует пять различных методик учета мостиков холода в новых зданиях:

1. Определение величины теплопотерь с помощью математического 3D/2D-моделирования.

2. Прибавка величины ΔU к общей величине теплопотерь. Значения ϕ и x могут быть приняты на основании моделирования или из таблиц, которые на данный момент разрабатываются и дополняются.

3. При выполнении всех требований, предъявляемых нормами к элементам конструкции, допускается добавлять к величине теплопотерь по глади стены установленную величину, учитывающую теплотехнические неоднородности. В настоящее время находятся в разработке максимальные значения ϕ и прочие детали, относящиеся к данному подходу. Данная

величина должна быть в пределах 5% погрешности относительно современных требований, предъявляемых к тепловой защите конструкций.

4. При наличии в конструкции нетиповых включений, которые не учитываются нормативными требованиями, требуется провести 2D- или 3D-расчет величины ϕ и χ для этих элементов.

5. В случае, если неоднородности не учитываются вообще, то при расчете делают некоторую добавку к общим трансмиссионным потерям здания в виде коэффициента.

Для всех проектируемых зданий в Бельгии требуется сертификат энергопотребления и разрешения на строительство.

Нидерланды. Используются как упрощенный подход, так и расчет тепловых мостиков, но их влияние учитывается только в проектируемых зданиях.

При упрощенном методе применяется добавка к общим теплопотерям в виде $\Delta U = 0,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$

Существующие методы расчета влияния тепловых мостиков позволяют учитывать влияние только линейных теплотехнических неоднородностей, которое добавляется к теплопотерям по глади конструкций.

Властями ведется официальное отслеживание, но учет деталей никак не проверяется на практике.

Германия. Учет тепловых мостиков осуществляется либо при помощи заданной величины

$\Delta U_{WB} = 0,05 \div 0,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$ для конструкций различного назначения, либо расчетом по приложению 2 к DIN 4108 [145]. В методике данного расчета содержатся примеры узлов ограждающих конструкций с максимальными значениями ϕ . Тепловые мостики учитываются при расчетах трансмиссионных теплопотерь через оболочку эталонного здания.

Потери тепла через теплотехнические неоднородности учитываются как в проектируемых, так и в реконструируемых зданиях, но выполнение требований обычно никак не отслеживается.

Франция. Существующие нормы предусматривают учет неоднородностей только для проектируемых зданий. Методику точного расчета или атлас теплотехнических неоднородностей Th-U используют только для определения влияния линейных теплотехнических неоднородностей. Принципы расчета основаны на европейских стандартах [142, 143] и др.

По имеющимся нормам величина теплового потока через линейные неоднородности не должна превышать: 0,65 Вт/(м·К) – для индивидуальных жилых зданий; 1 Вт/(м·К) – для многоквартирных и 1,2 Вт/(м·К) – для иных зданий. Выполнение этих требований никак не проверяется компетентными органами.

Польша. Нормами предусматривается учет тепловых мостиков как в проектируемых, так и в реконструируемых зданиях упрощенным методом или же точным расчетом. Методика упрощенного расчета заключается в добавке поправки к величине теплопередачи по глади: наружные стены с колоннами или дверными проемами $\Delta U = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; наружные стены с дверными или оконными проемами и балконными плитами, проходящими через стену $\Delta U = 0,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$.

Несмотря на то, что проект здания проходит предварительную проверку перед выдачей разрешения на строительство, в области учета тепловых мостиков она является чисто формальной.

Метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче, представленный в актуализированной редакции СНиП, позволяет осуществлять сопоставление нормируемых показателей теплозащиты ограждающих конструкций с используемыми в европейских странах. Сравнение минимальных значений сопротивлений теплопередаче в России и Германии показывает, что требования к указанной величине в России выше

Анализ применяемых в странах Европы методик для учета теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций [12, 23, 94, 165, 171] подтверждает, что в большинстве стран Северной и Центральной Европы учет теплотехнических неоднородностей производится, но проверка правильности таких расчетов на практике не осуществляется.

В работе [77] представлены результаты теплотехнических расчетов однослойных и многослойных конструкций. Показаны температурные поля в конструкции, на основании которых определены зоны излишних теплопотерь – теплопроводные включения в виде шпонок, жесткие ребра – для многослойных ограждающих конструкций.

В статье [141] описывается применяемая в Австралии методика определения теплотехнических характеристик НФС вручную и с помощью компьютерного моделирования.

В работах [136, 137] приведены результаты исследования теплозащитных свойств вентилируемых фасадных систем. Произведена оценка факторов, влияющих на энергоэффективность фасадов.

На основании вышесказанного, можно заключить, что важным фактором, влияющим на теплотехнические свойства НФС, является наличие теплопроводных включений в виде элементов крепления подконструкции к стене, основные из которых - кронштейны, значительно снижающие коэффициент теплотехнической однородности конструкции.

1.4. Цель и задачи исследования

Целью настоящих исследований является повышение тепловой эффективности фасадной системы за счет применения гибких связей подобилицовочной конструкции.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Анализ существующих навесных фасадных систем для выявления конструктивных особенностей, влияющих на теплотехническую однородность системы утепления наружных стен зданий, материалоемкость несущей конструкции фасада и область применения в зависимости от высотности здания и района строительства.

2. Исследование влияния неоднородных включений многослойной фасадной системы на теплотехнические свойства наружных стен зданий на основе численного расчета трехмерного температурного поля.

3. Разработка конструкции на гибких связях с узловым креплением облицовки на основе анализа результатов теоретических и численных исследований несущей способности и эксплуатационной надежности фасадной системы с учетом влияния особенностей района строительства и этажности здания.

4. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния и несущей способности разработанной фасадной системы при действии динамических нагрузок.

5. Исследование прочностных и деформационных характеристик конструкции с гибкими связями.

6. Изучение напряженно-деформированного состояния разработанной конструкции с гибкими связями при действии динамических нагрузок на основе конечно-элементного моделирования.

Глава 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ НАВЕСНОЙ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ И УЗЛОВЫМ КРЕПЛЕНИЕМ ОБЛИЦОВКИ

2.1. Конструирование навесной фасадной системы с гибкими связями и узловым креплением облицовки

2.1.1. Выбор геометрических параметров системы на основе анализа прочностных и теплотехнических свойств типовых конструктивных решений

В связи с тем, что сегодня широкое применение нашли НФС с облицовкой керамогранитными плитами, целью настоящей работы является разработка НФС с повышенной теплотехнической однородностью под данный вид облицовки.

Подконструкции существующих типовых НФС состоят из кронштейнов с удлинителями, направляющих и элементов крепления облицовки (кляммеров). На рис. 2.1 изображена одна из наиболее распространенных таких систем.

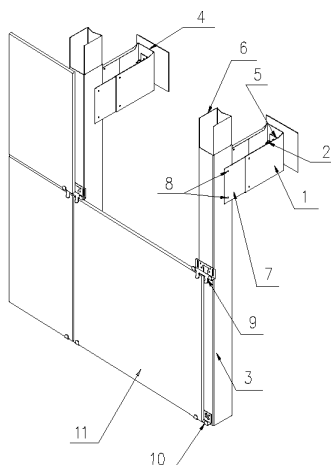


Рисунок 2.1. – Типовая конструкция навесного вентилируемого фасада

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 – кронштейн; | 7 – вставка; |
| 2 – анкерный дюбель; | 8 – заклепка; |
| 3 – направляющая; | 9 – кляммер рядовой; |
| 4 – паранитовая прокладка; | 10 – кляммер концевой; |
| 5 – шайба; | 11 – плита керамогранита; |
| 6 – скоба; | |

При разработке конструктивного решения были рассмотрены альбомы технических решений российских и зарубежных НФС [1 – 4, 8 – 11, 118, 131]. На основании сравнительного анализа конструктивных решений можно сделать вывод, что в настоящее время применяются системы, имеющие в своей конструкции L-образные и П-образные кронштейны. Опыт проектирования и эксплуатации НФС с использованием таких кронштейнов, а также исследования в этой области [22] показали, что НФС являются сложными, с точки зрения теплофизики, конструкциями, так как в них используются материалы, имеющие различные коэффициенты теплопроводности (утеплитель, металлические кронштейны и анкера).

Проблемы возникают в связи с тем, что металлические кронштейны, прорезающие теплоизоляционный слой имеют большую площадь соприкосновения с утепляемым фасадом и являются теплопроводными включениями, тем самым уменьшая коэффициент теплотехнической однородности конструкции и ухудшая теплоэффективность всего здания. Расчётный коэффициент теплотехнической однородности таких фасадов практически не превышает 0,7. При этом не учитываются теплотери через элементы крепления оконных откосов и примыканий, что ещё больше снижает коэффициент теплотехнической однородности конструкции утепления.

К примеру, для обеспечения требуемого сопротивления теплопередаче стен жилых зданий для климатических условий г. Москвы в таких системах требуется увеличение минераловатного утеплителя до 200 мм. Учитывая необходимый воздушный зазор $40 \div 60$ мм, вылет кронштейна должен составлять не менее 250 мм, что зачастую требует его усиления. При этом повышается металлоемкость конструкции и, соответственно, стоимость фасада. По данным исследований [22] в сегодняшней практике проектирования НФС при определении требуемой толщины теплоизоляции значение коэффициента теплотехнической однородности конструкции

безосновательно принимают равным $0,85 \div 0,90$, что существенно выше реального.

Существует ещё одна проблема, возникающая при креплении НФС к основанию из кирпичной кладки и, особенно из ячеистобетонных блоков. В месте расположения анкера в материале основания возможно локальное понижение температуры, которое в периоды резких похолоданий может быть очень значительным, когда температура опускается ниже нуля. В такие периоды температурно-влажностные деформации, возникающие в фасадных системах, снижают их прочность крепления. Существенное влагонакопление, а как следствие снижение прочности крепления может происходить в первый год эксплуатации конструкции. Данный эффект практически не исследован, однако существующие расчеты показывают, что чем ниже теплопроводность материала основания, тем сильнее может проявиться описанный эффект. С этой точки зрения наиболее опасным является основание из ячеистобетонной кладки.

Влияние кронштейнов на снижение теплотехнической однородности ограждающей конструкции заметно проявляется при утеплении тонких стен или при частом шаге узлов крепления подконструкции НФС к основанию (стене), когда количество теплопроводных включений увеличивается. Именно поэтому не всегда удаётся добиться того, чтобы расчётное значение сопротивления теплопередаче соответствовало требуемому, из-за чего могут возникнуть проблемы связанные с промерзанием стены в местах крепления кронштейнов и проблемы связанные с появлением грибковых поражений на внутренней поверхности стены.

На основании вышесказанного, можно заключить, что важным фактором, влияющим на теплотехнические свойства НФС, является наличие теплопроводных включений в виде элементов крепления, которыми являются кронштейны и анкеры, снижающие коэффициент теплотехнической однородности конструкции.

2.1.2. Разработка конструктивного решения системы с гибкими связями, обладающего повышенным сопротивлением теплопередаче

Важными отличительными особенностями разработанной НФС с гибкими связями (см. рис. 2.2 и 2.3), в сравнении с существующими типовыми (см. рис. 2.1), являются:

- узловое крепление облицовки;
- отсутствие направляющих в несущей конструкции;
- сокращение количества несущих кронштейнов.

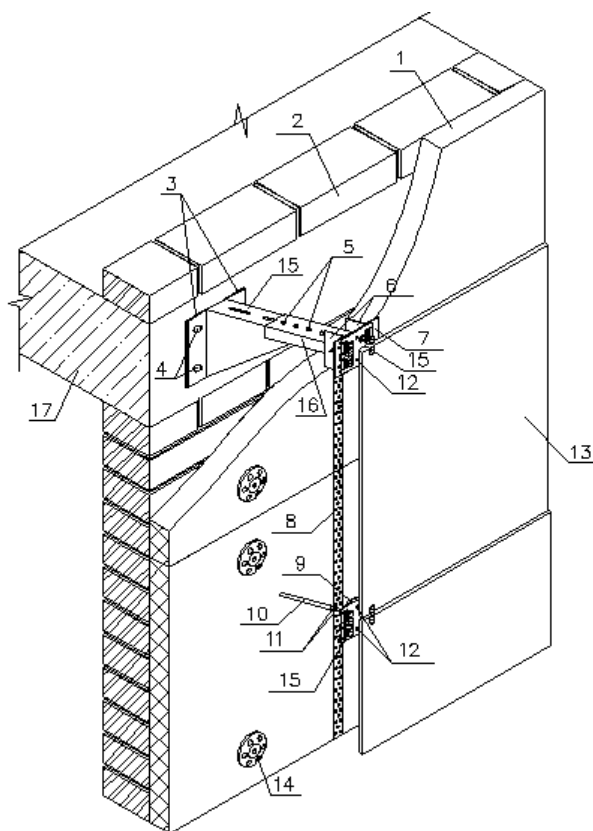


Рисунок 2.2 – Конструкция теплоэффективной НФС с гибкими связями для облицовки керамогранитом

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 – утеплитель; | 10 – анкерная резьбовая шпилька; |
| 2 – стена; | 11 – шайба с самоконтрящейся гайкой; |
| 3 – паранитовая прокладка; | 12 – заклепка; |
| 4 – анкерный дюбель; | 13 – плита керамогранита; |
| 5 – болт М8 с двумя шайбами и самоконтрящейся гайкой; | 14 – тарельчатый дюбель; |
| 6 – уголок крепления пластины; | 15 – несущий кронштейн; |
| 7 – пластина крепления кляммера; | 16 – удлинитель кронштейна; |
| 8 – перфолента; | 17 – перекрытие; |
| 9 – обратная часть резьбовой шпильки; | |

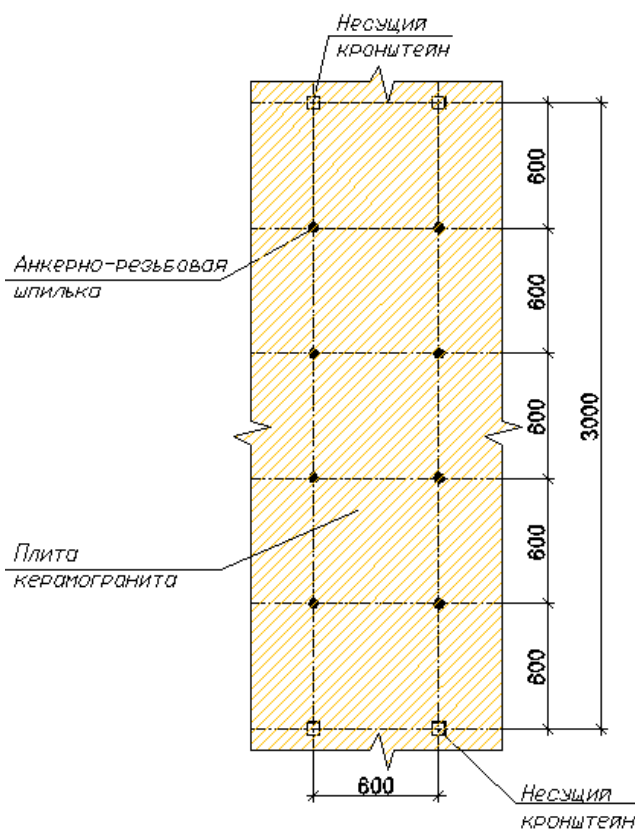


Рисунок 2.3 – Расположение на фасаде здания анкерных резьбовых шпилек и несущих кронштейнов НФС с гибкими связями (при размере керамогранитных плит 600×600мм)

С целью повышения теплотехнической однородности НФС, было принято решение минимизировать количество кронштейнов на фасаде с помощью использования анкерных резьбовых шпилек [50, 146, 147]. Шпилька имеет круглое поперечное сечение, оптимальное для восприятия растягивающей и сжимающей нагрузок. Расположение шпилек на фасаде осуществляется в узловых точках (см. рис. 2.3).

В системе также используются несущие кронштейны (см. рис. 2.2). Форма несущего кронштейна позволяет оптимально воспринимать возникающие в нём внутренние усилия. Кронштейн в таком исполнении имеет переменное по длине поперечное сечение, повторяющее эпюру изгибающих моментов. Несущие кронштейны устанавливаются в торцы плит перекрытий. По длине шаг несущих кронштейнов определяется размером облицовочных плит с учетом результатов расчета. Расположение несущих кронштейнов на фасаде здания изображено на рис. 2.3.

Система в своем конструктивном решении предусматривает возможность регулировки выноса облицовки. Для этого в ней используются удлинители несущих кронштейнов (при значительных отклонениях и неровностях плоскости фасада), которые представляют собой изделие, имеющее П-образное поперечное сечение (см. рис. 2.2). Так же возможно использование системы без удлинителей, тогда регулировка выноса осуществляется за счет уголков крепления пластины (при монтаже системы на ровные стены). Вынос анкерных резьбовых шпилек производится их подрезкой на строительном объекте.

Вертикальные направляющие в системе отсутствуют, так как здесь используется узловое крепление облицовки. Совместную работу кронштейнов и анкерных резьбовых шпилек обеспечивают вертикальные перфоленты. Вертикальные перфоленты устанавливаются между несущими кронштейнами и анкерными резьбовыми шпильками (см. рис. 2.2), тем самым, создают жесткий контур из шпилек и кронштейнов. Они перераспределяют нагрузки с анкерных резьбовых шпилек на несущие кронштейны, имеющие высокую несущую способность. Анкерные резьбовые шпильки имеют высокую гибкость и совместно с вертикальными перфолентами работают только на сжатие и растяжение. Конструктивное решение предусматривает наличие горизонтальных перфолент при применении системы в районах с сейсмической активностью. Ее назначение – обеспечение пространственной совместной работы шпилек при сейсмических воздействиях. Таким образом, важную роль в обеспечении эксплуатационной надежности системы при действии статических и динамических (сейсмических) нагрузок выполняют вертикальные и горизонтальные перфоленты. Крепление перфоленты к анкерным резьбовым шпилькам и несущим кронштейнам осуществляется через овальные отверстия с целью исключения температурных деформаций.

Основной задачей при проектировании конструкции системы являлась возможность крепления кляммера к анкерной резьбовой шпильке. Таким

образом, появилась идея использования пластины с гайкой – обратной части резьбовой шпильки (см. рис. 2.2). Гайка крепится в центре круглой пластины на сварке в заводских условиях. Пластина накручивается на резьбовую шпильку и позволяет выполнить крепление кляммера к резьбовой шпильке заклёпками. Крепление кляммера к несущему кронштейну осуществляется через уголки и пластину.

В системе предусмотрен вентилируемый зазор 50мм между утеплителем и облицовкой.

Большинство крепёжных элементов, применяемых в предлагаемой конструкции, являются стандартными (болты, гайки, анкерные резьбовые шпильки, кляммеры), что предполагает снизить стоимость системы в целом и делает возможным её массовое внедрение.

Возможно изготовление основных элементов системы в двух вариантах: либо из оцинкованной стали, либо из коррозионностойкой стали.

Монтаж системы состоит из следующих этапов:

- разметка фасада;
- установка кронштейнов и анкерных резьбовых шпилек;
- монтаж теплоизоляции;
- монтаж перфоленты;
- монтаж облицовочных керамогранитных плит;
- оформление оконных и дверных проемов (установка примыканий);
- оформление узлов примыканий (цоколь, парапет, карниз).

Разметка фасада – это предварительный комплекс работ, включающий в себя проверку фасадов объекта на геометрию, в результате чего выявляются максимальные отклонения, и определяется возможность их компенсации штатными удлинителями кронштейнов, а так же подбор оптимальных длин резьбовых шпилек для заказа.

После этого определяются и размечаются места установки кронштейнов и анкерных резьбовых шпилек на фасадах здания.

Крепление несущих кронштейнов осуществляется на 4 анкерных дюбеля. (рис. 2.4). Крепление удлинителей к кронштейну болтовое (2-мя болтами М8×25). Кронштейн после соединения с удлинителем считается жёсткой конструкцией, которую можно рассматривать как единое целое. Анкерные резьбовые шпильки (рис. 2.5) устанавливаются с последующей подрезкой (при необходимости).

Длина сборочной единицы "кронштейн – удлинитель" зависит от толщины теплоизоляционного слоя. Кроме того, возможность регулировки длины этой сборочной единицы позволяет до определённой степени исправлять неровности стен. Применение нескольких типоразмеров кронштейнов и удлинителей обеспечивает возможность установки облицовочных плит на требуемый вынос. На фасаде кронштейны и анкерные резьбовые шпильки устанавливаются в соответствии с проектной разметкой. Тип анкерного крепления определяется проектной документацией по результатам испытаний на вырывающее усилие.

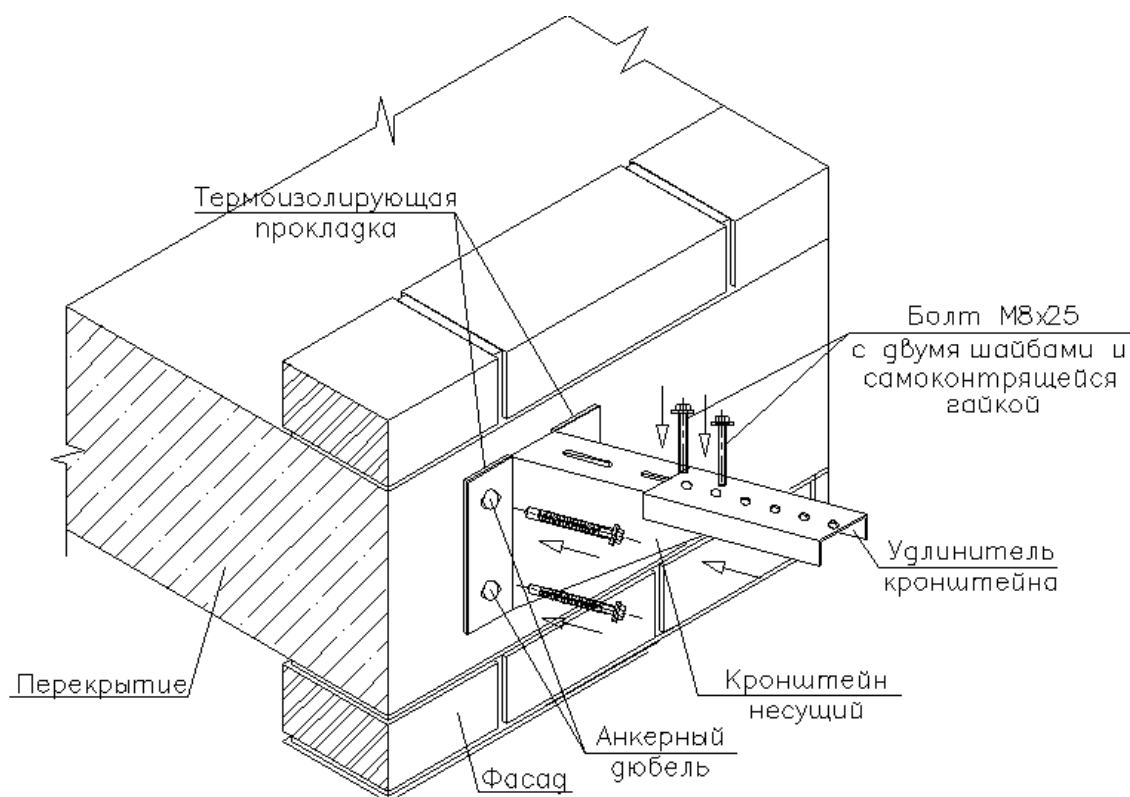


Рисунок 2.4 – Установка несущего кронштейна с удлинителем

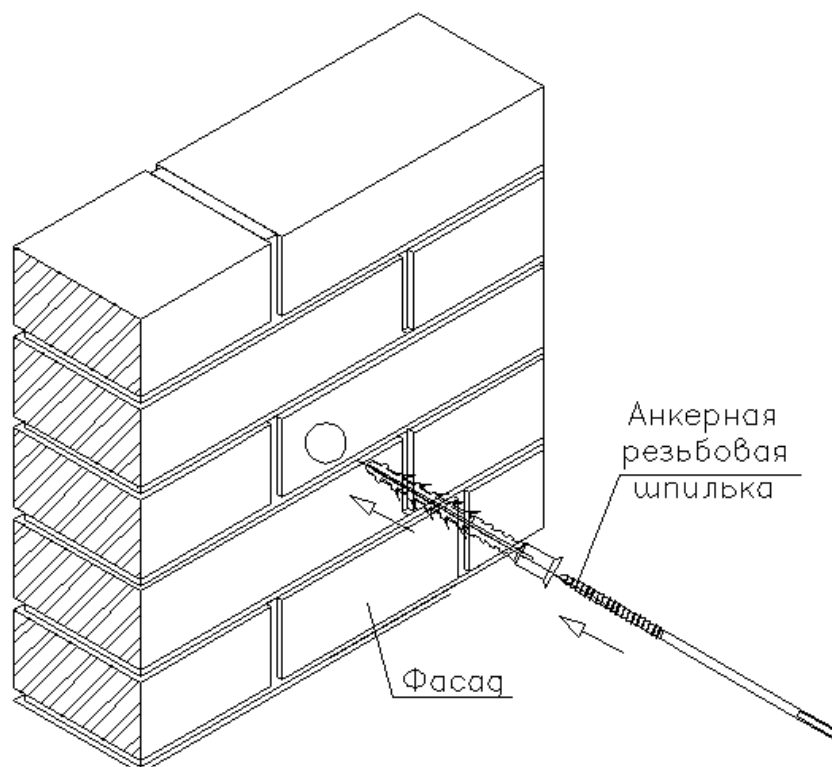


Рисунок 2.5 – Установка анкерной резьбовой шпильки

Тип и толщина теплоизоляции определяются теплотехническими расчетами и указываются в проекте. При применении несколько слоев теплоизоляции во избежание потерь тепла необходимо устанавливать швы внахлестку.

Плиты утеплителя фиксируются специальными полимерными дюбелями с тарельчатыми держателями, либо пластинами, надеваемыми на резьбовые шпильки.

Крепление перфоленты к несущему кронштейну осуществляется болтом М8×25 с 2-мя шайбами и самоконтрящейся гайкой (рис. 2.6). На анкерную резьбовую шпильку перфолента крепится шайбами с самоконтрящимися гайками (рис. 2.7).

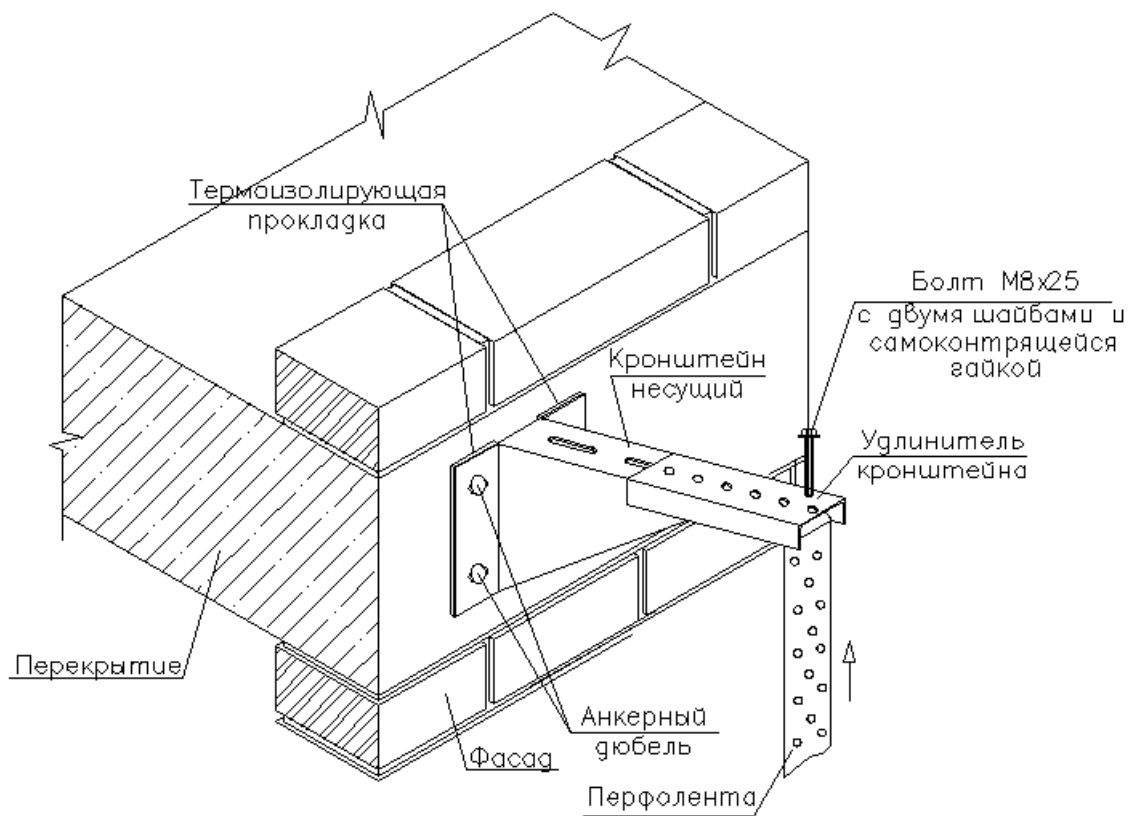


Рисунок 2.6 – Крепление перфоленты к несущему кронштейну

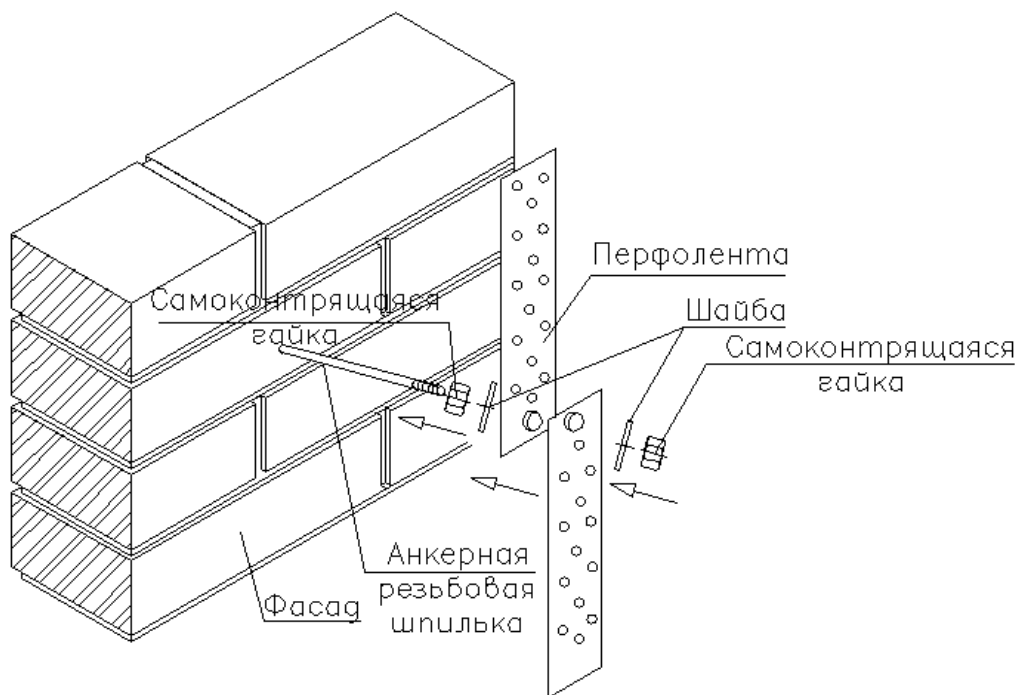


Рисунок 2.7 – Крепление перфоленты к анкерной резьбовой шпильке

Крепление керамогранита к несущей конструкции системы на кляммерах показано на рис. 2.8 и 2.9.

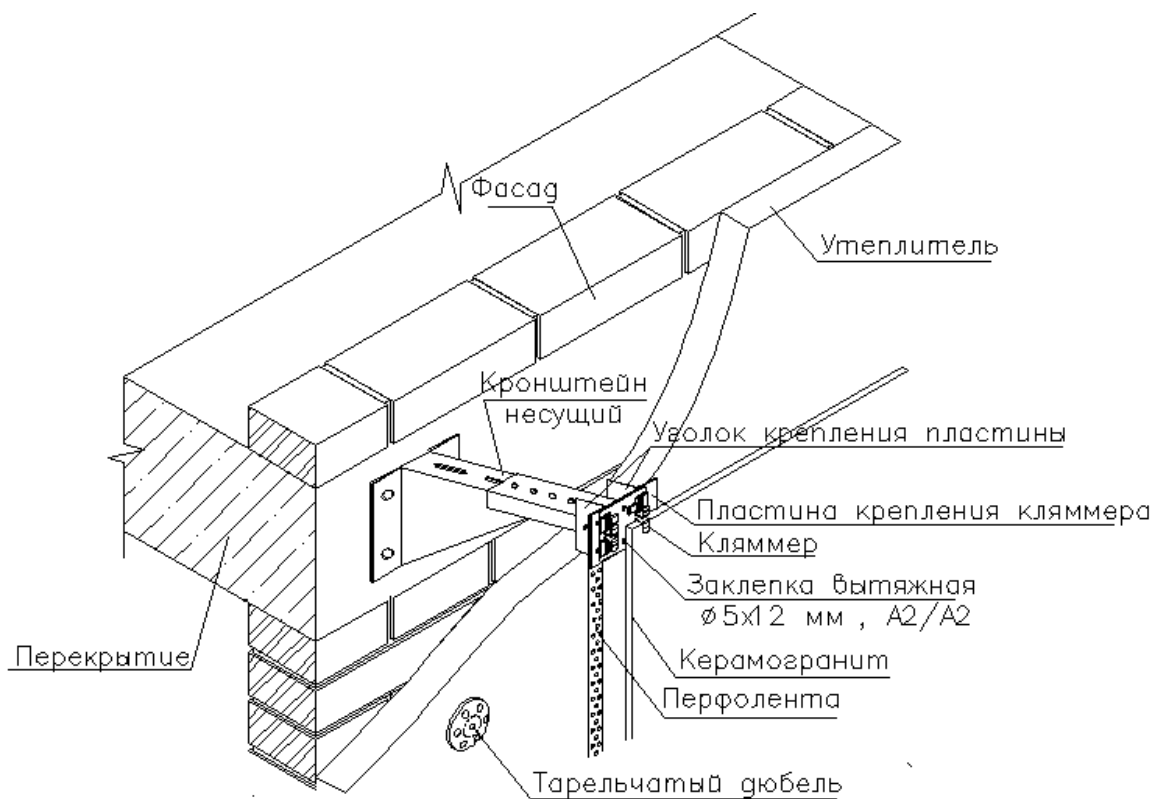


Рисунок 2.8 – Крепление облицовочной плиты в месте установки несущего кронштейна

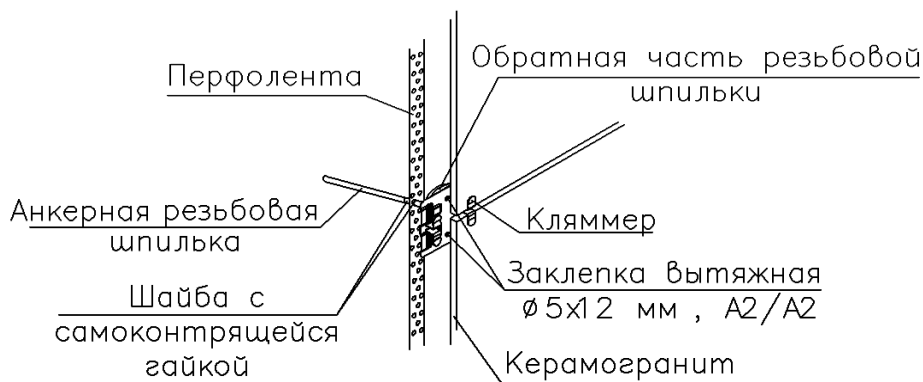


Рисунок 2.9 – Крепление облицовочных плит в месте установки анкерной резьбовой шпильки

Оформление оконных и дверных проемов (установка примыканий) производится в соответствии с требованиями лаборатории огневых испытаний ГУП ЦНИИСК им. Кучеренко на оконных и дверных проемах. Откосы и отливы изготавливаются из оцинкованных и окрашенных в цвет облицовки листов стали. Крепятся к несущей конструкции при помощи заклепок 5×12мм А2/А2.

2.2. Оценка материалоемкости конструкции фасадной системы с гибкими связями на основе изготовления опытной партии элементов конструкции

В процессе проектирования конструктивного решения НФС возникло два варианта ее исполнения (с креплением керамогранита на кляммерах и на фиксаторах).

Крепление облицовки на кляммерах описано выше. Крепление керамогранита на фиксаторах является узловым и выполняется с помощью нестандартных изделий (фиксаторов шва), которые навинчиваются на резьбовые шпильки и фиксируют облицовочные плиты в проектном положении в узловых точках. (рис. 2.10)



Рисунок 2.10 – Общий вид анкерной резьбовой шпильки с фиксатором

Изготовление таких изделий является трудоемким и затратным, поэтому в качестве основного конструктивного решения было принято крепление керамогранита с помощью кляммеров. Возможно снижение трудоемкости при изготовлении фиксаторов и снижение их стоимости при использовании в качестве материала стеклопластика. Однако это требует дополнительных исследований в области пожарной безопасности.

Для экспериментального исследования возможности массового производства элементов НФС были изготовлены следующие изделия:

несущий кронштейн (рис. 2.11), анкерная резьбовая шпилька (рис. 2.12), обратная часть резьбовой шпильки (рис. 2.13), уголки крепления пластины и пластина крепления кляммера (рис. 2.14).



Рисунок 2.11 – Общий вид несущего кронштейна



Рисунок 2.12 – Общий вид анкерной резьбовой шпильки



Рисунок 2.13 – Общий вид обратной части анкерной резьбовой шпильки



Рисунок 2.14 – Несущий кронштейн, уголки крепления пластины и пластина крепления кляммера в сборе (перевернуто)

Изготовление экспериментальной партии элементов системы подтвердило технологичность их массового производства.

При разработке нового конструктивного решения НФС одной из важнейших задач возможности ее применения является возможность массового производства новых элементов системы. Решением этой задачи связано с удешевлением элементов конструкции за счет снижения трудоемкости при их изготовлении и уменьшения материалоемкости системы в целом. Следует отметить, что все это не должно отражаться на эксплуатационных характеристиках НФС (прочностных и теплотехнических показателях, коррозионной стойкости, ремонтпригодности). Экономическое обоснование целесообразности применения системы возможно при сравнении конструктивного решения с существующими аналогичными по своему назначению системами.

Для подсчета стоимости 1 м^2 НФС были составлены таблицы 2.1 и 2.2. Таблицы составлены на основании сопоставления цен, запрашиваемых у различных заводов изготовителей на вариант изготовления элементов системы из оцинкованной стали.

Таблица 2.1

Расход и стоимость типовых элементов системы (комплектующие)

Элемент системы	Стоимость за ед.	Расход на 1 м ² , шт.	Стоимость, руб на 1 м ²
Перфолента	25	1,7	42,5
Анкерная резьбовая шпилька	7	4	28
Кляммер	6	4	24
Болт М8х25	4	5	20
Болт М8х30	4	7	28
Шайба под болт М8	1	19	19
Самоконтрящаяся гайка М8	1	14	14
Заклепка 5х12 А2/А2	1	25	25
Суммарная стоимость типовых элементов системы на 1 м² фасада			158

Таблица 2.2

Материалоемкость и стоимость изделий, изготавливаемых на заказ

Элементы системы, изготавливаемые на заказ	Расход на 1 м ² , шт.	Расход стали на изделие кг	Расход стали кг на 1 м ²	Сталь руб, расход на 1 м ² фасада (при учёте 150р./кг)	За изделие, руб.	Стоим. изделий на 1 м ² фасада, руб.
Кронштейн несущий	0.5	0.8	0.4	60	240	120
Удлинитель	0.5	0.2	0.1	15	90	45
Угловой кронштейн	0.3	3.7	1.11	167	280	84
Уголок крепления пластины	1	0.1	0.1	15	30	30
Пластина крепления кляммера	0.5	0.14	0.07	11	30	15
Обратная часть резьбовой шпильки	4	0.32	1.28	192	40	160
Суммарная стоимость изделий на 1 м² фасада						454

Материалоемкость системы составляет 4,5 кг/м² глухой стены, что значительно ниже материалоемкости существующих систем, которая в среднем составляет от 5,5 кг/м² до 6,5 кг/м². Исходя из данных табл. 2.1 и 2.2,

затраты на изготовление несущей конструкции составляют около 25%, что значительно ниже данных для существующих систем.

Сложив суммарные стоимости по таблицам 2.1 и 2.2. получим стоимость системы за $1 \text{ м}^2 = 612$ руб, которая включает в себя затраты на производство элементов подсистемы и стоимость расходуемого материала (оцинкованной стали).

Следует отметить, что цены, запрашиваемые у заводов изготовителей, не являются показательными и могут быть заведомо завышены, то есть возможно снижение стоимости 1 м^2 системы за счет модернизации технологии производства и оборудования, применяемого при изготовлении изделий. Стоимость системы рассчитывалась на максимальный вынос облицовки (250мм), соответственно с уменьшением выноса облицовки стоимость системы будет уменьшаться.

Исходя из проведенного исследования в первой главе настоящей диссертационной работы, были определены ценовые диапазоны несущих конструкций систем из различных материалов (оцинкованная сталь, алюминиевый сплав, коррозионостойкая сталь). Так, к примеру, для оцинкованной стали, он составляет от 800руб. до 1000руб.

Следовательно, можно сделать вывод, что стоимость предлагаемой системы значительно ниже стоимости аналогичных систем, что допускает возможность ее массового производства и применения.

Выводы по главе

1. Анализ существующих конструктивных решений НФС позволил сделать вывод о необходимости внесения конструктивных изменений в подоблицовочную конструкцию НФС с целью повышения теплотехнической однородности наружных стен и снижения материалоемкости несущей системы крепления облицовки к фасаду здания.

2. Разработано конструктивное решение НФС с гибкими связями подоблицовочной конструкции и узловым креплением облицовки.

3. Применение НФС в условиях динамических воздействий требует дополнительных усилений подобицовочной конструкции с помощью установки перфоленты в горизонтальном направлении между анкерными резьбовыми шпильками, что позволит увеличить пространственную жесткость системы, состоящей из анкерных резьбовых шпилек, гибких связей и несущих кронштейнов, обеспечив их совместную работу.

4. При использовании системы без тарельчатых дюбелей крепление утеплителя необходимо выполнять с помощью анкерных резьбовых шпилек и пластин.

5. Разработанную конструкцию НФС можно использовать и для других видов облицовочных плит: фиброцементных, из натурального камня и т.п. Однако это потребует внесения некоторых коррективов в конструктивные решения узлов креплений и проведения исследований прочности и деформативности таких систем.

6. Установлено, что затраты на изготовление несущей конструкции составляют около 25%, что значительно дешевле изготовления типовых систем. На основе эксперимента опытной партии элементов системы доказана возможность массового производства разработанной конструкции.

7. Определена стоимость элементов разработанной конструкции НФС, квадратный метр которой составляет 612 рублей. Эта цена включает затраты на производство элементов подсистемы и стоимость материала (оцинкованной стали).

8. Регулировку выноса анкерных резьбовых шпилек при значительных неровностях фасада рекомендуется осуществлять их подрезкой после установки, а также заказом шпилек определенной длины по результатам геодезической съемки конкретного объекта.

9. Для снижения трудоемкости монтажа и уменьшения стоимости фасада рекомендуется крепление теплоизоляционных плит осуществлять с помощью специальных держателей, закрепленных на анкерных резьбовых шпильках.

Глава 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НАВЕСНОЙ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ

3.1. Анализ теплотехнических свойств разработанной конструкции с типовыми системами

3.1.1. Исследование теплотехнических свойств наружных стен зданий с навесными фасадными системами

Сегодня большинство всего добываемого в России топлива расходуется на теплоснабжение зданий, при этом увеличивается рост себестоимости добычи, выработки и транспортировки традиционного природного топлива, а его запасы постепенно истощаются во всем мире.

Энергоэффективность проектных решений в России оценивается по степени их соответствия нормативным удельным показателям расхода тепла на единицу общей площади здания.

Методика оценки сокращения затрат на отопление здания за счет применения теплоэффективной ограждающей конструкции (в том числе и НФС) изложена в [116].

Рассчитывается удельная тепловая характеристики q_m , Вт/(м³·°С), которая является теплотехнической оценкой строительной части здания, показывающей тепловой поток, необходимый для повышения единицы объема постройки на 1°С. На стадии технико-экономического обоснования строительства (проекта) удельная тепловая характеристика может являться одним из контрольных ориентиров. Эта величина рассчитывается по формуле:

$$q_m = \frac{Q_{зд}}{(t_v - t_n) \cdot V_{зд}}, \quad (3.1.)$$

где $Q_{зд}$ - тепловая нагрузка на систему отопления помещения, Вт;

$V_{зд}$ - отапливаемый объем здания;

t_n – расчетная температура наружного воздуха равна средней температуре наиболее холодной пятидневки (с обеспеченностью 0,92) ;

t_v – расчетная температура внутреннего воздуха.

$$Q_{зд} = \Sigma Q_{расч} = Q_{огр} + Q_{инф}, (3.2.)$$

Тепловые потери за счет теплопередачи (трансмиссионные тепловые потери) $Q_{огр}$, Вт рассчитываются через каждое ограждение (или его часть) отдельно по формуле:

$$Q_{огр} = K \cdot A \cdot (t_v - t_n) \cdot n \cdot (1 + \Sigma \beta), (3.3.)$$

где A – площадь ограждения;

K , Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$) - величина, обратная сопротивлению теплопередаче, названа коэффициентом теплопередачи:

- коэффициент n зависит от конструкции;
- коэффициент β зависит от ориентации помещения.

Расход теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха $Q_{инф}$, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{инф} = 0,28G_0 \cdot c \cdot A \cdot (t_v - t_n) \cdot k, (3.4.)$$

где c - теплоемкость воздуха, кДж/(кг $\cdot^\circ C$);

k - коэффициент учета влияния встречного теплового потока в воздухопроницаемых конструкциях.

G_0 , кг/($m^2 \cdot ч$) - расход инфильтрационного воздуха через оконные проемы.

Инженерная методика теплотехнического расчета ограждающей конструкции, базирующаяся на нормируемом уровне тепловых потерь, при определении приведенного сопротивления теплопередаче конструкции [107] позволяет учесть потери тепла через неоднородные включения, имеющиеся в ограждающей конструкции. Данная методика согласуется с положениями европейского стандарта [142, 143] и позволяет сопоставлять расчетные значения сопротивлений теплопередаче.

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (приводится с незначительным упрощением) [107]:

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{U + \sum l_i \cdot \varphi_i + \sum n_k \cdot x_k}, \quad (3.5.)$$

где U – коэффициент теплопередачи по глади конструкции, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$;

φ_i – удельные потери теплоты через линейную неоднородность i -го вида, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$;

l_i – протяженность линейной неоднородности i -го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}/\text{м}^2$;

x_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, $\frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$;

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, шт./ м^2 .

Значение величины U – рассчитывается по формуле:

$$U = \frac{1}{R_0^{\text{усл}}} = \frac{1}{1/\alpha_{\text{в}} + \sum_s \frac{\delta}{\lambda} + 1/\alpha_{\text{н}}}, \quad (3.6.)$$

где $R_0^{\text{усл}}$ – условное сопротивление теплопередаче по глади конструкции, $\frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$; остальные условные обозначения в этой формуле хорошо известны и для краткости изложения опускаются.

Дополнительные потери теплоты через теплотехнические неоднородности ограждающих конструкций выражаются формулой:

$$\Delta U = \sum (l_i \cdot \Psi_i) + \sum (n_k \cdot x_k), \quad (3.7.)$$

В [107] приводится методика определения величины « ψ » и « x » с помощью расчетов двухмерных и трехмерных температурных полей на ЭВМ. Она аналогична методикам расчета [142, 143]. После определения этих величин производят расчет приведенного сопротивления по формуле (1).

Значение приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции при поэлементном нормировании должно быть не менее нормируемого значения [107]:

$$R_0^{\text{пр}} \geq R_0^{\text{нор}}, \quad (3.8.)$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче равно произведению $R_0^{\text{тр}} \cdot m_p$, где $R_0^{\text{тр}}$ принимается в зависимости от климатических условий района строительства по рассчитываемому значению ГСОП по табл. 3 [107]; m_p назначается в зависимости от выполнения требований по удельному потреблению энергии зданием, но должно быть не менее 0,63 для стен, 0,95 для светопрозрачных конструкций, 0,8 – для остальных конструкций. К примеру, для жилых зданий в Москве $R_0^{\text{тр}} = 3,13 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$; минимальное значение $R_0^{\text{нор}}$ составляет $R_0^{\text{нор}} = 3,13 \cdot 0,63 = 1,97 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$. Это требование действует с 2003г. В СНиП 23-02-2003 содержится ряд требования к теплозащите здания [29], но данное требование к сопротивлению теплопередаче является минимально допустимым.

В связи с тем, что существующая методика определения приведенного сопротивления теплопередаче не позволяет с достаточной точностью учесть все неоднородные включения, которые имеются в навесных фасадных системах, исследование тепловой эффективности разработанной конструкции проводилось на основе точного теплотехнического расчета с использованием вычислительного комплекса «TERP».

Вычислительный комплекс «TERP», разработанный на кафедре городского строительства и архитектуры Брестского политехнического института, был неоднократно тестирован, подтвержден экспериментальными исследованиями в тепловой камере и используется при проектировании БелНИИС (г. Минск), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и др. проектных организациях [56, 117].

Так, в 1993 и 1994 гг. в тепловой камере были испытаны панели марки Н13 и Н13-2. По результатам эксперимента их сопротивление теплопередаче составило 2,45 и 2,75 м²·гр/Вт соответственно [56, 117]. Сопоставление экспериментальных данных с результатами определения приведенного сопротивления панелей с использованием вычислительного комплекса «TEPL» показало, что отличие теоретических значений сопротивления теплопередаче от результатов эксперимента составило для панели Н13: 9%, для панели Н13-2: 3%. Сопротивление теплопередаче вычисленное без учета пространственного распределения температуры составило для панели Н13: 3,43 м²·гр/Вт, что больше экспериментального в 1,4 раза, а для панели Н13-2: 3,78 м²·гр/Вт (больше экспериментального в 1,38 раза). Проведенные исследования [56, 117] подтвердили справедливость требований действующих норм, где указано, что термическое сопротивление неоднородной ограждающей конструкции с неплоской поверхностью (именно такой является стена с несущим и утепляющим слоями, анкерами, окнами) должно определяться на основании расчета температурного поля и достоверность получаемых вычислительным комплексом «TEPL» результатов.

По данным [121] вычислительный комплекс «TEPL» реализует численное решение дифференциального уравнения трехмерной стационарной теплопроводности. Решение задачи таким способом позволяет учесть все геометрические особенности ограждающей конструкции и имеющиеся теплотехнические неоднородности различных типов: точечные (болты, анкера) и пространственные (окна, двери). Таким образом, возможен учет тепловых потерь через все элементы ограждающей конструкции.

Расчет температурных полей выполняется итерационно с применением комбинации простого метода Гаусса и метода TDMA (Tri-diagonal matrix algorithm) [122]. По результатам расчета определяется трехмерное температурное поле в рассматриваемой конструкции в виде изополей температур.

Для расчета задаются поверхности, через которые учитываются тепловые потери, а также поверхности, не участвующие в обеспечении сопротивления тепловым потерям, которые расположены параллельно тепловому потоку.

В результате численного расчета трехмерного температурного поля определяется приведенное сопротивление теплопередаче, являющееся основным теплотехническим показателем конструкции, определяющим способность конструкции сопротивляться прохождению через неё тепла.

3.1.2. Исследование теплотехнических свойств разработанной конструкции на основе численного расчета трехмерного температурного поля

Для сравнительного анализа тепловой эффективности конструкций теплотехнический расчет выполнялся для трех вариантов НФС: разработанной, типовой (существующей наиболее широко применяемой) и идеализированной (однородной), с облицовкой из керамогранитных плит размером 600×600мм, широко используемых сегодня в качестве отделки фасадов [48, 149].

Типовая система в своем конструктивном решении представляет несущую конструкцию, состоящую из кронштейнов, вертикальных направляющих, вентилируемого воздушного зазора 50мм и облицовки из керамогранита. Несущие кронштейны крепятся на двух анкерных дюбелях (100мм) к наружной стене с шагом 900мм по вертикали и с шагом облицовки по горизонтали (600мм). Такой шаг кронштейнов является наиболее распространенным в системах с облицовкой керамогранитом. Несущий кронштейн имеет П-образную форму. Его высота составляет 70мм, ширина 40мм, толщина металла 2мм. Вертикальные направляющие крепятся к кронштейнам заклепками.

Конструктивное решение разработанной системы подробно описано во второй главе настоящей диссертационной работы.

Для расчета в вычислительном комплексе «ТЕРМ» моделировалась регулярно повторяющаяся часть фасада – по высоте - между двумя соседними перекрытиями, по ширине – один ряд кронштейнов. С целью учета тепловых потерь, происходящих через угловые зоны сопряжения стены с перекрытием моделировались соответствующие части перекрытий (рис. 3.1, 3.2).

Типовая НФС («система 1») представлена на рисунке 3.1. Разработанная система («система 2») представлена на рисунке 3.2.

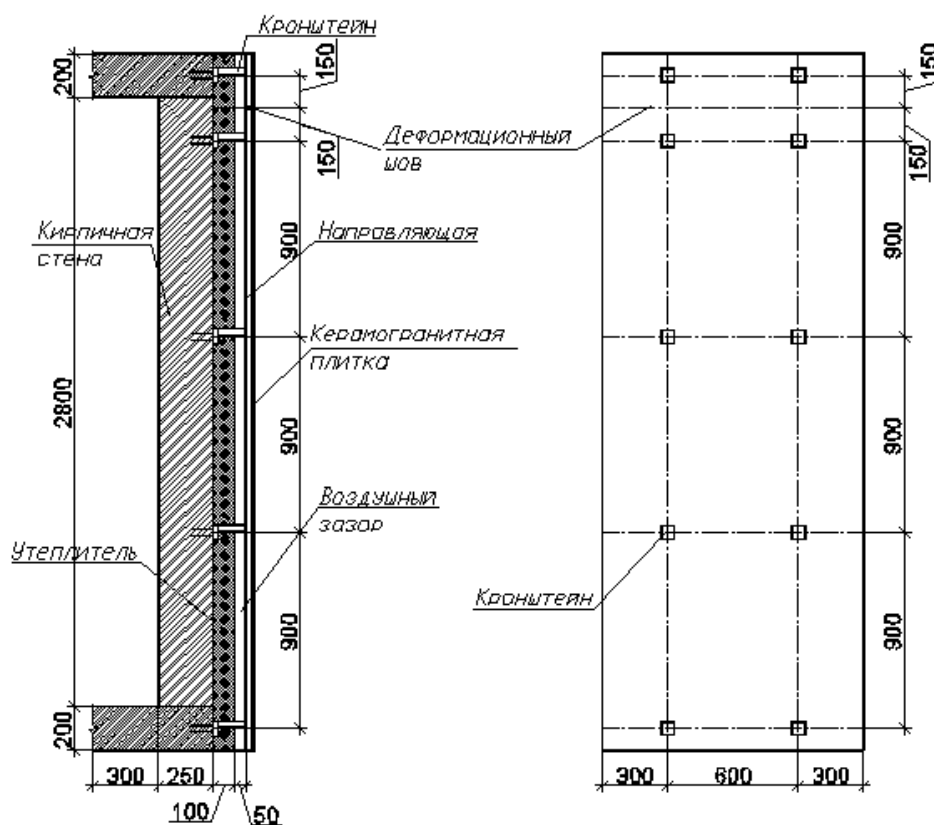


Рисунок 3.1 – Типовая система навесного вентилируемого фасада («Система 1»)

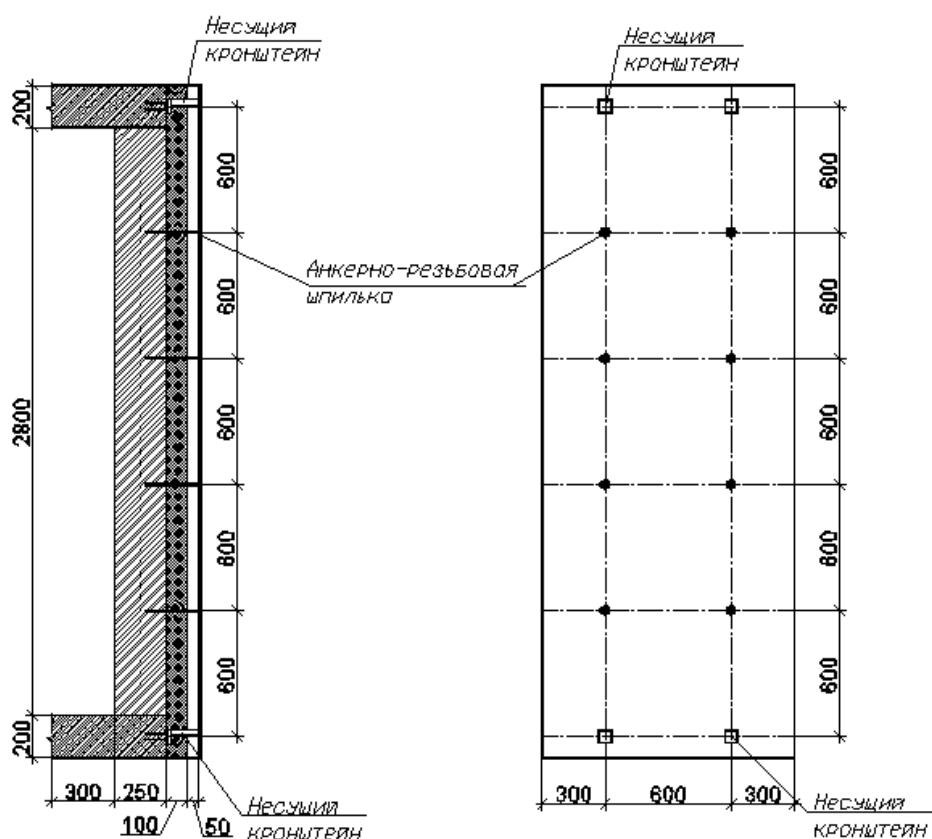


Рисунок 3.2 – Разработанная система навесного вентилируемого фасада («Система 2»)

Для получения достоверных результатов расчет трехмерного температурного поля исследуемых систем выполнялся при различной точности (0.1 – 0.00001 град).

Результаты расчета представлены в табличном (табл. 3.1) и графическом (рис. 3.3) видах.

Таблица 3.1.

Сравнение теплотехнических характеристик исследуемых систем

Точность расчета, град	Приведенное сопротивление теплопередаче R , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$			Разница, %	Коэффициент однородности r	
	Система 1	Система 2	Однородная система		Система 2-система 1	Система 1
0.1	1.9186	1.9797	2.2122	3.1%	0.867	0.895
0.01	1.2602	1.4287	1.9462	11.8%	0.648	0.734
0.001	1.1989	1.3518	1.7951	11.3%	0.668	0.753
0.0001	1.1939	1.3449	1.7803	11.2%	0.671	0.755
0.00001	1.1934	1.3442	1.7791	11.2%	0.671	0.756

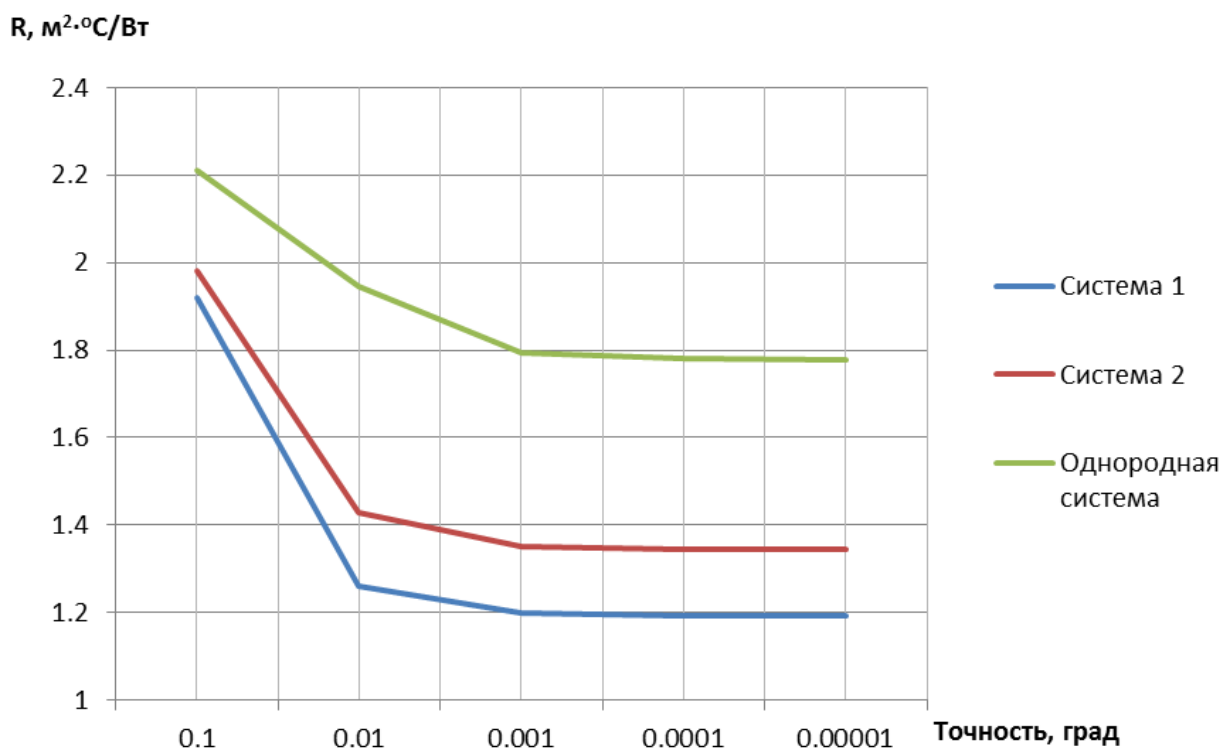


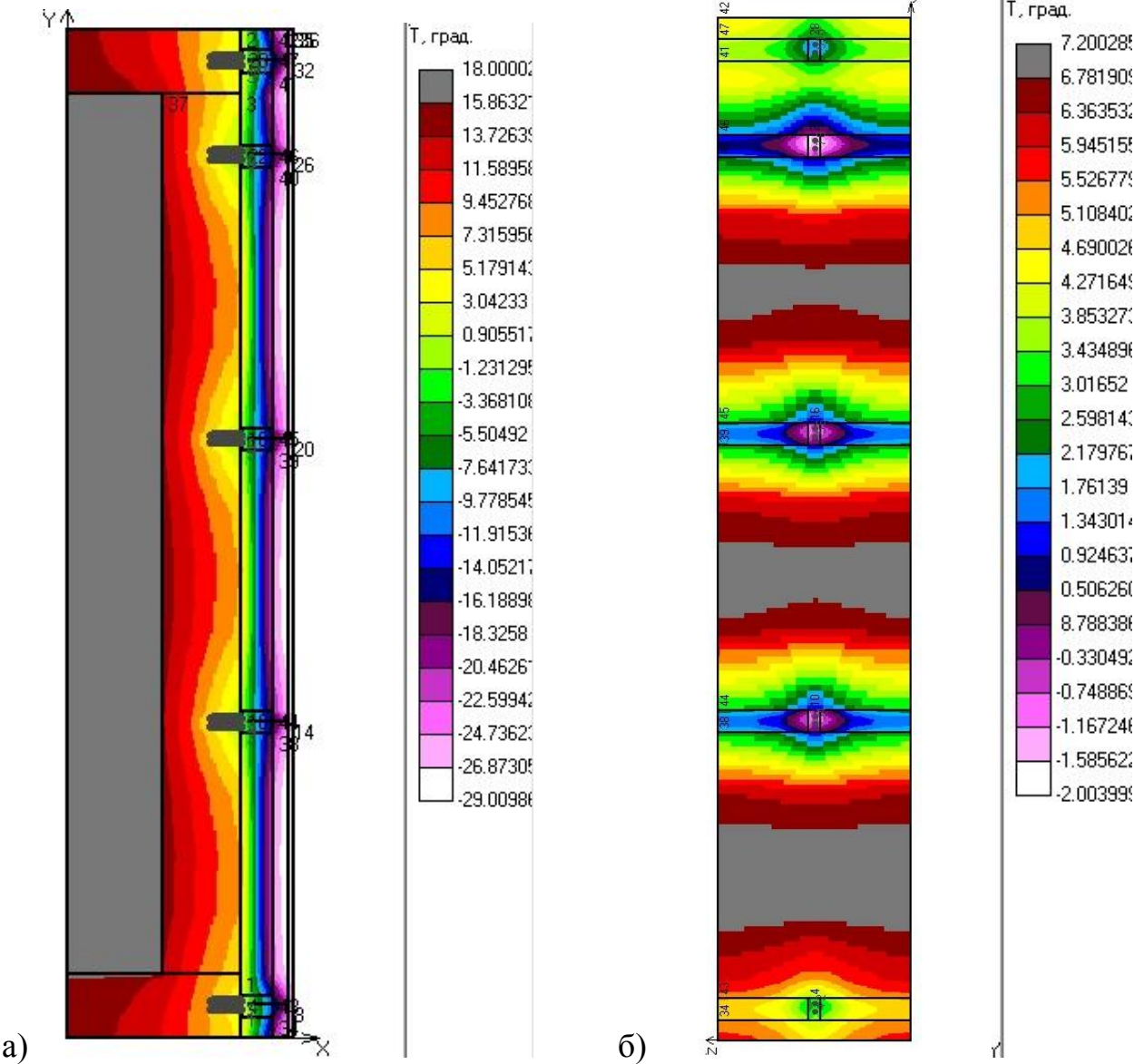
Рисунок 3.3 – Графики зависимости приведенного сопротивления теплопередаче от заданной точности расчета температурного поля

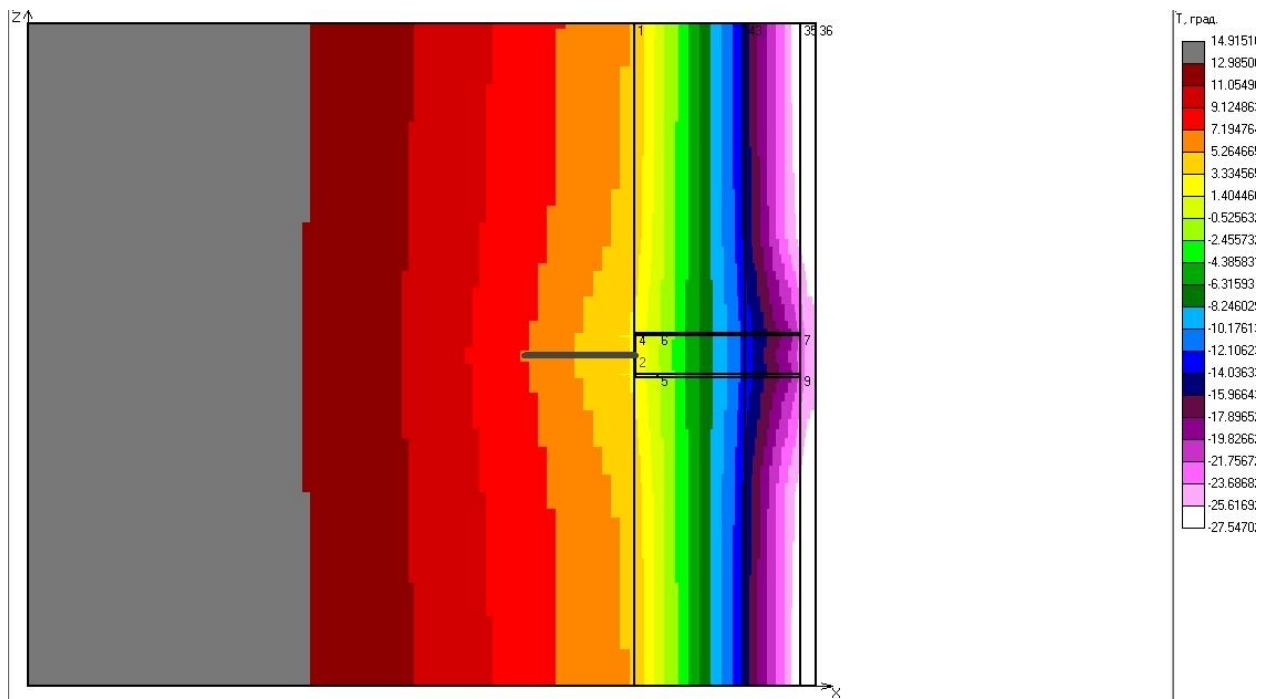
Как видно из графиков, с повышением точности расчета, результаты для всех трех систем сходятся к определенному пределу. Увеличение точности расчета более 0.001 град, практически не влияет на изменение сопротивления теплопередаче. Из чего можно сделать вывод, что достаточно достоверный результат можно получить при точности расчета 0.001 град. В таблице 3.1. строка, соответствующая выбранной оптимальной точности расчета, выделена жирным шрифтом.

Из таблицы 3.1 видно, что разработанная НФС («система 2») обладает лучшими теплозащитными свойствами, чем типовая «система 1». Приведенное сопротивление теплопередаче разработанной системы ($1,352 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$) превосходит сопротивление типовой системы ($1,199 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$) на 11,3%.

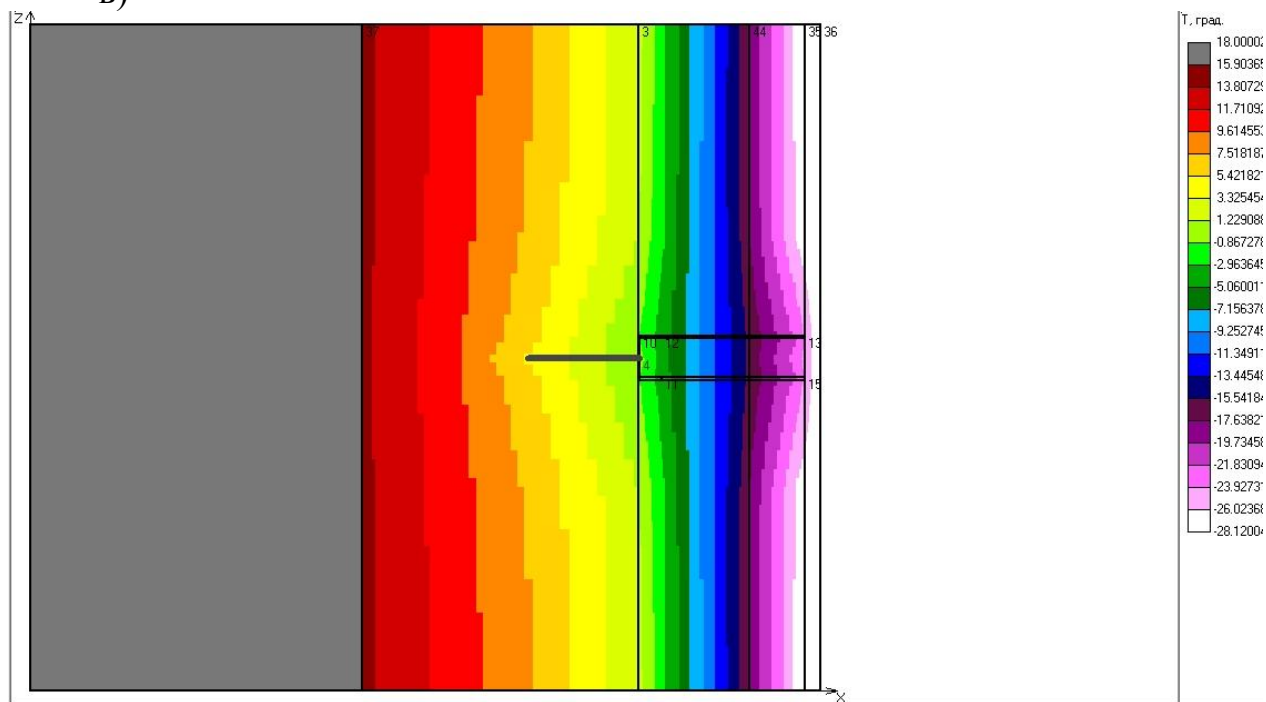
Картины изополей температур в конструкциях изображенные на рисунках 3.4, 3.5 демонстрируют, что в «системе 1» влияние кронштейнов значительно, чем совместное влияние несущих кронштейнов и шпилек в

«системе 2». Наиболее явно это заметно при сравнении рисунков 3.4 б и 3.5 б, где области пониженных температур на поверхности стены вокруг шпилек (рисунок 3.5 б) намного меньше, чем вокруг кронштейнов (рисунок 3.4 б).



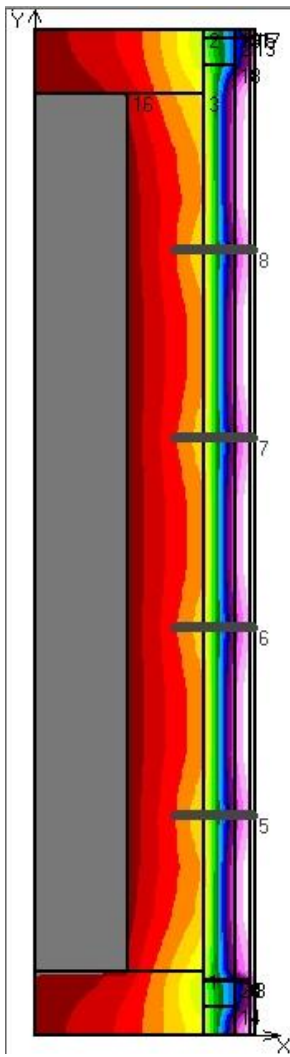


б)

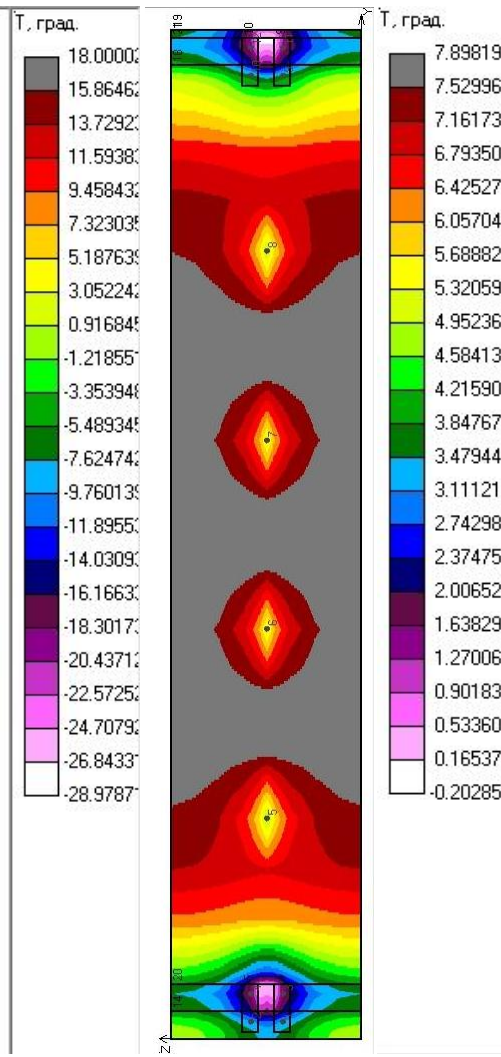


г)

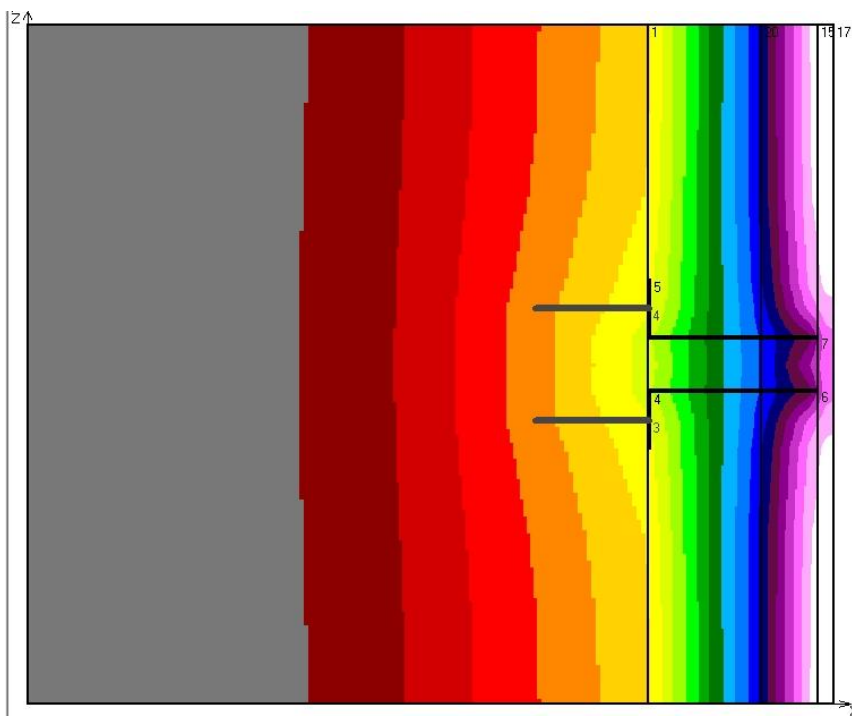
Рисунок 3.4 – Изополя температур в типовой системе («системе 1»)
 а – по вертикальному сечению стены;
 б – по плоскости стены;
 в – по горизонтальному сечению стены, проходящему через кронштейн, установленный в перекрытии;
 г – то же через кронштейн, установленный в стене.



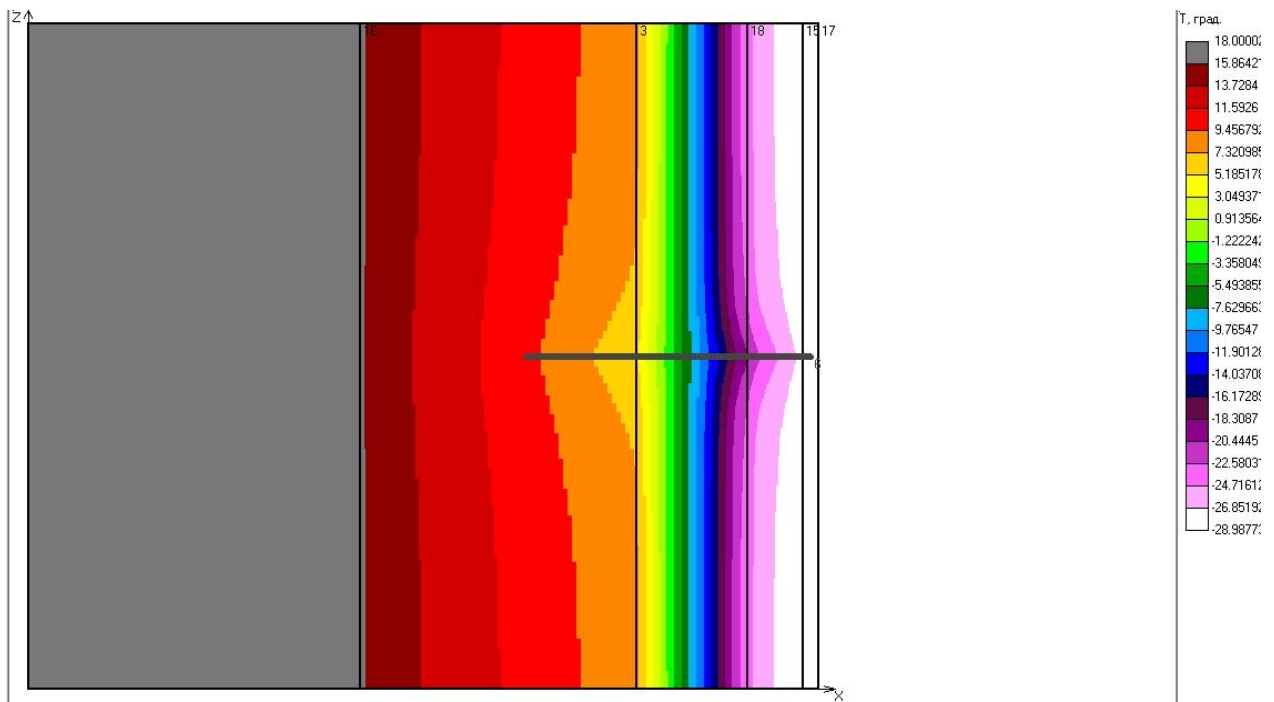
a)



б)



B)



г) Рисунок 3.5. – Изополя температур в разработанной системе («система 2»)

- а – по вертикальному сечению стены,
- б – по плоскости стены,
- в – по горизонтальному сечению стены, проходящему через несущий кронштейн (устанавливается в перекрытии),
- г – то же через анкерно-резьбовую шпильку (устанавливается в стене)

Тепловую эффективность неоднородных конструкций характеризует коэффициент теплотехнической однородности, который определяют как отношение приведенного сопротивления теплопередаче неоднородной конструкции к сопротивлению конструкции, не имеющей теплопроводных включений по формуле [107]:

$$r = \frac{R_0^{пр}}{R_0^{усл}}, \quad (3.9.)$$

где $R_0^{пр}$ - приведенное сопротивление теплопередаче конструкции, $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$;
 $R_0^{усл}$ - условное сопротивление теплопередаче однородной конструкции, $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$.

При определении коэффициента теплотехнической однородности ограждающей конструкции здания по нормативной методике учитывается лишь поперечная площадь «мостиков холода» приходящаяся на единицу

площади рассматриваемого ограждения. Применяемые в типовых подблицовочных конструкциях фасадных систем П-образные и L-образные кронштейны являются сложными с точки зрения теплотехнического расчета теплопроводными включениями.

В связи с отмеченным выше, можно заключить, что существующая нормативная методика учета дополнительных потерь тепла через теплотехнические неоднородности ограждающей конструкции не учитывает трехмерность «мостиков холода».

Определение коэффициентов теплотехнической однородности рассматриваемых систем выполнялось по результатам их расчета в вычислительном комплексе «ТЕРЛ» (см. выше табл. 3.1).

Расчет исследуемых систем показал, что разработанная конструкция обладает повышенным коэффициентом однородности (0.753) в сравнении с типовой конструкцией (0.668). При этом следует отметить, что повысить коэффициент теплотехнической однородности фасадной системы можно за счет использования в её элементах коррозионностойкой стали, теплопроводность которой значительно ниже, чем теплопроводность оцинкованной стали или алюминиевых сплавов. В сравнении, коэффициент теплопроводности λ антикоррозионной стали составляет $20 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}}$, оцинкованной - $47 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}}$, алюминиевых сплавов - $209 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}}$. Фасады с применением несущих систем, выполненных из коррозионностойкой стали, считаются дорогими, но более долговечными в эксплуатации, в связи, с чем находят все большее применение в современном строительстве. Кроме того, анкерные резьбовые шпильки НФС можно изготавливать из стеклопластика, обладающего еще меньшим коэффициентом теплопроводности ($\lambda=0.35 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}}$). Однако применение стеклопластика в конструкции навесного вентилируемого фасада требует дополнительных исследований в области пожарной безопасности, долговечности и надежности.

Оценка сокращения затрат на отопление здания за счет применения разработанной конструкции фасадной системы с гибкими связями

Для оценки сокращения затрат на отопление здания за счет применения теплоэффективной фасадной системы на гибких связях была подсчитана удельная тепловая характеристика для двух одинаковых помещений здания с различными ограждающими конструкциями наружных стен (конструкция наружной стены с применением типовой ($R = 1,1989 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) и разработанной ($R = 1,3518 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) НФС, теплотехнические особенности которых рассмотрены в 3 главе настоящей работы.

Расчет производился по [116] для помещения 3 этажа жилого здания, расположенного в г. Москве. Ориентация помещения – на юг. Площадь наружной стены с НФС = 18 м^2 . Площадь окна = 3 м^2 . Приведенное сопротивление теплопередаче оконного стеклопакета принималась $R = 0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Объем помещения = 63 м^3 .

Удельная тепловая характеристика рассчитывается по формуле (3.1.)

для конструкции наружной стены с применением традиционной НФС
 $K = 1/1,1989 = 0,834 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

для конструкции наружной стены с применением разработанной НФС
 $K = 1/1,3518 = 0,739 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

для оконного стеклопакета $K = 1/0,65 = 1,538 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Коэффициент $n = 1$ (наружная стена);

Коэффициент $\beta = 0$ (ориентация помещения на юг).

$$Q_{\text{огр (окна)}} = 1,538 \cdot 3 \cdot (20 + 28) = 221,472 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{огр (традиц.НФС)}} = 0,834 \cdot 18 \cdot (20 + 28) = 720,576 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{огр (разраб.НФС)}} = 0,739 \cdot 18 \cdot (20 + 28) = 638,496 \text{ Вт}.$$

Расход теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха $Q_{\text{инф}}$, Вт, определяется по формуле (3.4.)

c - теплоемкость воздуха, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$; $c = 1,006 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$;

k - коэффициент учета влияния встречного теплового потока в воздухопроницаемых конструкциях (для окон и балконных дверей с двойными отдельными переплетами $k = 0,8$).

Расход инфильтрационного воздуха G_0 , кг/(м²·ч), при этом через окно составит:

$$G_0 = \frac{1}{R_{\text{инф. req}}} \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0}\right)^{\frac{2}{3}},$$

Площадь окон в комнате здания равна 3 м². Фактическое сопротивление воздухопроницанию окна $R_{\text{инф. req}} = 0,65$ м²·ч/кг при $\Delta p_0 = 10$ Па. Окна выполнены из двухкамерного стеклопакета.

Разность давлений по разные стороны окна расчетного помещения Δp , Па, определяем по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta p &= (H - h) \cdot (\rho_n - \rho_b) \cdot g + \frac{\rho_n \cdot \vartheta^2}{2} \cdot K_{\text{дин}} \cdot (c_n - c_3) - p_b \approx (H - h) \cdot (\rho_n - \rho_b) \cdot \\ &g + \frac{\rho_n \cdot \vartheta^2}{2} \cdot K_{\text{дин}} \cdot (c_n - c_3) - 0,5 \cdot H(\rho_n - \rho_b) \cdot g - 0,5 \frac{\rho_n \cdot \vartheta^2}{2} \cdot K_{\text{дин}} \cdot (c_n - c_3) = \\ &0,5H \cdot (\rho_n - \rho_b) \cdot g - h \cdot (\rho_n - \rho_b) \cdot g + 0,5 \frac{\rho_n \cdot \vartheta^2}{2} \cdot K_{\text{дин}} \cdot (c_n - c_3), \end{aligned}$$

где h - расстояние от земли до центра рассматриваемого воздухопроницаемого элемента в здании (окна, балконной двери, входной двери в здание, ворот, витража), м.

Следовательно, для рассматриваемого помещения:

$$\begin{aligned} \Delta p &= 0,5 \cdot 37,4 \cdot (1,44 - 1,2) \cdot 9,81 - 9,15 \cdot (1,44 - 1,2) \cdot 9,81 + +0,5 \frac{1,44 \cdot 4,9^2}{2} \cdot \\ &0,77 \cdot (0,8 + 0,6) = 44,03 - 21,54 + 9,32 = 32 \text{ Па}, \end{aligned}$$

$$G_0 = \frac{1}{0,65} \cdot \left(\frac{32}{10}\right)^{\frac{2}{3}} = 3,34 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}},$$

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot 3,34 \cdot 1,006 \cdot 3 \cdot (20 + 28) \cdot 0,8 = 108,381 \text{ Вт},$$

Удельная тепловая характеристика для помещения здания с традиционной и разработанной НФС:

$$q_{m(\text{традиц.НФС})} = \frac{1050,429}{48 \cdot 63} = 0,347 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3\text{°С}},$$

$$q_{m(\text{разраб.НФС})} = \frac{968,349}{48 \cdot 63} = 0,320 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3\text{°С}}.$$

Из чего можно заключить, что применение разработанной конструкции НФС позволит снизить затраты на отопление здания в сравнении с типовыми системами в среднем на 6-10%.

3.2 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен зданий с применением системы на гибких связях

3.2.1. Разработка методики определения дополнительных тепловых потерь через теплотехнические неоднородности наружной стены

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (3.5.) [107].

Значение величины U – рассчитывается по формуле (3.6.).

Дополнительные потери теплоты через теплотехнические неоднородности ограждающих конструкций в действующих нормах выражаются формулой (3.7.)

Соответственно, подставив в формулу (3.5.) значения U и ΔU из формул (3.6 и 3.7) получим:

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{\text{усл}}} + \Delta U}, \quad (3.10.)$$

Выразив из формулы (3.10) ΔU и преобразовав уравнение, получим:

$$\Delta U = \frac{1}{R_0^{\text{пр}} - R_0^{\text{усл}}}, \quad (3.11)$$

Тепловую эффективность неоднородных конструкций характеризует коэффициент теплотехнической однородности, который определяют как отношение приведенного сопротивления теплопередаче неоднородной конструкции к сопротивлению конструкции, не имеющей теплопроводных включений по формуле (3.9.) [107].

По результатам настоящих исследований установлен коэффициент теплотехнической однородности для наружных стен с применением навесной фасадной системы на гибких связях, равный $\gamma = 0,753$.

Выразив из формулы (3.9) приведенное сопротивление теплопередаче по глади конструкции и подставив определенный коэффициент теплотехнической однородности для наружной стены с применением НФС с гибкими связями, получим:

$$R_0^{np} = 0,753 \cdot R_0^{ysl}, \quad (3.12.)$$

Подставив полученное значение приведенного сопротивления теплопередаче по глади конструкции из формулы (3.12.) в формулу (3.11.), получим усовершенствованную формулу определения дополнительных потерь теплоты через теплотехнические неоднородности ограждающей конструкции применительно к НФС с гибкими связями:

$$\Delta U = \frac{1}{0,753 \cdot R_0^{ysl} - R_0^{ysl}}, \quad (3.13.).$$

Полученную формулу (3.13) можно использовать применительно к системам на гибких связях взамен формулы (3.7.), что позволяет снизить трудоемкость процесса расчета без снижения его точности.

3.2.2. Разработка методики определения приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены

Значение приведенного сопротивления теплопередаче в действующих нормах определяется по отмеченной выше формуле (3.5.) [107].

Коэффициент теплотехнической однородности, определяется как отношение приведенного сопротивления теплопередаче неоднородной конструкции к сопротивлению конструкции, не имеющей теплопроводных включений по формуле (3.9.) [107].

По результатам настоящих исследований установлен коэффициент теплотехнической однородности для наружных стен с применением навесной фасадной системы на гибких связях, равный $\gamma = 0,753$.

С целью упрощения расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены с применением НФС с гибкими связями возможен учет теплотехнических неоднородностей системы утепления за счет полученного коэффициента теплотехнической однородности $\gamma = 0,753$.

Выразив из формулы (3.9.) приведенное сопротивление теплопередаче по глади конструкции и подставив определенный коэффициент теплотехнической однородности для наружной стены с применением НФС с гибкими связями, получим:

$$R_0^{\text{пр}} = 0,753 \cdot R_0^{\text{усл}}, \quad (3.14.)$$

Полученную формулу (3.14.) можно использовать применительно к системам на гибких связях взамен формулы (3.5.), что позволяет снизить трудоемкость процесса расчета без снижения его точности.

Выводы по главе

1. На основе точного теплотехнического расчета с использованием вычислительного комплекса «ТЕРЛ»:

– установлено, что разработанная конструкция НФС с гибкими связями обладает большим приведенным сопротивлением теплопередаче, чем существующие системы, в среднем на 11%.

– изучено распределение температур в трехмерном тепловом поле исследуемых систем: картины изополей температур наглядно показали большую теплотехническую однородность разработанной конструкции.

– получены значения коэффициентов теплотехнической однородности разработанной (0,753) и существующих (0,668) конструкций, которые можно рекомендовать для использования в инженерных теплотехнических расчетах при проектировании зданий.

2. Экономическая оценка тепловой эффективности разработанной НФС позволяет заключить, что применение гибких связей в конструкции позволяет снизить затраты на отопление здания на 6-10%.

3. Усовершенствована методика теплотехнического расчета наружной стены применительно к НФС на гибких связях, позволяющая учитывать все теплопроводные включения в ограждающей конструкции и снизить трудоемкость расчета.

Глава 4. ЧИСЛЕННЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

4.1. Численные исследования прочности и деформативности системы при действии статических и динамических нагрузок

4.1.1. Определение диапазона предельно допустимых нагрузок системы в зависимости от ветрового района и высоты здания

Расчёт несущей способности кронштейна

Расчет несущей способности кронштейна производился исходя из действующей максимально возможной нагрузки на узловое соединение от веса облицовки и собственного веса несущей конструкции.

Нормативная нагрузка от веса керамогранита:

$$q_z = 245,25 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0,245 \text{ кПа}$$

Нормативная нагрузка от веса несущей конструкции:

$$q_z = 30,00 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0,030 \text{ кПа}$$

Расчетная нагрузка от веса конструкции при коэффициенте надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,1$ [126] составит:

$$q_z = (245,25 + 30) \cdot 1,1 = 302,8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0,303 \text{ кПа}$$

Грузовая площадь несущего кронштейна составит:

$$S_{\text{гр}} = 0,6 \cdot 3 = 1,8 \text{ м}$$

Таким образом, вертикальная нагрузка от веса облицовки и собственного веса несущей конструкции на узловое соединение в месте установки несущего кронштейна составит:

$$N = S_{\text{гр}} \cdot q_z = 1,8 \cdot 0,303 = 0,545 \text{ кН}$$

Максимально допустимый изгибающий момент на узловое соединение из условия прочности будет действовать в кронштейне узлового соединения:

$$M \leq W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c, (4.1.)$$

Геометрические характеристики кронштейна:

$I_x = 163,65 \text{ см}^4$ (момент инерции); $W_x = 14,68 \text{ см}^3$ (момент сопротивления сечения).

Расчётное сопротивление стали С235: $R_y = 230 \text{ МПа}$

$$M \leq 14,68 \cdot 2300 \cdot 1,1 = 37140,4 \text{ кг} \cdot \text{см} = 3714 \text{ Н} \cdot \text{м} = 3,714 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Максимально допустимая вертикальная сила из условия прочности с учётом, что сила прикладывается на расстоянии 2 мм от основания стены (конца кронштейна)

$$P \leq \frac{M}{(L - 0,2)} = \frac{37140,4}{(20 - 0,2)} = 1746,1 \text{ кгс} = 17123,4 \text{ Н} = 17,123 \text{ кН}$$

При этом деформативность узлового соединения ограничивается величиной $L / 75$ (по п. 10.6 [39], где L – величина вылета консоли. $L = 200$ мм (согласно альбому технических решений системы). Максимально допустимый прогиб будет равен:

$$V = 20 / 75 = 0,26 \text{ см} = 0,0026 \text{ м}$$

При сравнении максимальных перемещений, полученных по результатам расчета (1,94 мм по оси Z кронштейна) с предельно допустимыми, можно сделать вывод что они находятся в допустимом диапазоне.

Определим максимально допустимую вертикальную силу из условия деформативности с учётом того, что сила действует на расстоянии 2 мм от основания стены (конца кронштейна):

$$P = \frac{V \cdot 3 \cdot E \cdot Y}{(L - 0,2) \cdot 3} = \frac{0,26 \cdot 3 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 163,65}{(20 - 0,2) \cdot 3} = 34533 \text{ кгс} = 352138,5 \text{ Н} = 352,139 \text{ кН}.$$

Таким образом, результаты расчёта при вылете облицовки (200мм), показали, что максимально допустимая нагрузка на узловое соединение составляет 17,123 кН.

Так как фактическая нагрузка от веса облицовки и собственного веса несущей подконструкции, действующая на кронштейн $N = 0,545$ кН значительно меньше предельно допустимой $P = 17,123$ кН, то прочность и жесткость несущего кронштейна обеспечивается с запасом.

Расчёт несущей способности анкерной резьбовой шпильки

Расчет несущей способности анкерной резьбовой шпильки в вычислительном комплексе «SCAD Soft» будем производить исходя из действующей максимально возможной сжимающей ветровой нагрузки на узловое соединение. Сжимающую силу N считаем центрально приложенной, действующей вдоль оси «X» анкерной резьбовой шпильки. Расчетную схему анкерной резьбовой шпильки принимаем как консольную балку с жесткой заделкой (см. рис. 3.1).

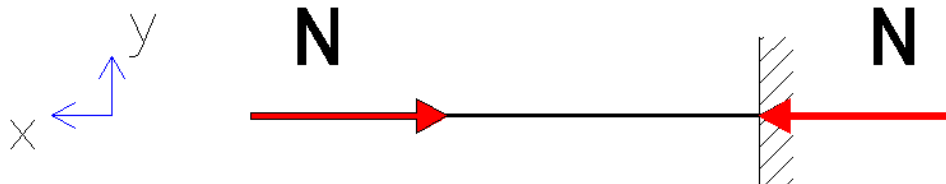


Рисунок 4.1 – Расчетная схема анкерной резьбовой шпильки

Грузовая площадь анкерной резьбовой шпильки составит:

$$S_{гр} = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36 \text{ м}$$

Геометрические характеристики анкерной резьбовой шпильки:

$I_x = 0,02 \text{ см}^4$ (момент инерции); $W_x = 0,05 \text{ см}^3$ (момент сопротивления сечения).

Расчётное сопротивление стали марки С235: $R_y = 230$ МПа

Коэффициент надежности по назначению $\gamma_f = 1,1$ [101]

Коэффициент условий работы $\gamma_f = 0,9$ [152]

Длина элемента $L = 0,2$ м

Предельная гибкость для сжатых элементов: $180 - 60\alpha$

По результатам расчета анкерной резьбовой шпильки в программном комплексе «SCAD Soft» на максимально возможную сжимающую силу $N = 1,628$ кН составлена таблица 4.1.

Таблица 4.1

Результаты расчета анкерной резьбовой шпильки на максимально возможную расчетную сжимающую силу $N = 1,628$ кН

Проверено по [40]	Проверка	Коэффициент использования
пп.5.24,5.25	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,16
п.5.3	Устойчивость при сжатии в плоскости X_0Y (X_0U)	0,284
п.5.3	Устойчивость при сжатии в плоскости X_0Z (X_0V)	0,284
п.5.1	Прочность при центральном сжатии/растяжении	0,16
пп.6.15,6.16	Предельная гибкость в плоскости X_0Y	0,667
пп.6.15,6.16	Предельная гибкость в плоскости X_0Z	0,667

Коэффициент использования по гибкости в плоскости X_0Y по длине анкерной резьбовой шпильки составил 0,667. По результатам расчета в вычислительном комплексе «SCAD Soft» анкерная резьбовая шпилька выдерживает максимально возможную расчетную сжимающую нагрузку от действия ветра $N = 1,628$ кН.

Для определения несущей способности шпильки при сжатии была определена максимально допустимая сжимающая сила, которая составила 5,700 кН (см. табл. 4.2)

Результаты расчета анкерной резьбовой шпильки на максимально допустимую сжимающую силу $N=5,700$ кН

Проверено по [40]	Проверка	Коэффициент использования
пп.5.24,5.25	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,56
п.5.3	Устойчивость при сжатии в плоскости X_0Y (X_0U)	0,995
п.5.3	Устойчивость при сжатии в плоскости X_0Z (X_0V)	0,995
п.5.1	Прочность при центральном сжатии/растяжении	0,56
пп.6.15,6.16	Предельная гибкость в плоскости X_0Y	0,831
пп.6.15,6.16	Предельная гибкость в плоскости X_0Z	0,831

Коэффициент использования по гибкости в плоскости X_0U по длине анкерной резьбовой шпильки составил 0,995.

По результатам расчета в вычислительном комплексе «SCAD Soft», максимально допустимая сжимающая нагрузка на анкерную резьбовую шпильку составляет $N = 5,700$ кН (ограничивается деформативностью), что значительно превышает максимально возможную расчетную от действия ветра (в 7 ветровом районе при высоте здания 75м) $N = 1,628$ кН. Таким образом, несущая способность анкерной резьбовой шпильки при действии сжимающей ветровой нагрузки обеспечивается с запасом.

Определение границ области возможного применения системы, исходя из оценки прочностных характеристик ее элементов.

Проведен численный расчет системы на действие эксплуатационных нагрузок для 1 и 7 ветровых районов при различной высотности здания. Область возможного использования системы определялась исходя из изменения вылета кронштейна (от минимального до максимального) и изменения ветровой нагрузки (в зависимости от этажности и ветрового района).

Значения ветрового давления для различных ветровых районов приведены в табл. 5 [102].

Значения аэродинамических коэффициентов C для различных зон здания и коэффициента надёжности по нагрузке приведены в [102] (для угловых зон $C=2$, для рядовых зон $C=1,1$). Здание делится по зонам на угловую и рядовую. По причине создающихся завихрений ветровая нагрузка в угловой зоне значительно выше, чем в рядовой. Влияние отсоса от ветровой нагрузки учитывают аэродинамические коэффициенты.

Значения коэффициента k_z для различных типов местности и высотности здания приведены в [129].

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки:

$$W_m = W_0 \cdot k_z \cdot c, (4.2.)$$

где W_0 – нормативное значение ветрового давления определяемое по табл. 5 [102].

Нормативная ветровая нагрузка с учётом пульсации ветра:

$$q_{yn} = W_m \cdot W_p, (4.3.)$$

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки W_p на высоте z определяется по формуле:

$$W_p = W_m \cdot \zeta \cdot \vartheta, (4.4.)$$

$\zeta = 0,72$ – коэффициент пульсации давления ветра на уровне Z , принимаемый по табл. 7 [102] для типа местности В и высоте $Z = 75$ м.

$\vartheta = 0,73$ – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра, принимаемый по п. 6.9 [102].

В табл. 3.3 и 3.4 приведено значение нормативной нагрузки, посчитанной для каждой ветровой зоны в зависимости от высоты здания и ветрового района.

Таблица 4.3

Значения нормативной ветровой нагрузки в угловой зоне фасада в зависимости от высоты здания и ветрового района

Значение нормативной ветровой нагрузки в угловой зоне фасада, кПа		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5$ м	Высота здания $Z = 75$ м
1	0,501	1,747
7	1,853	6,458

Таблица 4.4

Значения нормативной ветровой нагрузки в рядовой зоне фасада в зависимости от высоты здания и ветрового района

Значение нормативной ветровой нагрузки в рядовой зоне фасада, кПа		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5$ м	Высота здания $Z = 75$ м
1	0,276	0,961
7	1,019	3,552

В табл. 4.5 и 4.6 приведены значения расчётных ветровых нагрузок при коэффициенте надёжности по нагрузке $\gamma_f = 1,4$ в соответствии с [102]

Таблица 4.5

Значения расчётной ветровой нагрузки в угловой зоне фасада в зависимости от высоты здания и ветрового района

Значение расчётной ветровой нагрузки в угловой зоне фасада, кПа		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5$ м	Высота здания $Z = 75$ м
1	0,702	2,446
7	2,594	9,041

Таблица 4.6

Значения расчётной ветровой нагрузки в рядовой зоне фасада в зависимости от высоты здания и ветрового района

Значение расчётной ветровой нагрузки в рядовой зоне фасада, кПа		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5$ м	Высота здания $Z = 75$ м
1	0,386	1,346
7	1,427	4,973

Нормативная нагрузка от веса облицовки (керамогранита) и от веса несущей конструкции НФС была посчитана выше и составила: $q_z=302,8 \text{ Н/м}^2$

Расчёт производим для сетки кронштейнов с размерами по осям узлового крепления $0,6 \times 0,6 \text{ м}$. (наиболее часто используемый размер керамогранита) и с максимально возможным вылетом облицовки $0,2 \text{ м}$. Таким образом, грузовая площадь несущего кронштейна системы составляет:

$$S_{\text{гр}} = 0,6 \cdot 3 = 1,8 \text{ м} - \text{ для рядовой и угловой зон фасада.}$$

Грузовая площадь анкерной резьбовой шпильки составляет:

$$S_{\text{гр}} = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36 \text{ м} - \text{ для рядовой и угловой зон фасада.}$$

Максимальное значение изгибающего момента для несущего кронштейна составит:

$$M = 302,8 \cdot 0,2 \cdot 1,8 = 109 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,109 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Максимальное значение изгибающего момента для анкерной резьбовой шпильки:

$$M = 302,8 \cdot 0,2 \cdot 0,36 = 21,8 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,022 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

В табл. 4.7 и 4.8 приведены значения максимальной горизонтальной нагрузки от ветра для рядовой и угловой зон фасада здания.

Таблица 4.7

Значения расчётной горизонтальной нагрузки в угловой зоне фасада в зависимости от высоты здания и ветрового района (для несущего кронштейна и анкерной резьбовой шпильки)

Значение горизонтальной нагрузки $N_y = q_{yx} \cdot S_{\text{гр}}$ кН в угловой зоне фасада (несущий кронштейн)		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5 \text{ м}$	Высота здания $Z = 75 \text{ м}$
1	1,264	4,404
7	4,670	16,274
Значение горизонтальной нагрузки $N_y = q_{yx} \cdot S_{\text{гр}}$ кН в угловой зоне фасада (шпилька)		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5 \text{ м}$	Высота здания $Z = 75 \text{ м}$
1	0,253	0,881
7	0,934	3,255

Таблица 4.8

Значения расчётной горизонтальной нагрузки в рядовой зоне фасада в зависимости от высоты здания и ветрового района (для несущего кронштейна и анкерной резьбовой шпильки)

Значение горизонтальной нагрузки $N_y = q_{yx} \cdot S_{гр}$ кН в рядовой зоне фасада (несущий кронштейн)		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5$ м	Высота здания $Z = 75$ м
1	0,695	2,422
7	2,568	8,951
Значение горизонтальной нагрузки $N_y = q_{yx} \cdot S_{гр}$ кН в рядовой зоне фасада (шпилька)		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5$ м	Высота здания $Z = 75$ м
1	0,139	0,484
7	0,514	1,790

В табл. 4.9 и 4.10 приведены значения напряжений в кронштейнах в рядовой и угловой зонах. Кронштейны системы работают на растяжение и на сжатие. Наибольшие напряжения возникают при растяжении так, как усилия отсоса, возникающие в воздушной прослойке, значительно больше усилий от ветрового воздействия на поверхность фасада снаружи. Следовательно, при расчёте системы на прочность (по первому предельному состоянию) необходимо учитывать максимальные напряжения (при растяжении).

Таблица 4.9

Значения напряжений в угловой зоне фасада в зависимости от высоты здания и ветрового района (для несущего кронштейна и анкерной шпильки)

Значение напряжений $\sigma = \frac{N_y}{A} + \frac{M}{W_x}$, МПа в угловой зоне фасада (несущий кронштейн)		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5$ м	Высота здания $Z = 75$ м
1	9,231	13,716
7	14,096	30,670
Значение напряжений $\sigma = \frac{N_y}{A} + \frac{M}{W_x}$, МПа в угловой зоне фасада (анкерная резьбовая шпилька)		
Ветровой район	Высота здания $Z = 5$ м	Высота здания $Z = 75$ м
1	5,024	17,509
7	18,567	64,707

Таблица 4.10

Значения напряжений в рядовой зоне фасада в зависимости от высоты здания и ветрового района (для несущего кронштейна и анкерной шпильки)

Значение напряжений $\sigma = \frac{N_y}{A} + \frac{M}{W_x}$, МПа		
в рядовой зоне фасада (несущий кронштейн)		
Ветровой район	Высота здания Z = 5 м	Высота здания Z = 75 м
1	8,418	10,886
7	11,095	20,212
Значение напряжений $\sigma = \frac{N_y}{A} + \frac{M}{W_x}$, МПа		
в рядовой зоне фасада (анкерная резьбовая шпилька)		
Ветровой район	Высота здания Z = 5 м	Высота здания Z = 75 м
1	2,623	9,630
7	10,213	35,590

На графиках (рис. 4.2, 4.3) показана зависимость максимальных напряжений от высоты здания для 1 и 7 ветровых районов (в несущем кронштейне).

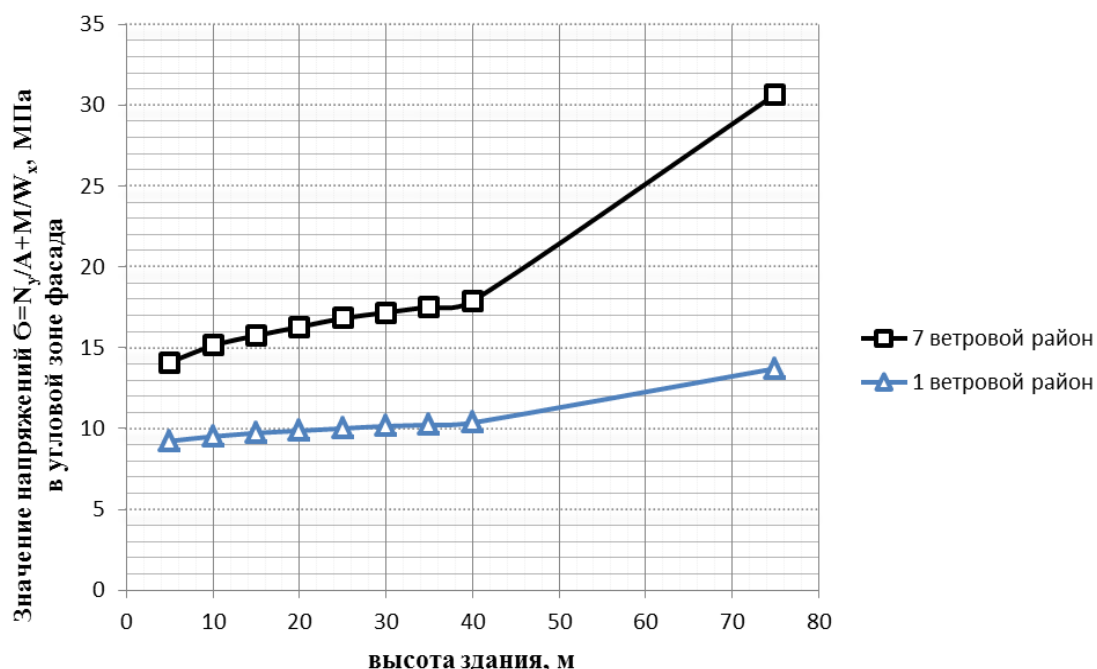


Рисунок 4.2 – Графики зависимости максимальных напряжений от высоты здания для 1 и 7 ветровых районов (в несущем кронштейне угловой зоны фасада).

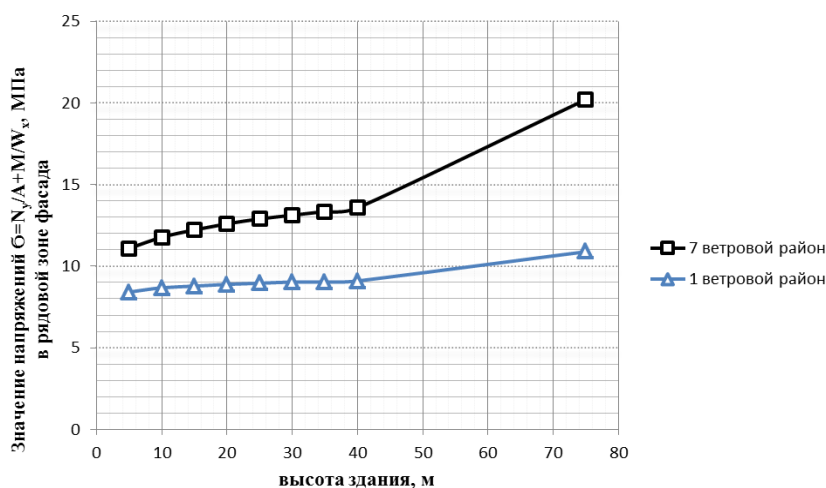


Рисунок 4.3 – Графики зависимости максимальных напряжений от высоты здания для 1 и 7 ветровых районов (в несущем кронштейне рядовой зоны фасада)

Прочность кронштейна при растяжении определяется по формуле:

$$\left(\frac{N_y}{A}\right) \cdot \gamma_n \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (4.5.)$$

Исходя из результатов расчёта напряжений в элементах системы, возникающих при действии эксплуатационных нагрузок в угловой и рядовой зонах фасада, можно сделать вывод, что они значительно ниже предельно допустимых, которые составляют 230 МПа. Следовательно, прочность кронштейнов на растяжение обеспечивается при всех возможных вылетах облицовки из керамогранитных плит (до 200мм).

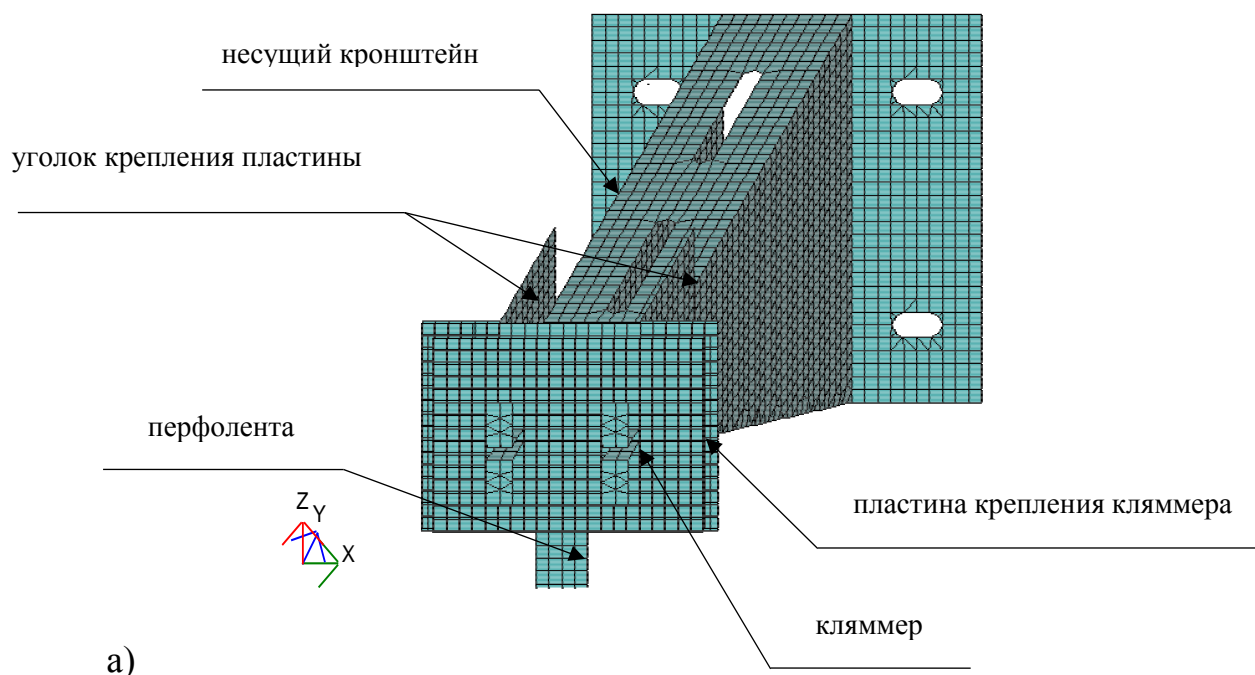
4.1.2. Конечно-элементное моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния конструкции

Для анализа напряжённо-деформированного состояния элементов несущей конструкции НФС был выполнен прочностной расчёт системы на действие статических нагрузок.

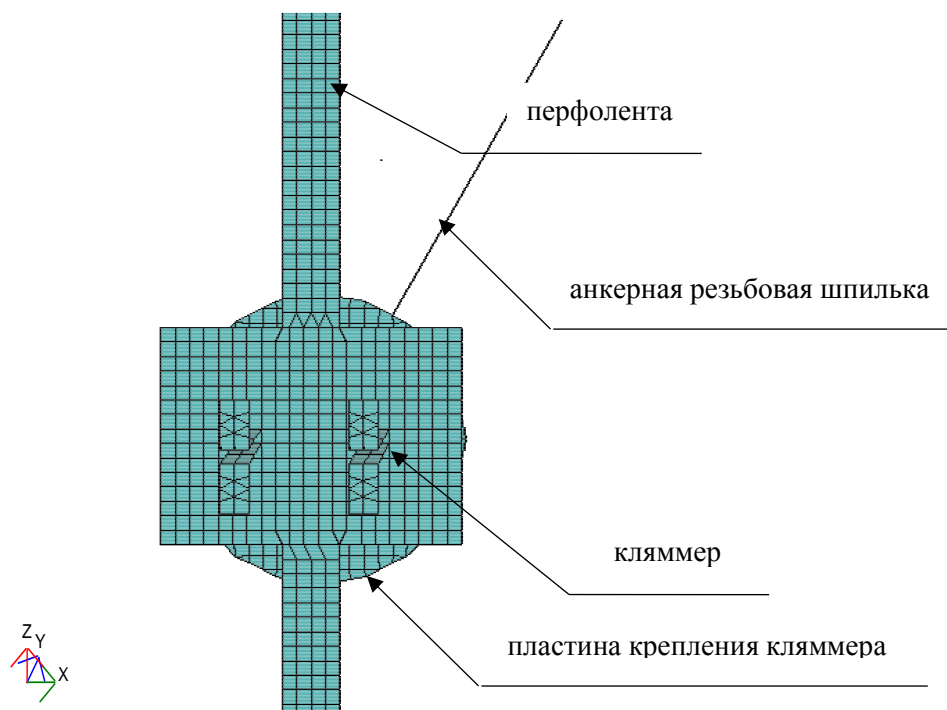
Конструктивное решение разработанной системы подробно описано во второй главе настоящей диссертационной работы.

Расчет выполнялся с использованием вычислительного комплекса «ЛИРА» версии 9.6. Узлы крепления несущей конструкции НФС формировались универсальными линейными треугольными и

четырёхугольными конечно-элементными оболочками. Для выполнения расчёта была построена конечно-элементная расчетная модель НФС (рис. 4.4).



а)



б)

Рисунок 4.4 – Конечно-элементная расчетная модель системы

а) – в месте установки несущего кронштейна,

б) – в месте установки анкерной резьбовой шпильки

Выполнен анализ сходимости вариантов сетки разбиения конечно-элементной расчетной модели системы для определения наиболее оптимальной. Рассмотрены следующие варианты сетки: 1,25×1,25мм, 2,5×2,5мм и 5×5мм. Вариант сетки размером 5×5мм соответствует размеру отверстия под заклепки в соединяемых элементах НФС. Ниже, в табл. 4.11 – 4.13 представлены значения напряжений и перемещений при различных вариантах сетки для наиболее нагруженных элементов несущей конструкции НФС – кронштейна и анкерной резьбовой шпильки. По данным табл. 4.11 – 4.13 построены графики зависимости напряжений и перемещений от размеров сетки разбиения расчетной модели системы на конечные элементы (рис. 4.5 – 4.7).

Таблица 4.11

Значения перемещений Δ_x , при различных вариантах сетки разбиения конечно-элементной расчетной модели системы

Элемент системы	кронштейн		анкерная резьбовая шпилька	
	Перемещение Δ_x , мм	Разница, %	Перемещение Δ_x , мм	Разница, %
Сетка, мм				
1,25×1,25	0,350	2,90	0,160	1,26
2,5×2,5	0,340	16,40	0,158	8,97
5×5	0,2920		0,145	

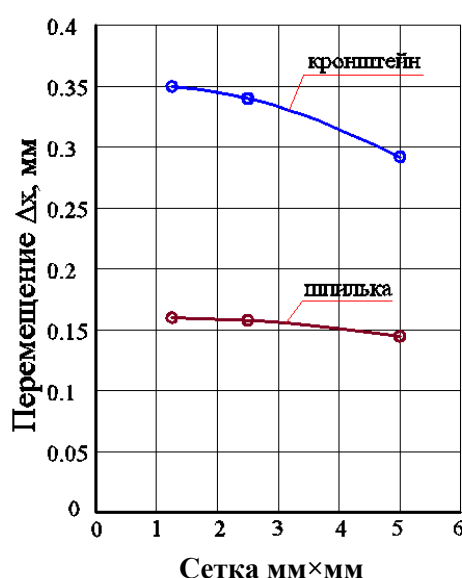


Рисунок 4.5 – График зависимости горизонтальных перемещений Δ_x от сетки разбиения конечно-элементной расчетной модели системы

Таблица 4.12

Значения угла поворота θ , при различных вариантах сетки разбиения конечно-элементной расчетной модели системы

Элемент системы	кронштейн		анкерная резьбовая шпилька	
	Угол поворота θ , рад	Разница, %	Угол поворота θ , рад	Разница, %
1,25×1,25	0,0185	3,580	0,0128	4,400
2,5×2,5	0,0178		0,0123	
5×5	0,0160		0,0115	

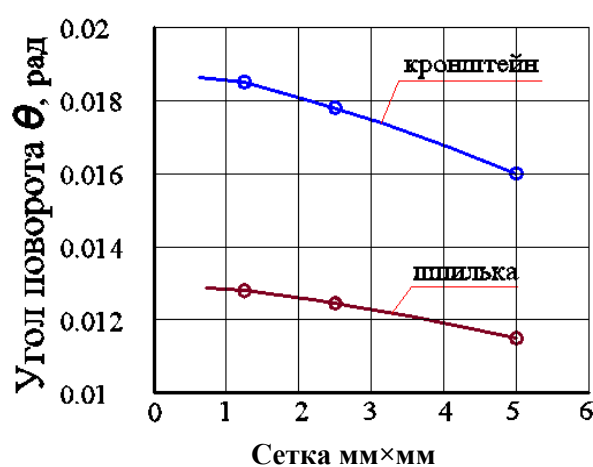


Рисунок 4.6 – График зависимости угла поворота θ , от сетки разбиения конечно-элементной расчетной модели системы.

Таблица 4.13

Значения погонного усилия, действующего в направлении оси Z при различных вариантах сетки разбиения конечно-элементной расчетной модели системы.

Элемент системы	кронштейн		анкерная резьбовая шпилька	
	Погонное усилие кПа	Разница, %	Погонное усилие кПа	Разница, %
1,25×1,25	29,830	10,772	0,000	0,000
2,5×2,5	28,897		0,000	
5×5	26,087		0,000	

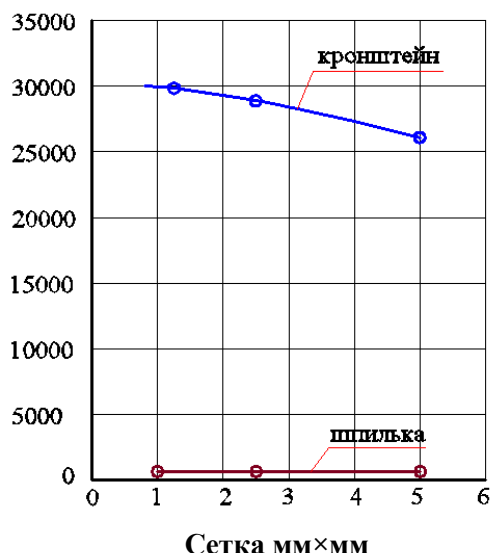


Рисунок 4.7 – График зависимости погонного усилия, действующего в направлении оси Z при различных вариантах сетки разбиения конечно-элементной расчетной модели системы.

На графиках (рис. 4.5 – 4.7) видно асимптотическое схождение кривой к линии, параллельной горизонтальной оси, что показывает сходимость результатов к определенному пределу. За достоверный результат можно принять значения расчетов при плотности разбиения находящейся в данном пределе.

Для инженерной точности расчета принята сетка разбиения 2,5×2,5мм. Максимальная разница между результатами, полученными при сетках разбиения 2,5×2,5мм и 1,25×1,25мм, составляет 4,4%, при этом снижается размерность задачи.

Граничные условия в расчетной схеме задавались в соответствии с фактическим конструктивным решением системы.

В качестве материала подсистемы была принята сталь марки С235.

Модуль упругости принимался $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа

Сбор нагрузок на конструкцию для 1 и 7 ветрового района здания высотой до 75 метров приведён выше в п.п. 4.2.

В приложении №1 приведена схема НФС с приложенными на нее эксплуатационными нагрузками, а так же представлена картина напряженно-

деформированного состояния системы, проведен анализ работы системы под эксплуатационными нагрузками.

Анализ результатов численных расчетов системы показал, что кронштейны НФС являются наиболее нагруженными элементами и испытывают максимальные напряжения от веса облицовки и ветровой нагрузки. Кронштейн воспринимает горизонтальную ветровую нагрузку и изгибающий момент от вертикальной нагрузки конструкции НФС.

Погонные усилия, моменты и перемещения, возникающие в кронштейне, приведены в табл. 4.14.

Таблица 4.14

Значения максимальных погонных усилий, моментов и перемещений в кронштейне

Погонные усилия, перемещения и моменты	Результаты расчетов	
	растяжение	сжатие
Перемещение по X (G) мм	0,32	0,31
Перемещение по Y (G)мм	0,48	0,81
Перемещение по Z (G)мм	0,00	-1,86
Погонный момент, действующий в направлении оси Y (Н·м)	72,00	37,00
Погонный момент, действующий в направлении оси Z (Н·м)	95,40	97,40
Погонное усилие действующее в направлении оси Y (Н/м)	784,00	776,00
Погонное усилие действующее в направлении оси Z (Н/м)	521,00	526,00

Максимальное значение момента, возникающее в кронштейне, составляет 0,097 кН·м, что не превышает допустимого значения 3,39 кН·м.

Максимальное значение силы возникающее в кронштейне составляет 0,526 кН, что не превышает допустимого значения 17,123 кН.

Максимальное значение перемещение по оси Z возникающее в кронштейне составляет 1,86 мм, что не превышает допустимого значения 2,60 мм.

Шпилька воспринимает горизонтальную ветровую нагрузку и минимальный изгибающий момент от вертикальной нагрузки конструкции фасада. В элементе возникают растягивающие усилия, поперечные силы минимальные.

Погонные усилия, моменты и перемещения, возникающие в шпильке, приведены в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Значения максимальных погонных усилий, моментов и перемещений в шпильке

Погонные усилия, перемещения и моменты	Результаты расчетов	
	растяжение	сжатие
Перемещение по X (G) мм	0,18	0,00
Перемещение по Y (G)мм	0,00	0,05
Перемещение по Z (G)мм	0,00	-1,74
Погонное усилие действующее в направлении оси Y (Н/м)	272,00	0,00
Погонный момент, действующий в направлении оси Z (Н·м)	0,88	5,54
Погонный момент, действующий в направлении оси Y (Н·м)	0,34	0,00
Погонное усилие действующее в направлении оси Z (Н/м)	0,23	0,00

Максимальное значение силы на растяжение, возникающее в шпильке, составляет 0,272 кН, что не превышает допустимого значения 17,123 кН. Максимальное значение перемещения по оси Z возникающее в шпильке составляет 1,75 мм, что не превышает допустимого значения 2,60мм.

Перфолента является элементом системы, который передает вертикальную нагрузку на кронштейн, что приводит к работе шпильки на растяжение. Погонные усилия, моменты и перемещения, возникающие в перфоленте, приведены в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Значения максимальных погонных усилий, моментов и перемещений в перфоленте

Погонные усилия, перемещения и моменты	Результаты расчетов	
	растяжение	сжатие
Перемещение по X (G) мм	0,18	0,00
Перемещение по Y (G)мм	4,50	14,16
Перемещение по Z (G)мм	0,00	1,75
Погонный момент, действующий в направлении оси Y (Н·м)	162,00	0,00
Погонный момент, действующий в направлении оси Z (Н·м)	20,40	4,17
Погонное усилие действующее в направлении оси Z (Н/м)	103,00	103,00
Погонное усилие действующее в направлении оси Y (Н/м)	108,00	108,00

Кляммер в рассмотренной системе является самым слабым элементом, в процессе работы он отгибается, перемещения возникающие в кляммере: перемещение по оси X (G) мм = 1,23, перемещение по оси Y (G) мм = 3,00 перемещение по оси Z (G) мм = 2,40.

4.1.3. Сравнение результатов численного расчета в вычислительном комплексе «ЛИРА» и расчета по инженерной методике

На графиках (рис. 4.8 – 4.11) показано сравнение результатов численного расчета в вычислительном комплексе «ЛИРА» и расчета по инженерной методике.

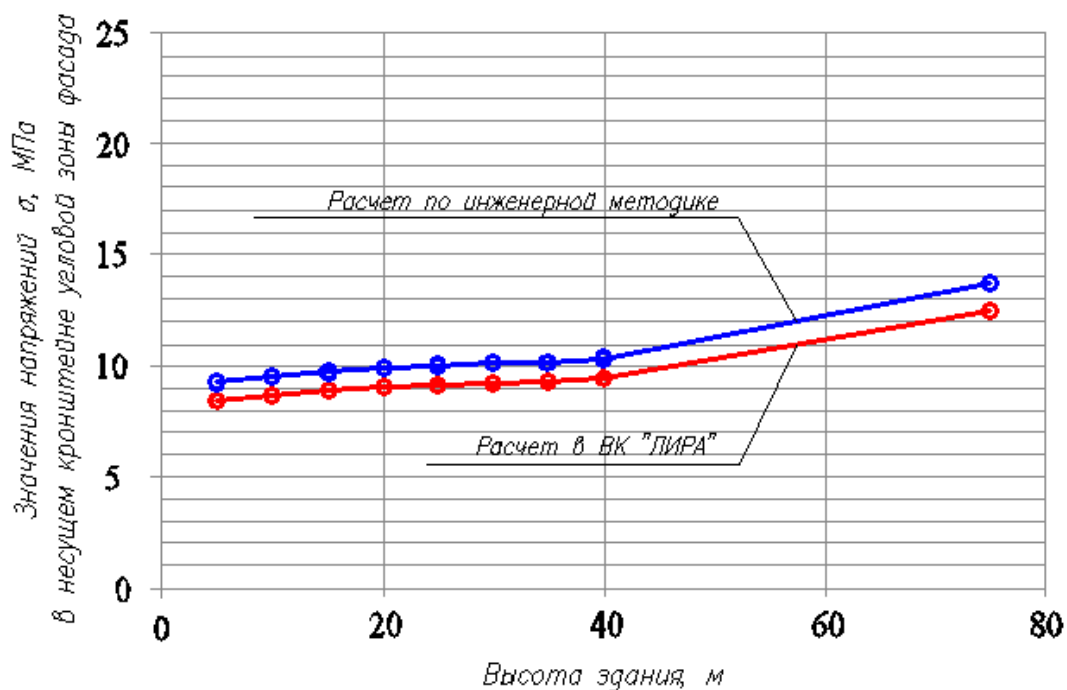


Рисунок 4.8 – Графики зависимости максимальных напряжений от высоты здания для 1 ветрового района (в несущем кронштейне угловой зоны фасада). Сравнение результатов численного расчета по инженерной методике и расчета в вычислительном комплексе «ЛИРА».

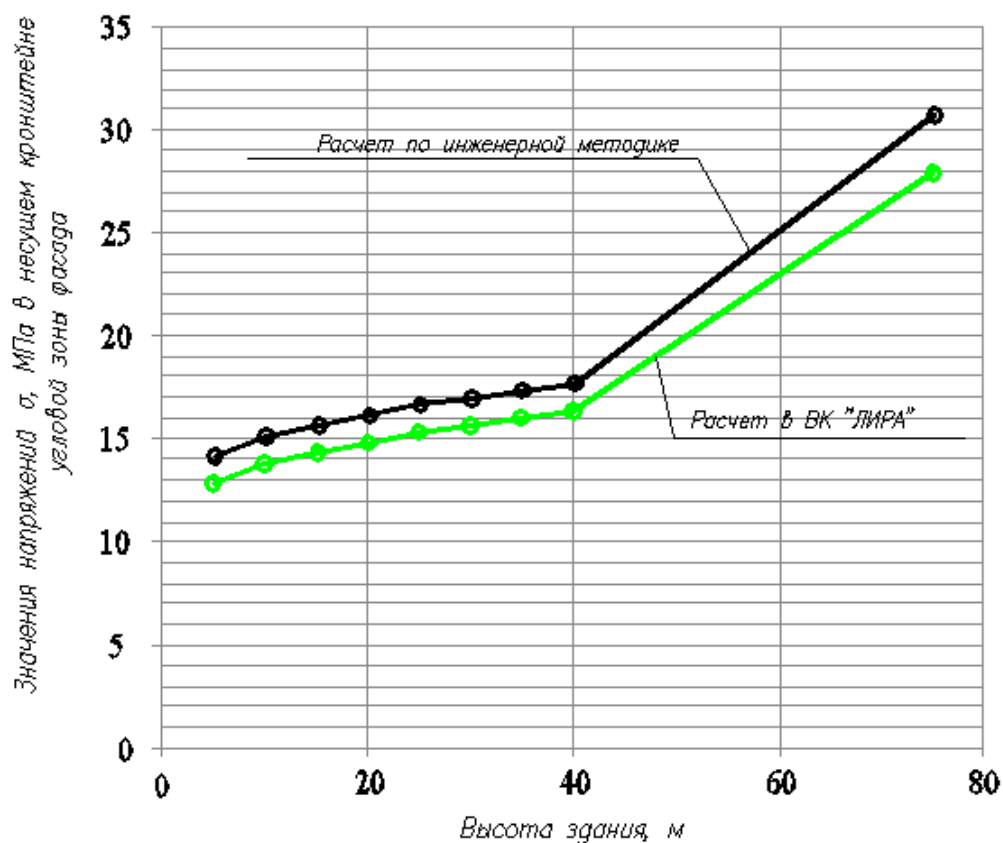


Рисунок 4.9 – Графики зависимости максимальных напряжений от высоты здания для 7 ветрового района (в несущем кронштейне угловой зоны фасада). Сравнение результатов численного расчета по инженерной методике и расчета в вычислительном комплексе «ЛИРА».

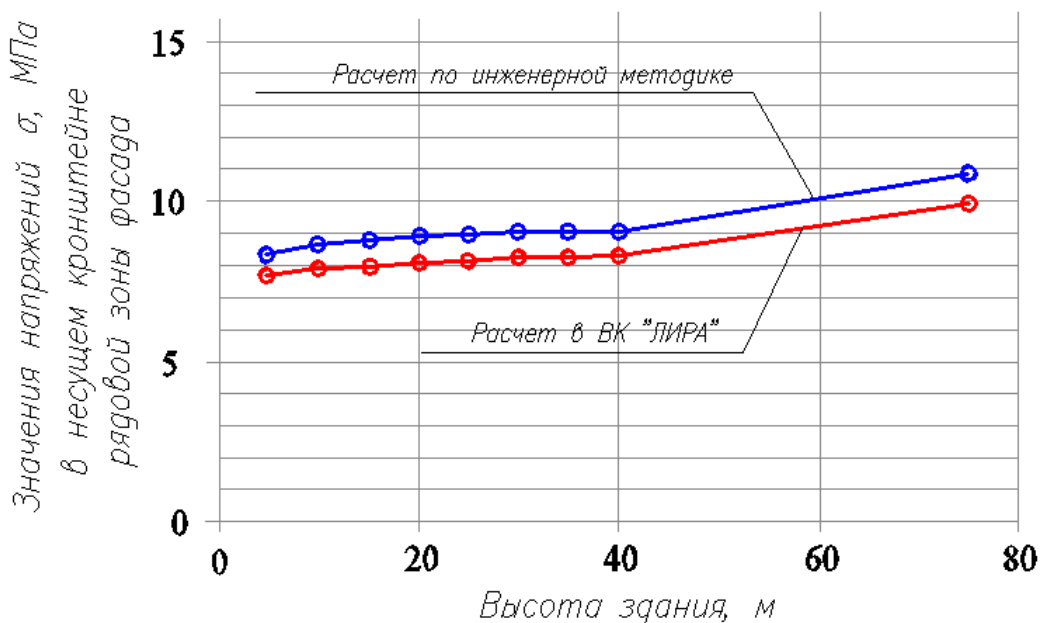


Рисунок 4.10 – Графики зависимости максимальных напряжений от высоты здания для 1 ветрового района (в несущем кронштейне рядовой зоны фасада). Сравнение результатов численного расчета по инженерной методике и расчета в вычислительном комплексе «ЛИРА».

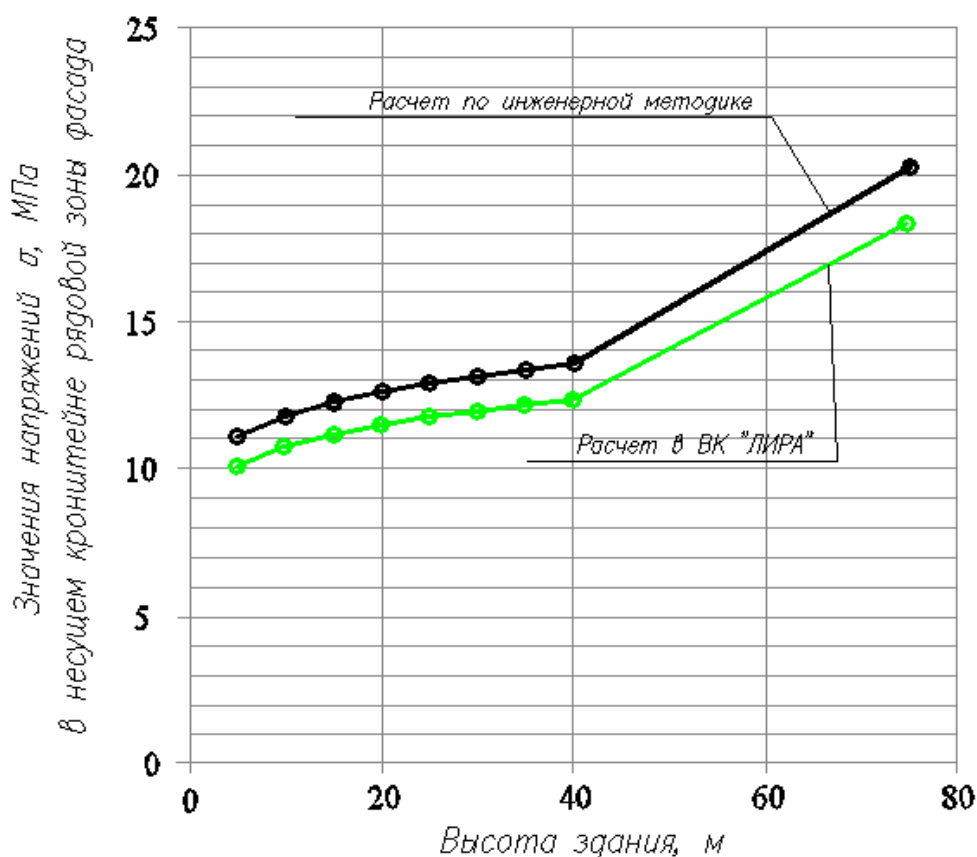


Рисунок 4.11 – Графики зависимости максимальных напряжений от высоты здания для 7 ветрового района (в несущем кронштейне рядовой зоны фасада). Сравнение результатов численного расчета по инженерной методике и расчета в вычислительном комплексе «ЛИРА».

Анализируя графики (рис. 4.8 – 4.11), можно сделать вывод, что значения напряжений, полученные в результате расчета по инженерной методике, превосходят значения напряжений, полученные по расчету в вычислительном комплексе «ЛИРА» в среднем на 10%. Это обуславливается тем, что при расчете в вычислительном комплексе учитывается совместная пространственная работа всех элементов НФС. Расчет в вычислительном комплексе является более точными по сравнению с расчетом по инженерной методике.

4.2. Экспериментальные исследования прочности и деформативности разработанной фасадной системы при действии динамических нагрузок

4.2.1. Цель и задачи экспериментального исследования

Одним из определяющих критериев надежности любой проектируемой НФС, является эксперимент. Эксперимент позволяет не только смоделировать любой вид нагрузки на систему и определить, тем самым, предельную несущую способность конструкции, но и рассмотреть поведение системы при различных конструктивных несовершенствах её элементов. Особенно важен эксперимент для анализа работы НФС в условиях динамических воздействий.

Неотъемлемой частью исследований при оценке безопасной эксплуатации являются испытания с применением динамического нагружения на специальных стендах, виброплатформах и с помощью специальных вибромашин.

Полученные в результате испытаний данные позволяют определить физико-механические, эксплуатационные и другие характеристики исследуемой конструкции, включая динамические показатели испытываемой системы. Результаты испытаний дают возможность оценить допустимость расширения области применения исследуемой НФС с учетом требований эксплуатационной надежности, безопасности и долговечности зданий.

Цель лабораторных испытаний – оценка пригодности и эксплуатационной надежности системы при использовании ее в зданиях, эксплуатируемых в условиях динамических воздействий [72], а также на высотных зданиях, где пульсационное воздействие ветра имеет высокое значение (к примеру, значение расчетной ветровой нагрузки в угловой зоне фасада при высоте здания 75м в 7 ветровом районе составляет 9,041 кН).

Испытания проводились в 2 этапа. Вначале, для оценки надежности конструктивного решения испытывался макет НФС (рядовой участок системы высотой в пять плит керамогранита и шириной в одну плиту

керамогранита). Затем для более точной оценки прочности и деформативности системы при действии динамических (сейсмических) нагрузок были проведены испытания фрагмента системы (облицовывались два угла экспериментального куба). Производилось сравнение результатов испытаний разработанной системы с существующей типовой системой имеющей аналогичную материалоемкость и широко используемую в отечественной практике.

При написании данной главы настоящей диссертационной работы использовались термины и определения, содержащиеся в действующих стандартах и нормативах [41, 108].

Программа экспериментальных исследований по оценке безопасности эксплуатации НФС в условиях динамических воздействий включает в себя следующие этапы:

- исследование конструктивных особенностей НФС;
- выбор конструктивных параметров и самих элементов НФС для назначения экспериментального фрагмента;
- подготовка вибростенда и измерительного оборудования для проведения динамических испытаний;
- назначение режимов нагружения фрагмента фасадной системы динамической нагрузкой, соответствующей силовым воздействиям при землетрясениях различной интенсивности;
- обработка и анализ результатов экспериментальных исследований НФС;
- подведение выводов по результатам испытаний фрагмента НФС и составление рекомендаций по обеспечению эксплуатационной надежности фасадной системы при динамических воздействиях.

4.2.2. Методика и программа эксперимента

Методика испытаний. Возбуждение колебаний экспериментальных моделей (сооружений) осуществляется различными способами. При

проведении динамических испытаний НФС возбуждение колебаний выполнялось с помощью, установленной на специальную виброплатформу маятникового типа, вибромашины ВИД-12М (рис. 4.12).

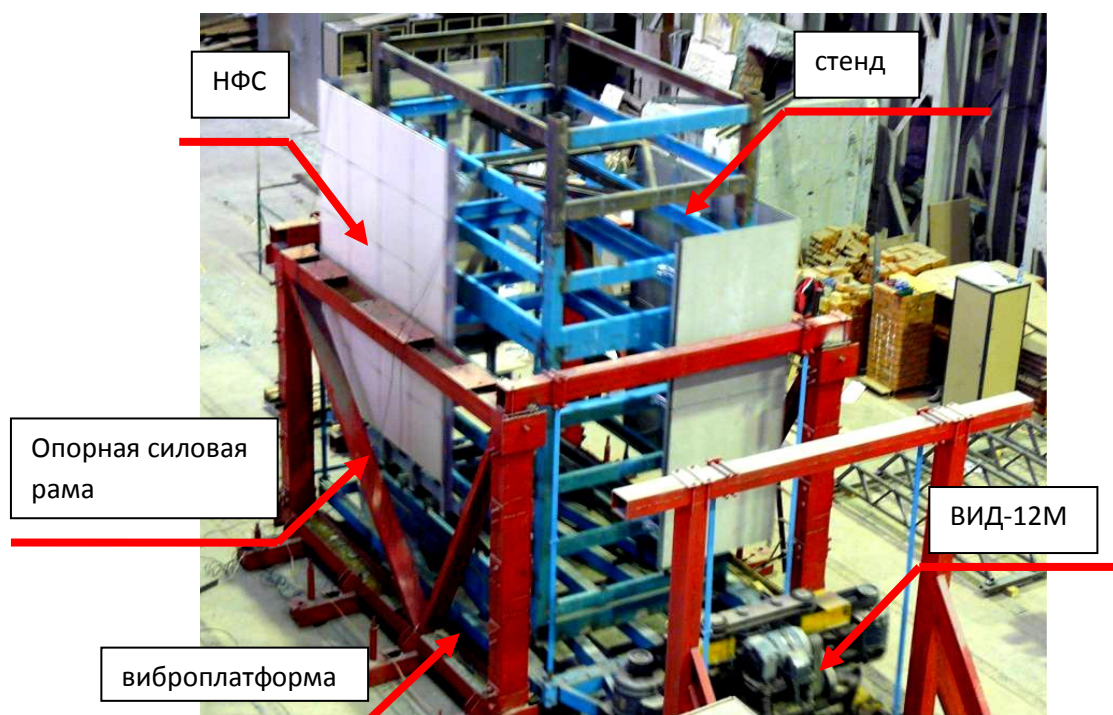


Рисунок 4.12 –Монтаж экспериментальной модели на виброплатформу

Программа динамических испытаний НФС на виброплатформе включает в себя следующие этапы:

– испытания системы проводятся с изменением частотного спектра от 0 до 10 Гц при фиксированной амплитуде перемещения виброплатформы;

– изменяется значение амплитуды и осуществляется задание частот в указанном выше спектре. Длительность каждого из указанных этапов динамического нагружения (при фиксированных амплитуде и частоте) системы составляет от 20 до 25сек.;

– после 1-го этапа испытаний устанавливаются уровни воздействий, соответствующие резонансным колебаниям системы, и уровни ускорений виброплатформы, соответствующие 7-9-ти балльным воздействиям по шкале MSK-64;

– по завершению испытаний НФС в соответствии с заданной программой изменения амплитудно-частотного спектра виброплатформы

проводятся повторные испытания системы при сочетаниях амплитудно-частотных параметров виброплатформы, соответствующих резонансным колебаниям системы и 7÷9-ти балльным воздействиям. Длительность динамических испытаний при указанных выше сочетаниях составляет 40-50сек.

Если в процессе испытаний имеют место разрушения или изменения конструктивной схемы НФС, разрабатываются способы повышения надежности НФС, и испытания повторяются.

Оборудование для испытаний. Средства измерения и регистрации динамических характеристик системы.

Для создания динамических воздействий на испытываемые образцы использовалась специальная виброплатформа маятникового типа, которая подвешена на гибких связях к опорной силовой раме. Рама закреплена жестко в силовой пол лабораторного корпуса. Активация платформы осуществляется с помощью вибромашины ВИД-12М, установленной на консоли маятниковой платформы (на рис. 4.13).

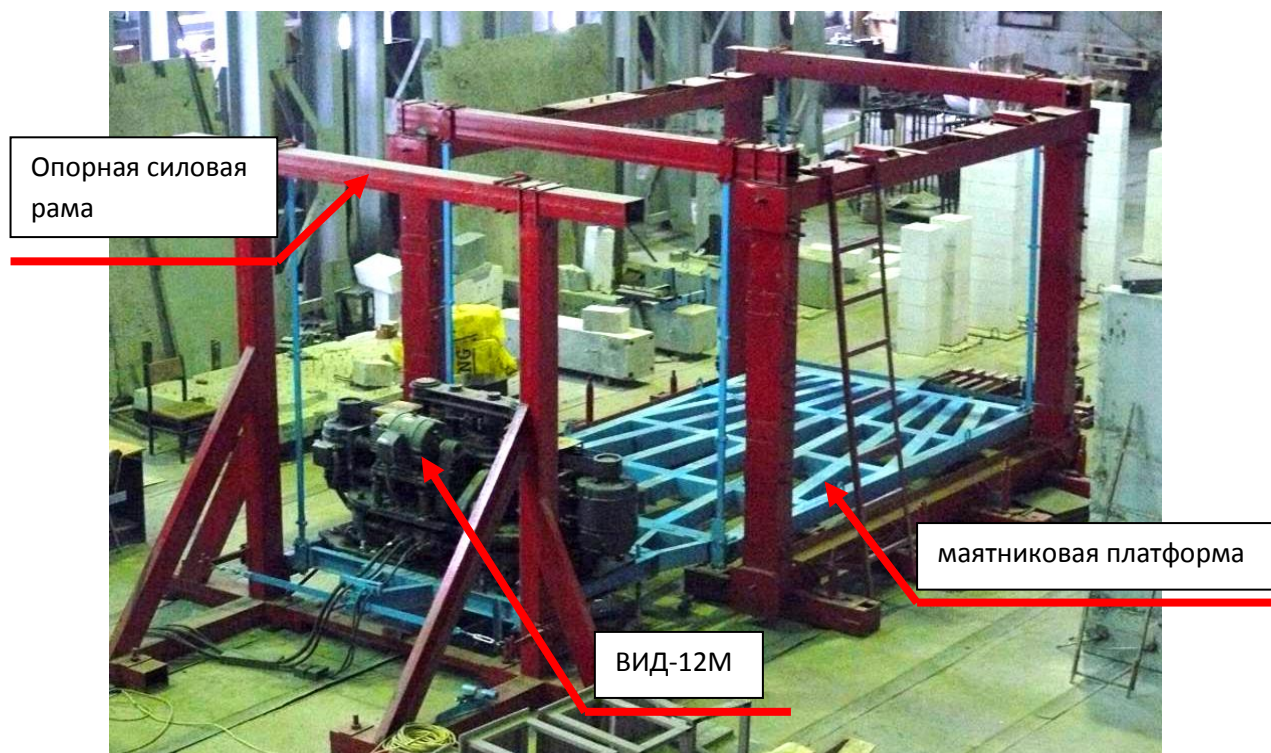


Рисунок 4.13 – Вибромашина ВИД-12М, установленная на консоли маятниковой платформы

Вибромашина ВИД-12М позволяет обеспечить необходимые параметры динамических воздействий на исследуемые образцы в широком диапазоне частот и инерционных нагрузок путем возбуждения механических колебаний платформы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На фото (рис. 4.12) показан общий вид виброплатформы с установленным на ней стендом, к которому крепится НФС.

С помощью пульта управления, расположенного в электрошкафу осуществляется управление ВИД-12М. Основные технические характеристики вибромашины ВИД-12М приведены в табл. 4.17

Основные технические данные машины ВИД-12М

Наименование параметра	Значение
Инерционная сила, развиваемая машиной при наибольшем радиусе дебалансов:	
- при 60 об/мин (1 Гц)	0,8 т
- при 180 об/мин (3 Гц)	7,0 т
- при 240 об/мин (4 Гц)	12,5 т
- при 300 об/мин (5 Гц)	20,0 т
Частотная характеристика	
- нижняя частота, Гц	0,4
- верхняя частота, Гц	25
Характер изменения частот	бесступенчатый

Инерционная сила ограничена величиной 12т, исходя из прочности отдельных деталей и веса вибромашины при любой скорости вращения.

Измерение и регистрация сигналов проводились при помощи специализированного измерительно-вычислительного комплекса МИС - 036, предназначенного для сбора, преобразования, регистрации, обработки, передачи и представления информации, поступающей с датчиков.

Измерительно-вычислительный комплекс осуществляет следующие функции:

- измерение, регистрацию и первичную обработку сигналов (частотных, дискретных и пр.), полученных в результате испытаний;
- отображение значений измеряемых величин или преобразованных параметров на мониторе;
- контроль значений измеряемых величин или преобразованных параметров;
- оценка результатов их измерения и преобразования;
- самодиагностику проводимых измерений (анализ работоспособности с возможностью вызова диагностических программ);

- архивацию результатов измерения и преобразования (хранение данных с возможностью просмотра и анализа);
- вывод текущих значений измеряемых параметров, кодов аварий и технологических сообщений на ЭВМ верхнего уровня;
- возможность подключения печатающих устройств, в том числе для оформления протоколов результатов измерений;
- возможность связи с другими системами (подключение в существующую локальную вычислительную сеть);
- возможность выдачи сигнала типа «сухой контакт» для включения сигнализации и использования в системах защиты;
- возможность выдачи тестовых аналоговых сигналов.

Измерительно-вычислительный комплекс МІС – 036 дополнительно укомплектован ноутбуком со специализированным пакетом прикладных программ и периферийных устройств, необходимых для автоматизированного процесса обработки сигналов, а также для документирования результатов обработки (рис. 4.14).

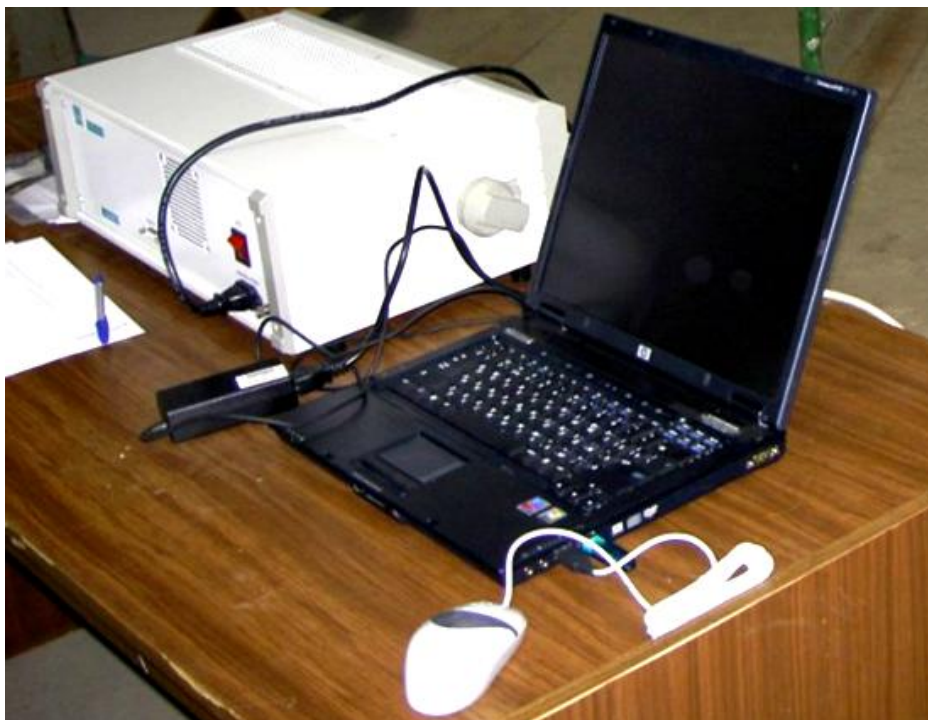


Рисунок 4.14 –Измерительно-вычислительный комплекс МІС-036

Для измерения ускорений, частот колебаний, а также динамических перемещений применяются однокомпонентные датчики – акселерометры АТ 1105 – 10м (рис. 4.15).

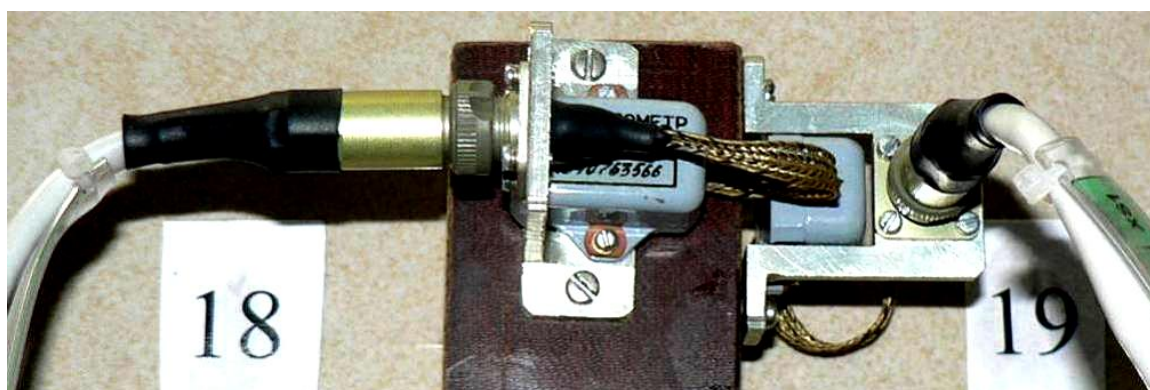


Рисунок 4.15 – Акселерометр АТ 1105 – 10м

Характеристики датчиков (акселерометров) представлены в таблице 4.18.

Таблица 4.18

Основные технические данные акселерометра АТ1105 – 10м

Наименование параметра	Значение
Электропитание от источника постоянного тока относительно средней точки, В	$\pm 12 \pm 12$
Диапазон измерения, м/с^2 (g)	98,1 (10,0)
Частотная характеристика - нижняя частота, Гц - верхняя частота, Гц	0 700
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	от +15 до +35

Точки расположения акселерометров выбирались из следующих условий:

- места, где по результатам расчетов ожидается развитие максимальных ускорений и перемещений;
- возможность одновременного определения относительных деформаций в разных координатных плоскостях;

Для контроля задаваемых нагрузок датчики были установлены на платформе, вблизи источника загрузки. Общее количество контролируемых точек (количество акселерометров) – 4. Схема расстановки датчиков показана на рис. 4.16. Датчики №1 и 2 устанавливались на НФС, датчики №3 и 4 – на платформе.

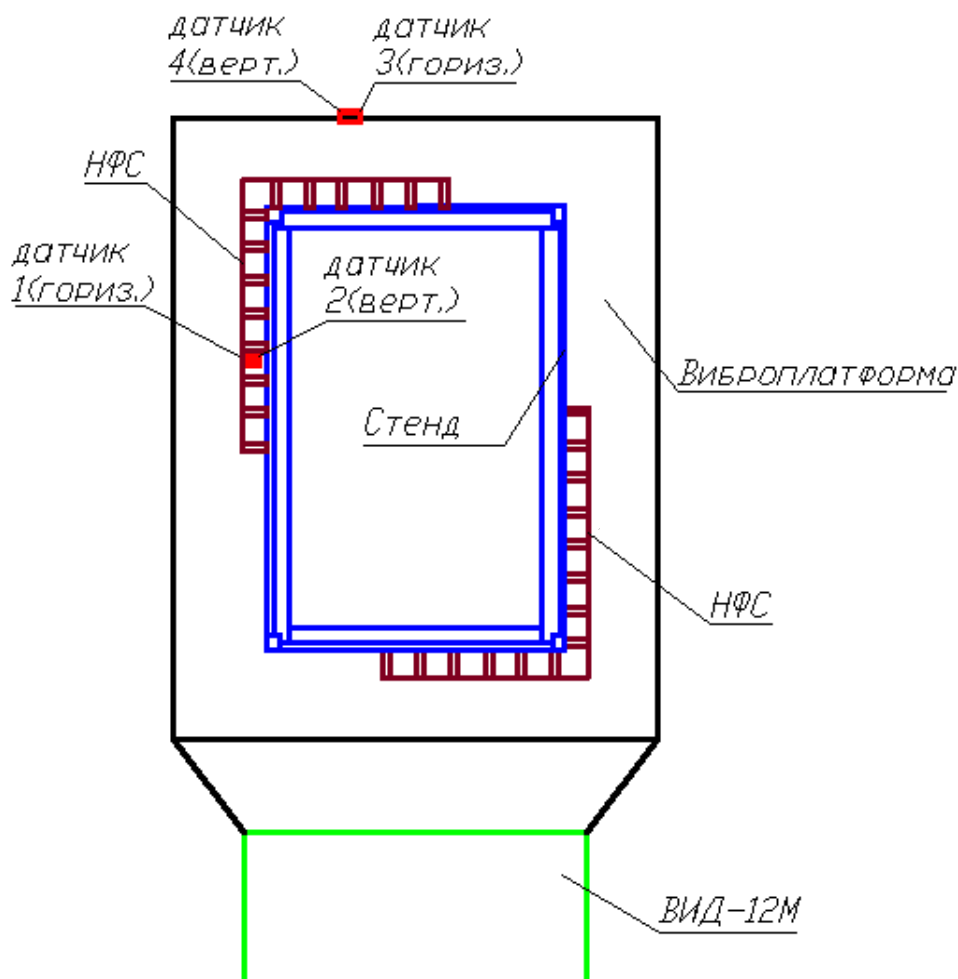


Рисунок 4.16 – Схема расстановки датчиков

4.2.3. Монтаж экспериментального фрагмента системы

Для испытаний был сконструирован специальный стенд, показанный на рис. 4.2, который представляет собой две металлические рамы, связанные между собой металлическими швеллерами для обеспечения общей жесткости конструкции стенда.

Компоновка несущих элементов стенда проводилась с учетом монтажных схем установки кронштейнов.

Монтаж конструкций НФС на стенд осуществлялся по следующей схеме:

1) Система навешивалась на металлические элементы стенда с помощью кронштейнов и шпилек.

2) Кронштейны и шпильки крепились к стальным элементам стенда с помощью болтов с гайками.

3) К кронштейнам и шпилькам с помощью гаек и болтов крепилась перфолента. Крепление перфоленты осуществлялась в вертикальном и горизонтальном направлениях.

4) Для крепления облицовки использовались кляммеры. Часть плит керамогранита была закреплена на фиксаторы.

Вылет системы составлял 200мм. Ниже на рис. 4.17 – 4.20 изображены фотографии крепления системы на стенд.

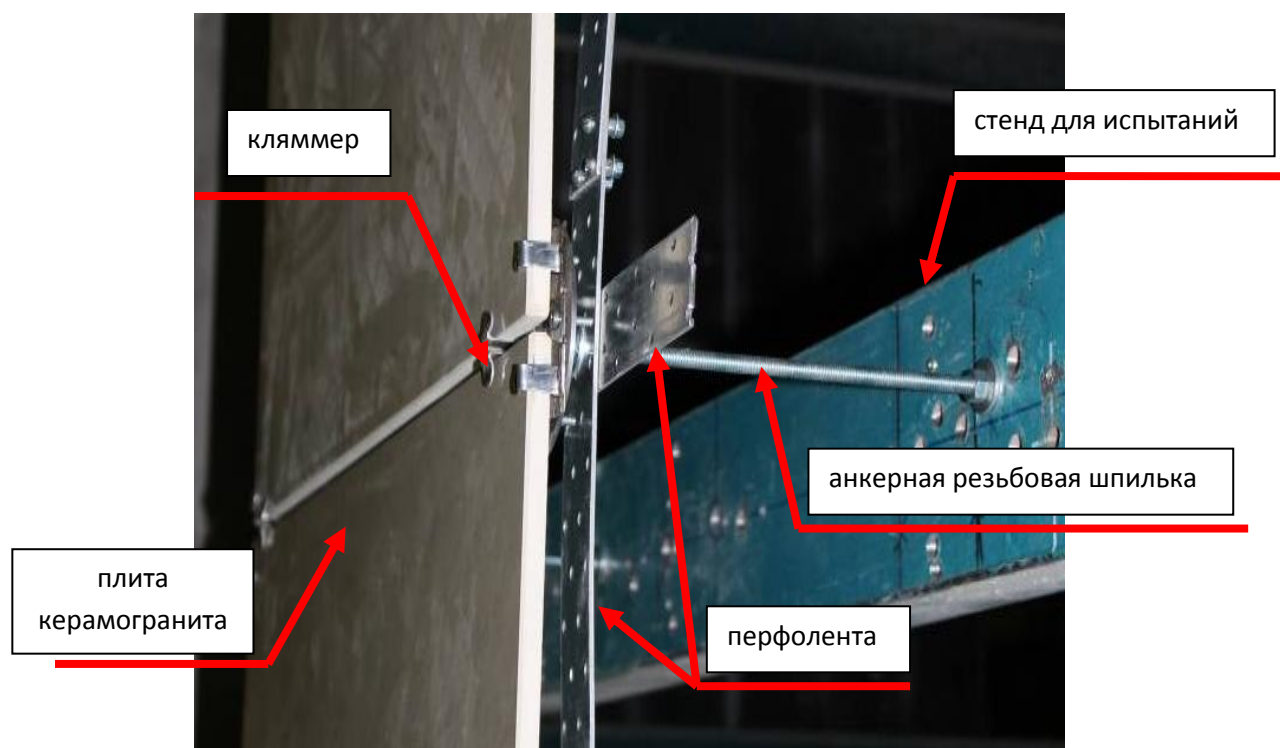


Рисунок 4.17 – Крепление керамогранита на кляммере в месте установки анкерной резьбовой шпильки

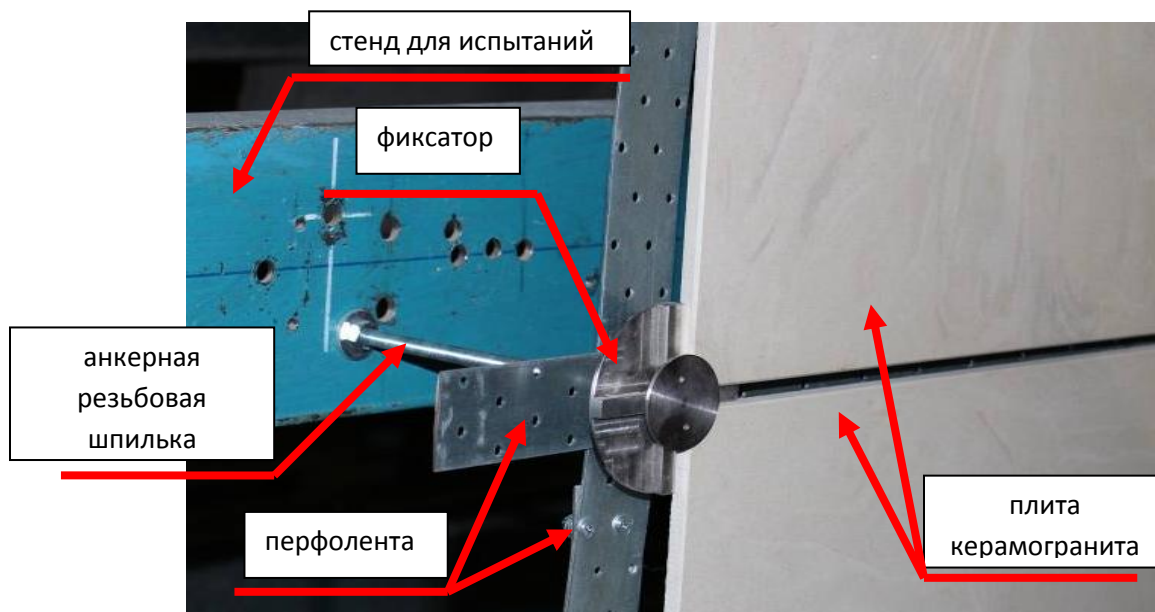


Рисунок 4.18 – Крепление керамогранита на фиксаторе к резьбовой шпильке

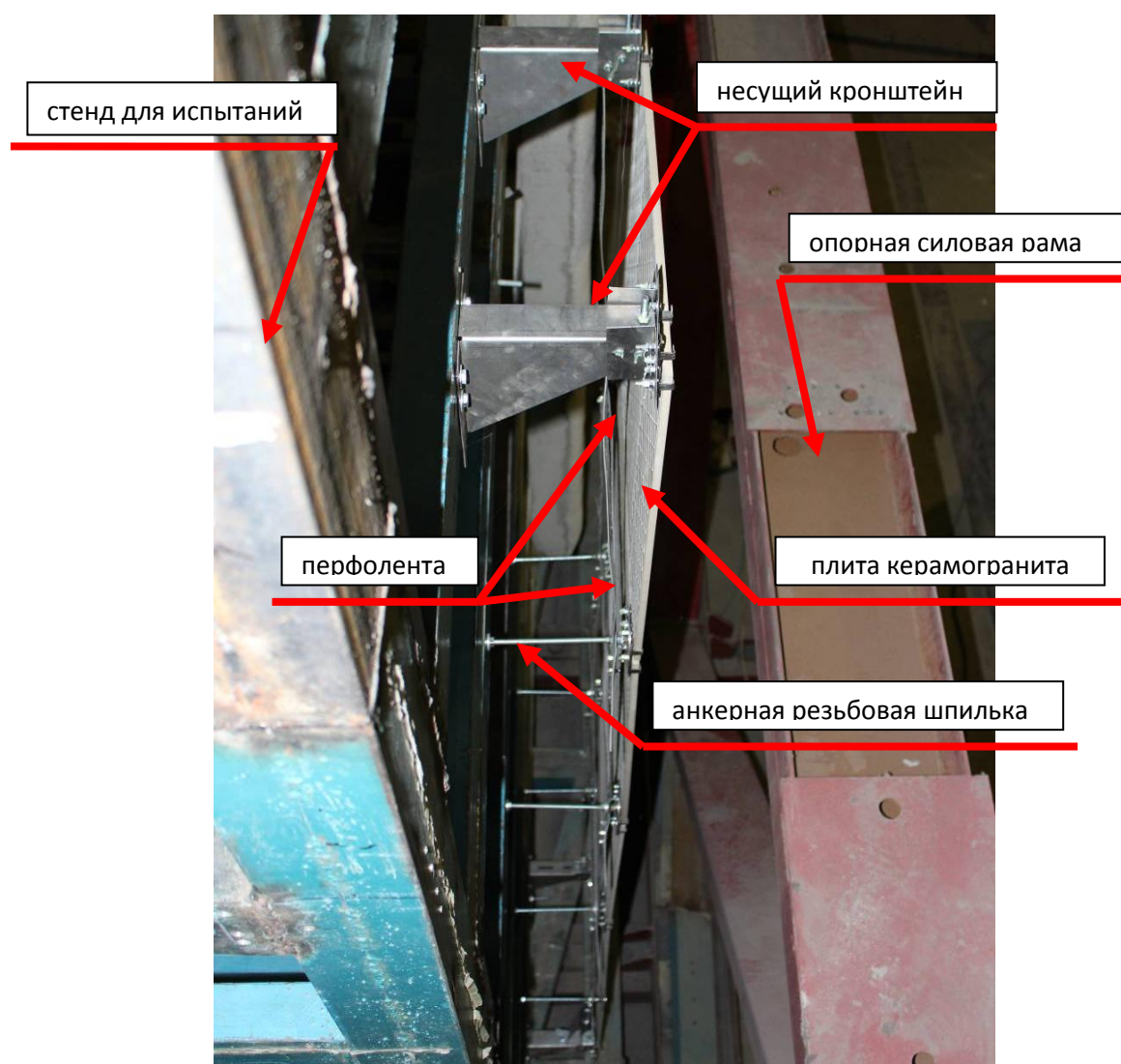


Рисунок 4.19 – Экспериментальная модель (вид сбоку)

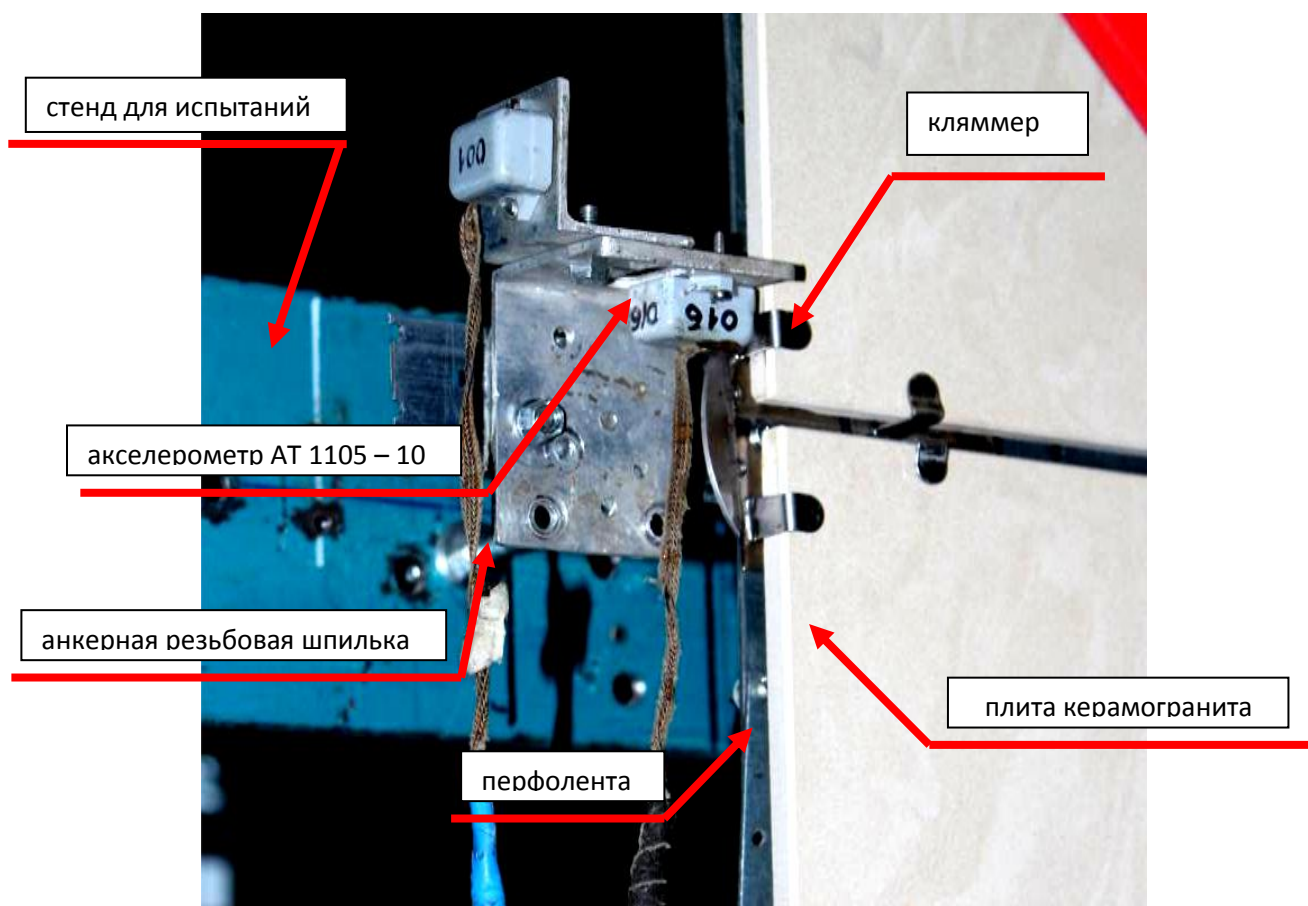


Рисунок 4.20 – Крепление датчиков

4.2.4. Анализ динамических характеристик и принципиальной работы системы с использованием вычислительного комплекса «WinПОС»

Испытания фрагментов НФС проводились вибрационным (резонансным) методом, который позволяет измерить количественно силовую нагрузку, имитирующую динамическое воздействие в широком диапазоне частот.

По данным вибрационных испытаний для конкретных уровней нагружения были определены амплитудно-частотные характеристики испытуемого фрагмента, представляющие зависимость амплитуд колебаний сооружения от частоты гармонического воздействия. По результатам обработки на ЭВМ с использованием специального программного комплекса «WinПОС» записей были построены графики зависимости изменения ускорений в различных точках модели от времени.

Изменяя частоту воздействия и амплитуды колебаний платформы, оценивались динамические характеристики (частоты основного тона колебаний, диссипативные свойства и пр.), а также принципиальный характер работы экспериментальной модели.

Параметры динамического нагружения назначались с учетом результатов расчетного анализа.

Этапы нагружения приведены в табл. 4.19 и выбраны так, чтобы иметь возможность оценить поведение НФС при резонансе. Указанные в таблице амплитудно-частотные характеристики и соответствующие им величины ускорений соответствуют значениям, полученным по данным акселерометров, установленных на виброплатформе.

Таблица 4.19

Параметры динамического нагружения платформы по данным датчиков
№ 1÷4

№ режима	Частота f (Гц)	Амплитуда A (мм)	Ускорение a (m/c^2)	Зона сейсмичности
1	4,7	1,3	1,13	7
2	5,4	2,4	2,80	6
3	6,2	2,5	3,78	6
4	6,4	2,6	4,13	9
5	3,4	3,1	1,41	7
6	4,4	2,3	1,72	7
7	5,0	3,6	3,51	6
8	5,7	2,9	3,73	6
9	5,9	3,7	5,08	9
10	3,7	6,1	3,27	6
11	4,1	7,1	4,72	9
12	5,0	6,5	6,45	9
13	5,1	5,8	5,90	9
14	5,3	5,0	5,54	9
15	2,9	10,6	3,53	6
16	3,4	10,1	4,61	9
17	3,7	11,9	6,42	9
18	4,4	10,2	7,77	
19	2,2	15,1	2,88	6
20	2,6	14,5	3,86	6
21	2,8	14,3	4,41	9
22	2,2	17,3	3,30	6
23	2,6	18,4	4,90	9
24	2,3	16,8	3,51	6
25	2,6	17,1	4,55	
26	2,1	20,3	3,53	6
27	2,2	21,5	4,10	9
28	5,7	0,9	1,16	7
29	6,3	2,1	3,27	6
30	7,2	2,0	4,00	9

В вычислительном комплексе WinПОС было выполнено центрирование акселерограмм и их фильтрация, которые приведены ниже, на рис. 4.21.

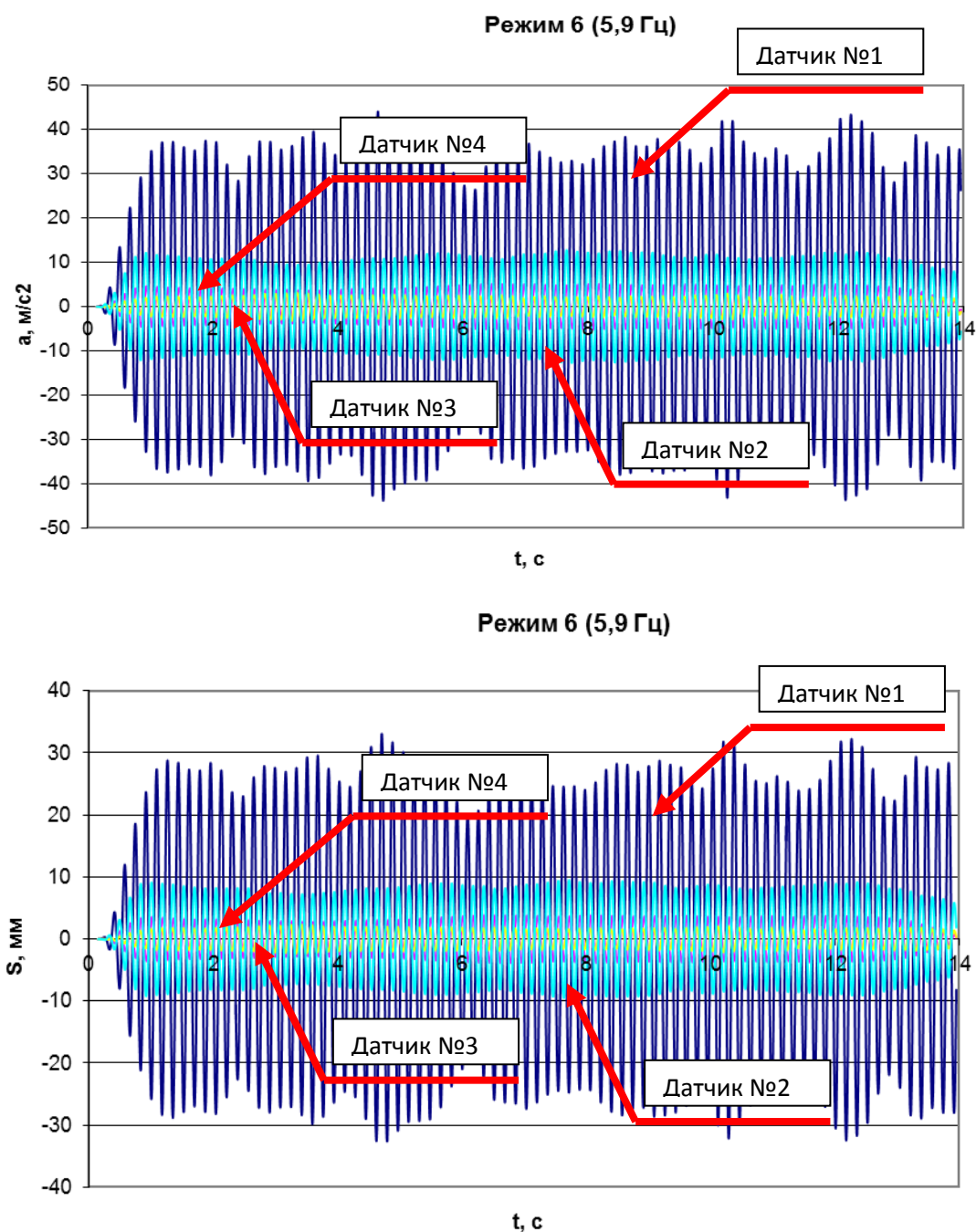


Рисунок 4.21 – Акселерограммы, записанные с датчиков 1÷4. Испытание фрагмента системы.

С помощью быстрого (дискретного) преобразования Фурье (в программном комплексе WinПОС – с помощью функции «автоспектр») были

построены спектры пиковых значений ускорений для датчиков на различных режимах. Спектры пиковых значений ускорений для одного из режимов испытания приведены ниже на рис 4.22.

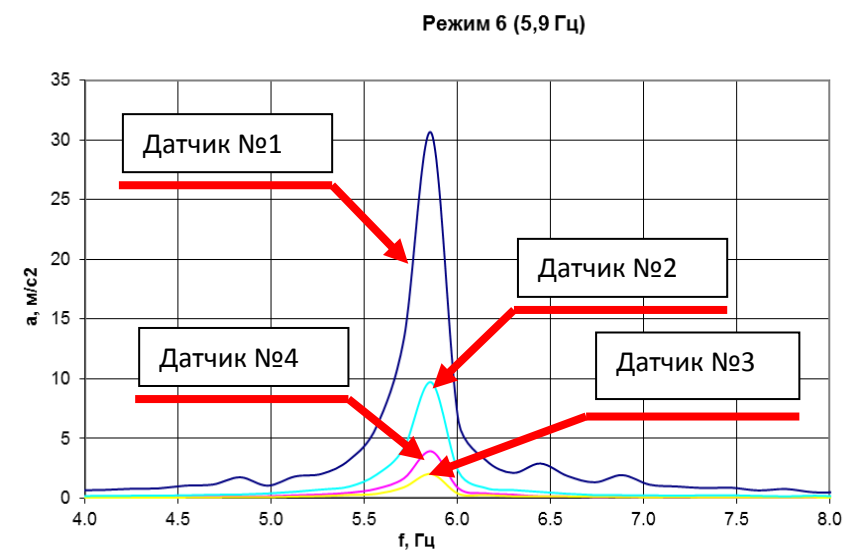


Рисунок 4.22 –. Спектры пиковых значений ускорений (м/с^2), для датчиков 1÷4. Испытание фрагмента системы.

Как видно на рис. 4.22, наибольшие значения ускорения системы возникало при частоте 5,8 Гц. Максимальное значения ускорения при отмеченной частоте зафиксировано на датчике №1 (фиксирующем динамические характеристики системы при горизонтальных колебаниях).

По спектрам были определены пиковые значения частот колебаний. Дважды интегрируя функцию акселерограммы, получены значения перемещений на различных этапах загрузки. Для анализа работы системы под действием динамических нагрузок были построены графики зависимости ускорений и перемещений от частот колебаний для испытанного макета системы, углового фрагмента системы и существующей типовой системы, получившей повреждения при проведении испытаний (см. Приложение № 1).

Анализируя графики ускорений и перемещений систем под действием динамических нагрузок, можно сделать следующие выводы:

1. Частоты собственных колебаний систем составили: испытанный макет системы – 5 Гц, фрагмента системы – 5-5,5 Гц, типовой системы – 4-5 Гц.

2. Максимальные ускорения при испытаниях: макет системы – 25 и 4,5 м/с² для горизонтальных и вертикальных колебаний соответственно; фрагмент системы – 45 и 13 м/с²; типовая система, получившая повреждения в процессе испытаний – 14 и 6 м/с².

3. Максимальные перемещения при испытаниях: макет системы – 42 и 5 мм для горизонтальных и вертикальных колебаний соответственно; фрагмент системы – 37 и 9,5 мм; типовая система – 55 и 3 мм.

Сравнительный анализ результатов динамических испытаний типового фрагмента навесной фасадной системы, широко используемой в отечественной практике, и разработанной в диссертации конструкции позволяют отметить следующее:

1. Динамические параметры системы при вертикальных колебаниях характеризуются следующим образом:

- до 3 Гц (рис. 4.23, 4.24) значения ускорений платформы как у элементов подконструкции на гибких связях, так и у типовой системы совпадают;

- от 3 до 4 Гц – величины ускорений несущих элементов подконструкции типовой системы выше, чем у платформы на 40÷50% (рис. 4.24), величины же ускорений у несущих элементов подконструкции на гибких связях ниже, чем у платформы на 20÷25% (рис. 4.23);

- в интервале частот от 4 до 6 Гц (основной частотный спектр типовых решений монолитных зданий) величины ускорений элементов типовой системы и платформы практически совпадают (рис. 4.24), ускорения же у несущих элементов системы на гибких связях ниже, чем у платформы на 40% (рис. 4.23).

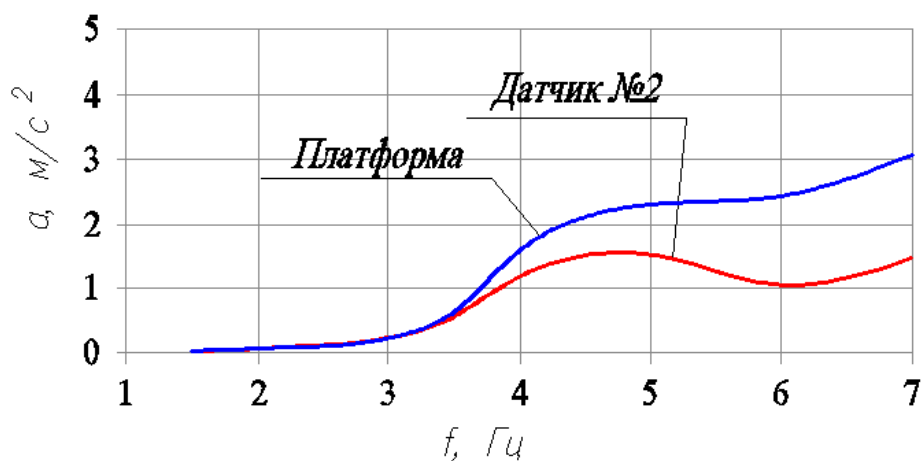


Рисунок 4.23 – Графики зависимости ускорения от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание навесной фасадной системы на гибких связях

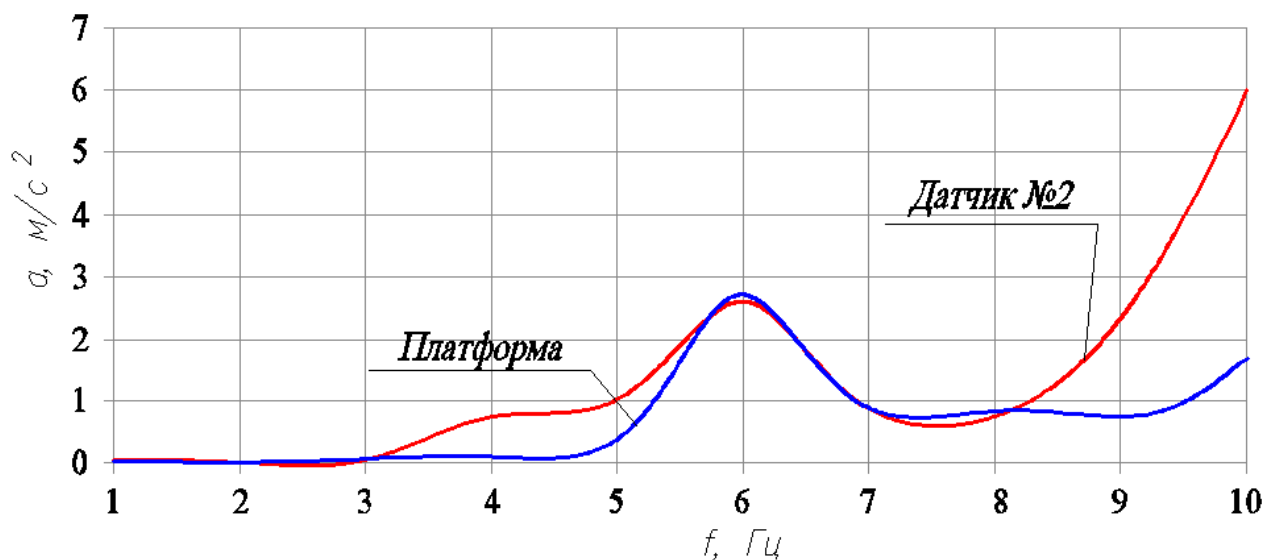


Рисунок 4.24 – Графики зависимости ускорения от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание типовой навесной фасадной системы

2. Динамические параметры системы при горизонтальных колебаниях характеризуются следующим образом:

- до 2 Гц (рис. 4.25, 4.26) значения ускорений платформы как у элементов подконструкции на гибких связях, так и у типовой системы совпадают;

- от 3 до 5 Гц – величины ускорений несущих элементов подконструкции типовой системы выше, чем у платформы на 35÷40% (рис.

4.26), величины же ускорений у несущих элементов подконструкции на гибких связях ниже, чем у платформы на 20÷25% (рис. 4.25);

- в интервале частот от 4 до 6 Гц (основной частотный спектр типовых решений монолитных зданий) величины ускорений элементов типовой системы выше, чем у платформы на 40% (рис. 4.26).

- ускорения же у несущих элементов системы на гибких связях совпадают с ускорениями платформы при частоте 4,2 Гц (рис. 4.25);

- при испытаниях типовой системы навесного фасада при резонансе (когда собственные частоты колебаний системы совпали с вынужденными частотами колебаний виброплатформы) имело место разрушение отдельных элементов конструкции. При испытаниях макета в момент резонанса, каких либо повреждений системы не установлено, что связано с наличием эффекта гасителей, которыми являются гибкие связи.

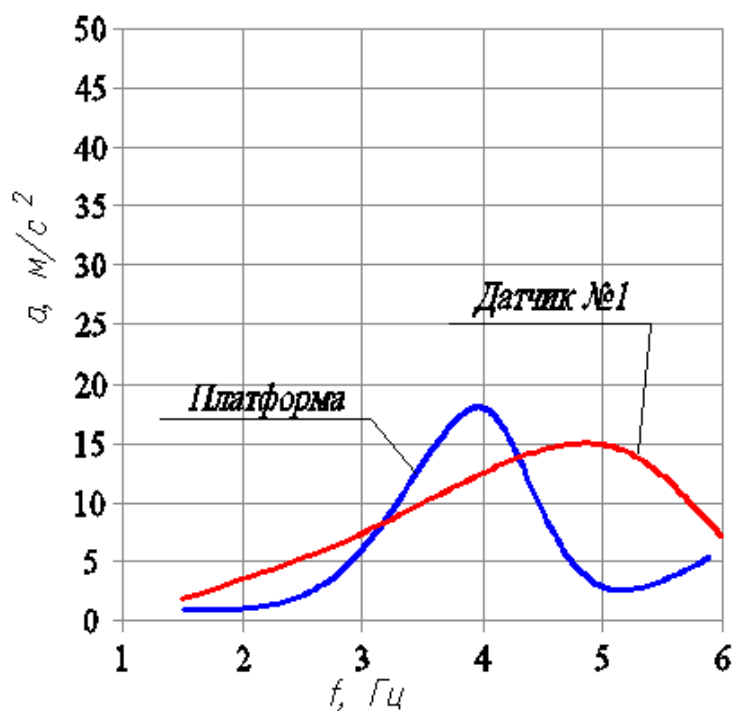


Рисунок 4.25 – Графики зависимости ускорения от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание системы на гибких связях

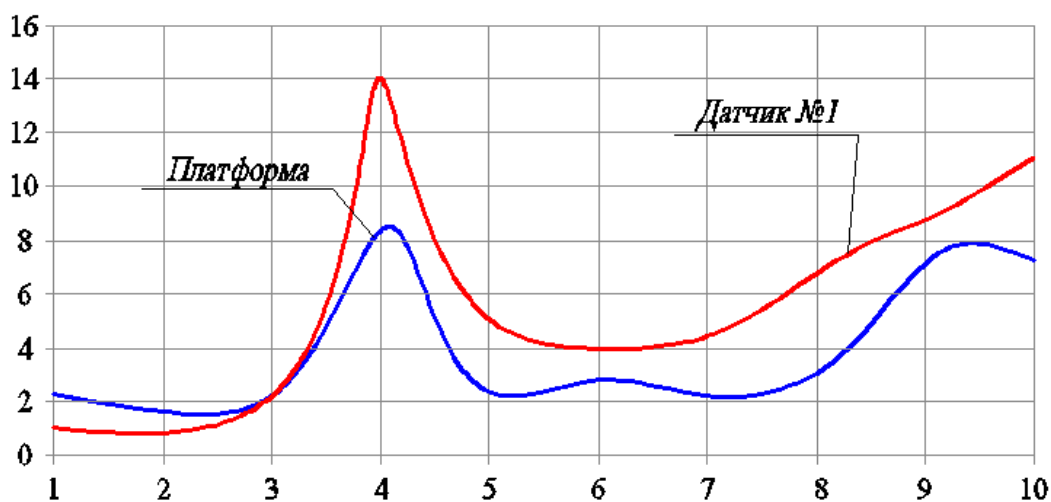


Рисунок 4.26 – Графики зависимости ускорения от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание типовой навесной фасадной системы

Таким образом, анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод, что применение гибких связей вместо жестких, применяемых в типовых системах, позволяет демпфировать (то есть погасить энергию динамических воздействий) колебания системы и, тем самым, понизить уровень ускорений и, соответственно и надежность фасадной системы при динамических воздействиях. В этом и проявляется эффективность предложенной в диссертации конструкции навесного фасада, по сравнению с применяемыми в отечественной практике навесными фасадами с облицовкой в виде керамогранитных плит.

4.2.5. Оценка эксплуатационной пригодности системы при использовании ее в зданиях повышенной этажности и в условиях динамических воздействий

Основным свойством, определяющим надежность строительных конструкций при воздействии динамических нагрузок, является ее способность сохранять определенные эксплуатационные свойства, характеризующиеся предельными состояниями в соответствии с [40].

Параметры предельных состояний непосредственно НФС для идентификации их технического состояния в настоящее время отсутствуют и

являются предметом отдельного исследования. В связи с этим, а также для целей настоящего исследования по заказу ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко предложен нижеследующий подход.

Предельные состояния НФС предложено подразделять на две группы:

- первая группа включает предельные состояния, которые ведут к полной непригодности к эксплуатации конструкции НФС или к полной (частичной) потере несущей способности ее основных элементов и креплений;

- вторая группа включает предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию НФС.

Предельные состояния первой группы характеризуются:

- разрушением креплений и элементов НФС любого характера (пластическим, хрупким, усталостным);

- потерей устойчивости формы составных элементов НФС, приводящей к полной непригодности системы;

- потерей устойчивости положения элементов и узлов соединений НФС;

- переходом НФС или ее части в изменяемую систему;

- качественным изменением конфигурации;

- другими явлениями, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации (например, чрезмерными деформациями в результате сдвига в соединениях, раскрытия швов и пр.).

Уровень внешнего воздействия определяется по результатам натуральных испытаний и принимается в сравнении с данными инструментальной части макросейсмической шкалы MSK-64 по ГОСТ Р 22.0.03-95, которые приведены в таблице 4.20.

В качестве меры повреждений основной несущей системы принята описательная часть макросейсмической шкалы MSK-64 в соответствии с параметрами внешнего воздействия. В таблице 4.21 даны критерии для

оценки сейсмостойкости фасадных систем. За основу приняты критерии, приведенные в исследованиях [78].

Таблица 4.20

Соответствие уровня воздействия инструментальным значениям ускорений

I, балл, MSK-64	Ускорения A[57], м/с ²	Ускорения A согласно MSK-64, м/с ²	Ускорение A _p по СНИП-II-7-81*, м/с ²
5	-	-	-
6	0,28-0,56	0,25-0,50	0,50
7	0,56-1,12	0,50-1,00	1,00
8	1,12-2,24	1,00-2,00	2,00
9	2,24-4,48	2,00-4,00	4,00
10	-	-	-

Таблица 4.21

Критерии для оценки безопасности эксплуатации фасадных систем с облицовкой керамогранитными плитами в условиях динамических воздействий

Степень повреждений, d	Уровень повреждения	Характерные особенности и количественные показатели повреждения	Группа предельных состояний	Мах. смещения НФС, см
0	Повреждений нет	Видимых повреждений нет		
I	Легкие повреждения	- смещение плиток относительно опорных элементов (кляммеров) не более 0,5 см; - отдельные мелкие сколы плиток;	I	-
II	Легкие повреждения конструкций	- смещение плиток относительно опорных элементов (кляммеров) на 0,5 – 1,0 см; - сколы плиток на площади до 5%;		< 2,0
III	Умеренные повреждения конструкций	- незначительная потеря устойчивости формы составных элементов и узлов НФС; - смещение плиток относительно опорных элементов (кляммеров) на 1 – 1,5 см; - сколы плиток на площади до 10%; - выпадение плиток местами; - отдельные повреждения заклепочных соединений в виде смещений осей заклепок от проектного положения.		2,0 – 8,0
IV	Сильные повреждения конструкций	- частичная потеря устойчивости формы составных элементов и узлов соединений. В том числе: - местные прогибы отдельных элементов несущих конструкций (кронштейны, направляющие); - относительные смещения плиток НФС более 1,5 см; - выпадение плиток на площади до 20%.	II	> 8,0
V	Обрушение	- разрушения креплений и элементов НФС любого характера; - полная потеря устойчивости формы составных элементов и узлов соединений НФС; - переход НФС или ее части в изменяемую систему; - качественное изменение конфигурации НФС и ее элементов; - чрезмерные деформации в результате сдвига в соединениях раскрытия швов между элементами системы, раскрытие швов; - выпадение плиток на площади более 50%;		

Анализ результатов натуральных динамических испытаний НФС позволяет отметить следующее:

- в процессе испытаний ускорение виброплатформы по данным акселерометров, установленных на ней, изменялось в интервале от 1,13 до 7,77 м/с². Частоты колебания системы изменялись в интервале от 2,1 до 7,2 Гц, амплитуды колебаний системы – от 0,9 до 21,5 мм. При этом ускорение в разных точках фасадной системы изменялось в интервале от 0,01 до 24,84 м/с²;

- во время испытаний в момент, когда собственные частоты колебаний НФС совпали с вынужденными частотами колебаний виброплатформы, НФС вошла в резонанс. Это явление наблюдалось на разных этапах нагружения при частоте $f=4.4$ Гц;

- при резонансе эксплуатационная надежность НФС не была нарушена;
- для выявления наиболее слабых элементов конструктивного решения.

НФС при испытании была увеличена длительность цикла загрузки до 60-90 секунд. Разрушение системы произошло в результате чрезмерных деформаций кляммеров (рис. 4.27, 4.28).

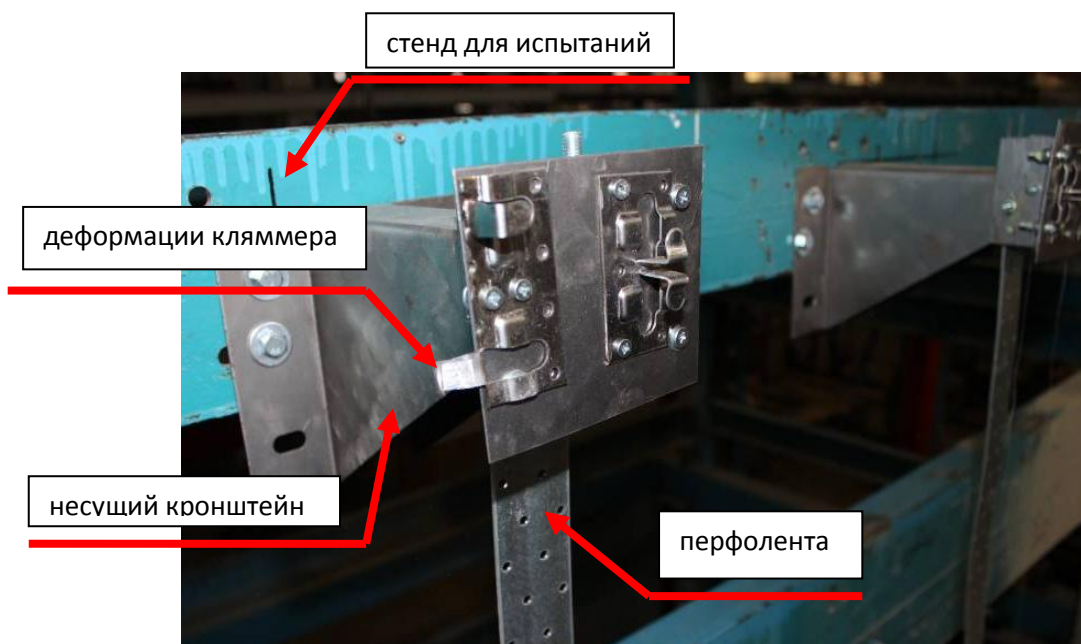


Рисунок 4.27 – Деформации кляммера на несущем кронштейне (разрушение системы)

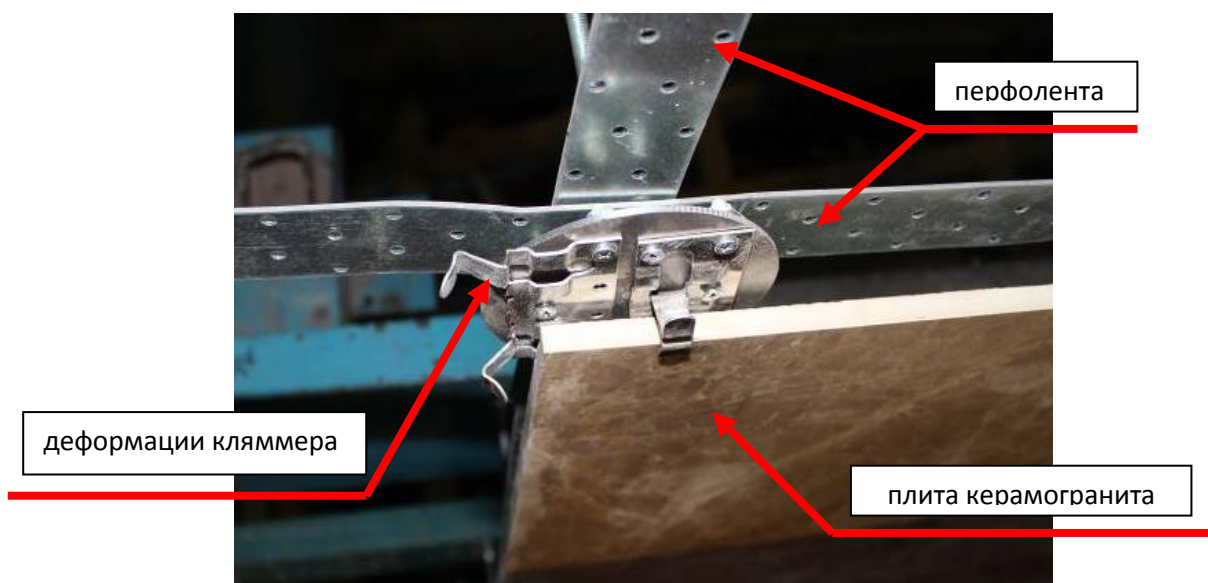


Рисунок 4.28 – Деформации кляммера на резьбовой шпильке
(разрушение системы)

- следует отметить, что керамогранитные плиты, закрепленные с помощью фиксаторов, прошли все циклы испытаний.

В Приложении 1 приведены акселерограммы и спектры пиковых значений амплитуд и ускорений, записанные с датчиков. На представленных акселерограммах сопоставлены ускорения на уровне платформы, а также на элементах фасадных систем при различных режимах нагружения. Кроме того, построены амплитудно-частотные характеристики, позволяющие оценить разность перемещений и ускорений в различных точках испытываемого образца при колебаниях с заданной частотой.

Выводы по главе

1. По результатам прочностных расчетов НФС по инженерной методике определены значения предельно допустимых нагрузок на элементы системы. Установлены значения максимальных напряжений и перемещений, возникающих под действием эксплуатационных статических нагрузок в зависимости от высоты здания и ветрового района строительства. Выявлено следующее:

– коэффициент использования по гибкости в плоскости X_0Y по длине анкерной резьбовой шпильки составил 0,667;

– из условия несущей способности шпильки при сжатии максимально допустимая сжимающая сила $N = 5,700$ кН выше фактической (действующей на узловое соединение в 7 ветровом районе при высоте здания 75 м) $P = 1,628$ кН на 71%;

– из условия прочности максимально допустимая вертикальная нагрузка на узловое соединение несущего кронштейна $N = 17,123$ кН выше фактической (действующей на узловое соединение в 7 ветровом районе при высоте здания 75 м) $P = 0,545$ кН на 96%;

– из условия деформативности максимально допустимая вертикальная нагрузка на узловое соединение несущего кронштейна $N = 352,139$ кН выше фактической (действующей на узловое соединение в 7 ветровом районе при высоте здания 75 м) $P = 0,545$ кН на 99%.

Значительный запас несущей способности элементов НФС обусловлен особенностями конструктивного решения, которое не предполагает повышения материалоемкости в сравнении с типовыми системами.

2. На основе численных исследований в вычислительном комплексе «ЛИРА» впервые смоделировано напряженно-деформированное состояние несущей конструкции НФС под действием эксплуатационных статических нагрузок с учетом совместной работы всех её элементов. Определен характер работы всех элементов НФС.

3. На основании численного анализа определена оптимальная с точки зрения инженерной точности расчета сетка разбиения расчетной конечно-элементной модели системы, которая составила $2,5 \times 2,5$ мм.

4. Сравнительный анализ результатов прочностного расчета по инженерной методике и численных исследований НФС показал, что значения напряжений, полученных в результате расчета по инженерной методике, превосходят напряжения, полученные в вычислительном комплексе «ЛИРА» не более чем на 10%. Это обуславливается тем, что при расчете в вычислительном комплексе учитывалась совместная работа всех элементов НФС.

Установлено, что расчет в вычислительном комплексе является более точным в сравнении с инженерным расчетом. Завышенные значения напряжений, полученные при аналитическом расчете, соответствуют инженерной точности расчета и обеспечивают дополнительный запас прочности элементов системы.

5. Исследования НФС на действие статических и динамических нагрузок в вычислительном комплексе «ЛИРА» подтвердили достаточную прочность и деформативность конструктивного решения для применения его на зданиях высотой до 75 м во всех ветровых районах России.

6. В соответствии с программой экспериментальных исследований на виброплатформе были проведены динамические испытания НФС с облицовкой керамогранитными плитами. При динамических испытаниях моделировались нагрузки, соответствующие сейсмическим воздействиям 7÷9 баллов, а так же пульсационному воздействию ветра на высоте 75 м.

7. В процессе испытаний ускорение виброплатформы по данным акселерометров изменялось в интервале от 1,13 до 7,77 м/с². Частоты колебания системы изменялись в интервале от 2,1 до 7,2 Гц, амплитуды колебаний системы – от 0,9 до 21,5 мм. При этом ускорение в разных точках фасадных систем изменялось в интервале от 0,01 до 24,84 м/с².

8. Во время испытаний в момент, когда собственные частоты колебаний НФС совпали с вынужденными частотами колебаний виброплатформы, НФС вошла в резонанс. Это явление наблюдалось на разных этапах при частоте $f=4.4$ Гц. При резонансе эксплуатационная надежность НФС не была нарушена.

9. Для выявления наиболее слабых элементов конструктивного решения. НФС при испытании была увеличена длительность цикла загрузки до 60-90 секунд. Разрушение системы произошло в результате чрезмерных деформаций кляммеров.

10. Как показали испытания, предложенная конструктивная система с гибкими связями при использовании облицовки в виде керамогранитных плит хорошо демпфирует колебания. Наличие в конструктивной схеме НФС гибких связей привело к рассеиванию энергии системы от действия динамической нагрузки и, как следствие этого, к уменьшению ускорений НФС. Указанный фактор весьма важен при проектировании конструкций зданий, возводимых в условиях динамических воздействий.

11. НФС с облицовкой керамогранитными плитами может быть рекомендована для применения в районах РФ с сейсмичностью 7÷9 баллов при соблюдении геометрических параметров и конструктивной схемы, принятых в экспериментальной модели.

12. Анализ экспериментальных исследований показал, что разработанная система обладает большей жёсткостью в сравнении с существующей типовой системой аналогичной материалоемкости.

13. Даны предложения для повышения эксплуатационной надежности узловых элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана навесная фасадная система на гибких связях с узловым креплением керамогранитных плит для строительства и реконструкции зданий высотой до 75 метров, характеризующаяся повышенным сопротивлением теплопередаче и меньшей материалоемкостью в сравнении с существующими аналогами.

2. Получена картина трехмерного распределения температуры в стационарном поле разработанной конструкции (с гибкими связями) и существующей (с жесткими связями) на основе численного анализа тепловой эффективности наружных стен зданий с навесными фасадными системами.

3. Установлено, что разработанная конструкция фасадной системы с гибкими связями обладает большим приведенным сопротивлением теплопередаче, чем существующие системы с жесткими связями, в среднем на 11%.

4. Получены значения коэффициентов теплотехнической неоднородности разработанной ($\gamma = 0,753$) и существующих ($\gamma = 0,668$) конструкций, которые можно рекомендовать для использования в инженерных теплотехнических расчетах при проектировании зданий.

5. Усовершенствована методика теплотехнического расчета наружных стен применительно к навесной фасадной системе на гибких связях, позволяющая учесть все теплопроводные включения в ограждающей конструкции и снизить трудоемкость расчета.

6. Установлено, что применение разработанной конструкции на гибких связях в навесных фасадных системах обеспечивает снижение затрат на отопление здания в среднем на 6-10%.

7. На основе анализа результатов испытаний существующих и разработанной систем на динамические нагрузки, предложены критерии оценки безопасной эксплуатации конструкций с облицовкой керамогранитными плитами, позволяющие определять группу предельных

состояний испытываемой конструкции в зависимости от характерных особенностей и количественных показателей повреждений.

8. По результатам экспериментальных исследований установлено, что наличие в конструкции гибких связей позволяет хорошо демпфировать колебания от действия динамических нагрузок.

9. Выявлено, что материалоемкость системы на гибких связях до 30% ниже материалоемкости существующих фасадных систем с жесткими связями.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Исследования возможности использования стеклопластика в качестве материала несущей конструкции на гибких связях для обеспечения тепловой эффективности и несущей способности систем навесного фасада.

2. Совершенствование системы на гибких связях с узловым креплением облицовки применительно к другим видам отделки, в том числе и к кассетам из композитного материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом технических решений. Конструкция навесной фасадной системы с воздушным зазором «ВМ МП КВ» с облицовкой керамогранитом. ООО «ПК Металл Профиль – Лобня» 2008. 39с.
2. Альбом технических решений фасадной системы с воздушным зазором для облицовки плитами из керамогранита с видимым креплением. DVF-11 Doksal, 2012. С 1-25.
3. Альбом технических решений фасадной системы "РУСЭКСП" с облицовкой керамогранитными плитами. ООО "Атлас Москва", 2012. 37с.
4. Альбом технических решений. Конструкция навесной фасадной системы с воздушным зазором «ПРЕМЬЕР - Керамогранит» для облицовки плитами из керамогранита, гранита и искусственных камней. Екатеринбург: ООО «Центр фасадов ПРЕМЬЕР», 2012. 83с.
5. Альбом технических решений. Навесная фасадная система с воздушным зазором «Алюмакс-ПК-ВК-В» с облицовкой плитами из керамического гранита и плитами из фиброцемента с видимым креплением на кляммерах и утеплением наружных стен зданий и сооружений различного назначения. М.: ООО «Главстрой-инжиниринг», 2008, 54с.
6. Альбом технических решений «ВИДНАЛ-ПК-ВК». ООО «РусАлюмСтрой», 2006. 27с.
7. Альбом технических решений. Системы вентилируемых фасадов «ZIAS-100.01» для крепления в межэтажные перекрытия. Облицовка плитами из керамогранита с видимым креплением. г. Барнаул: ООО «АЛЮКО-СЕРВИС», 2012 г. С. 1–32.
8. Альбом технических решений «Системы вентилируемых фасадов «ZIAS-100.02». Облицовка фиброцементными панелями с видимым креплением». Барнаул: ООО «АЛЮКО-СЕРВИС», 2011 г. С. 1–16.
9. Альбом технических решений. АТР 10-2012 «СИСТЕМЫ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ Градо-СтЦ, Градо-СтН. Конструкция навесной фасадной системы из нержавеющей и оцинкованной стали с

воздушным зазором с использованием керамогранитных плит». М.: ООО «Градо», 2012. С. 1–11.

10. Альбом технических решений. АТР 20-2013 «СИСТЕМЫ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ Градо-СтЦ, Градо-СтН. Конструкция навесной фасадной системы из нержавеющей и оцинкованной стали с воздушным зазором с использованием фиброцементных плит и плит с декоративным покрытием» М.: ООО «Градо», 2013. С. 1–15.

11. Альбом технических решений. АТР 40-2013 «СИСТЕМЫ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ Градо-СтЦ, Градо-СтН. Конструкция навесной фасадной системы из нержавеющей и оцинкованной стали с воздушным зазором с использованием натурального и искусственного камня». М.: ООО «Градо», 2013. С. 1–16.

12. Блюджюс Р.А., Самаяаускас Р.А. Воздействие передвижения воздуха на теплопередачу конструкций с теплоизоляцией из минераловатных плит // Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях: Материалы шестой научно-технической конференции. Москва, НИИСФ, 26 – 28 апреля, 2001г., С. 157-188.

13. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2006. 400 с.

14. Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3 (8). С. 1–11.

15. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал . 2012. №8(34). С. 4–14.

16. Ватин Н.И., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №2(17). С. 82–106.

17. Ватин Н.И., Немова Д.В., Горшков А.С., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. Технико-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №8(23). С. 93–115.

18. Ватин Н.И., Немова Д.В. Повышение энергоэффективности зданий детских садов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. №3. С. 52–76.

19. Вентилируемый зазор фасадных систем: Методические указания/ М.В. Петроченко. СПб, 2007. С. 1–12.

20. Гагарин В.Г. Основные аспекты исследования долговечности вентилируемых фасадов // Доклад Международной конференции МКДЗ-07, Санкт-Петербург, октябрь 2007г., С. 1–6.

21. Гагарин В.Г. О некоторых теплотехнических ошибках, допускаемых при проектировании вентилируемых фасадов // АВОК. 2005. № 2. С. 52–58.

22. Гагарин В.Г. Теплотехнические ошибки, допускаемые при проектировании вентилируемых фасадов // Лучшие фасады. каталог весна 2005. С. 1–6.

23. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // Строительные материалы. 2013. №6. С.14-17.

24. Гагарин В.Г., Иванюга В.И., Казакевич А.В., Клименков А.И., Колесников Р.В., Литуненко Г.И., Оганесян М.Г., Панкрушман А.А., Столяров С.В., Цыкановский Е.Ю. Качество фасадных систем // СтройПРОФИль. 2005. №1(39). С 48–54.

25. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Достоинства и недостатки применения ветрозащитных плёнок в вентилируемых фасадах // Строй ПРОФИль. 2008. №1. С. 29–33.

26. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Методика проверки выпадения конденсата в воздушном зазоре вентилируемого фасада // Научно-техническая конференция, посвященная 50-летию НИИСФ РААСН. 25-27 сентября 2006 г., Москва. В кн. Строительная физика в XXI веке. С. 73–80.
27. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О комплексном показателе тепловой оболочки здания // АВОК. 2010. №4. С.1–10.
28. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.
29. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. №8. С. 2–6.
30. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Садчиков А.В., Мехнецов И.А. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях. Метод оценки теплозащиты стены здания с вентилируемым фасадом с учетом продольной фильтрации воздуха // АВОК. 2005. №8. С. 60–70.
31. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Сидчиков А.В. О влиянии продольной фильтрации воздуха на теплозащиту стен с вентилируемым фасадом // СтройПРОФИль. 2005. №6. С. 34 – 36.
32. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором. Часть 1 // АВОК. 2004. №2. С. 20–26.
33. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором // АВОК. 2004. № 2. С. 27–29.
34. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором // АВОК. 2004. № 3. С. 20–26.
35. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором. Часть 2 // АВОК. 2004. №3. С. 27–29.
36. Гликин С.М., Кодыш Э.Н. Навесные фасадные системы с эффективной теплоизоляцией и вентилируемым воздушным зазором // Промышленное и гражданское строительство. 2008. №9. С. 36–37.

37. Грановский А.В. К оценке анкерных креплений фасадных конструкций к стенам из ячеистобетонных блоков. // Технологии строительства. 2008. №6. С.6–11.

38. Гузачев А.Н. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены здания, ослабленной теплопроводными включениями в виде крепежного каркаса вентилируемого фасада (!ЧЛ/ЕМТ) / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2004611234. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20 мая 2004 г.

39 ГОСТ 30403-96 Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности. Стены наружные с внешней стороны. М.: МНТКС, 1996. 10с.

40 ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований. М.: Стандартинформ, 2011. С 1–6.

41 ГОСТ 30546.1-98 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации, 1998. 72с.

42. Доттуев А.В., Хасанов З.И. Методика испытаний и оценка сейсмостойкости // Технологии строительства. 2009. №8. С. 20–26.

43. Дрижук Д. А. Вентилируемые фасады. Всё ли мы о них знаем? // СтройПРОФИль. 2004. № 6-04. С. 1–3.

44. Езерский В.А., Монастырев П.В. Влияние вентилируемого фасада на теплозащитные качества утеплителя // Жилищное строительство. 2003. №3. С. 18–20.

45. Езерский В.А., Монастырев П.В, Федоров С.В. Коэффициент теплотехнической однородности наружных стен вентилируемых фасадов // Жилищное строительство. 2004. №12. С. 8–11.

46. Емельянов, А.А. К вопросу проектирования конструкции навесного вентилируемого фасада / А.А.Емельянов // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. - №12. - С. 22-24.

47. Емельянов, А.А. Разработка конструктивного решения фасадной системы из керамогранита / А.А.Емельянов, В.М.Туснина // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. - №12. - С. 87-88.

48. Емельянов, А.А. Анализ теплотехнических свойств различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов /О.А.Туснина, А.А.Емельянов, В.М.Туснина // Инженерно-строительный журнал. - 2013. - №8. - С. 54-63.

49. Емельянов, А.А. Пути повышения сейсмостойкости вентилируемых фасадных систем / В.М.Туснина, А.А.Емельянов, А.В.Грановский // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - №11. - С. 57-60.

50. Емельянов, А.А. Узловое крепление керамогранита на анкерных резьбовых шпильках в навесном вентилируемом фасаде / А.А.Емельянов // Семнадцатая международная межвузовская научно-практическая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной фундаментальным научным исследованиям в строительстве: «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». Материалы докладов / Москва, 2014. – С. 221-225.

51. Забегаев А. В. Безопасность восстанавливаемых зданий с изменяющейся конструктивной схемой несущих систем и физической нелинейностью материала /А.В. Забегаев, А.Г. Тамразян, В. А. Люблинский, Р.Г. Арутюнян // Бетон и железобетон. -2000. -№ 1. -С. 12 -15.

52. Ивакин Ю.Ю. Повышение эффективности вентилируемых фасадов с минераловатным утеплителем: дис. канд. техн. наук. М., 2007. 125с.

53. Казакевич А.В. Коррозионная стойкость – основа безопасности металлоконструкций // Технологии строительства. 2006. №7. С. 22–25.

54. Карапетян Б.К. Колебание сооружений, возведенных в Армении. Ереван: Изд. «Айастан», 1967. 315с.

55. Киселев Д.А. Прочность и деформативность анкерного крепежа при действии статической и динамической нагрузок: дис. канд. техн. наук. М.: 2010. С. 1–115.

56. «Конструирование стен с повышенным сопротивлением теплопередаче». Проблемы и перспективы современных строительных конструкций и технологий / Труды XXV научн.-техн. конференции. Брест, 1998.

57. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 389–394.

58. Корнилов Т.А., Рахматуллин А.А. О состоянии вентилируемых фасадных систем в Якутии // Жилищное строительство. 2007. №6. С. 25–32.

59. Корчинский И.Л. и др. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Изд. «Высшая школа», 1971. 319с.

60. Корчинский И.Л., Беченева Г.В. Прочность строительных материалов при динамических нагружениях. М.:Стройиздат, 1966. С. 1–115.

61. Крутилин А.Б. С вентфасадами в Беларуси ясно ещё мало // Сборник тезисов конференции «Современный фасад в Республике Беларусь: опыт проектирования и строительства». СПб.: Изд-во Строительство и недвижимость, 2009. С. 54–58.

62. Кудряшов А.Ю. Упрочняющая полимер-силикатная пропитка стеновых материалов для крепления вентилируемых фасадов: дис. канд. техн. наук. Новосибирск, 2009. С. 1–125.

63. Куприянов В.Н. Строительная климатология и физика среды. Казань.: КГАСУ, 2007. 114с.

64. Кузнецова Г.А. Теоретические и практические вопросы проектирования, строительства и контроля монтажа навесных фасадных систем с воздушным зазором // Технологии строительства. 2008. №4. С. 1–59.

65. Лапин В.Г., Лапин С.В. Расчет конвективного движения воздуха в канале вентилируемого фасада при наличии горизонтальных щелей между плитками облицовки // Приволжский научный журнал. 2012. №2(22). С. 85–92.

66. Леденёв П.В. Определение ветровых воздействий на навесные фасадные системы с учётом влияния воздушной прослойки: дис. канд. техн. наук. М., 2011. С. 3–95.

67. Мамедов Т.И., Лаковский Д.М. Актуальные вопросы безопасности применения навесных фасадных систем с воздушным зазором для зданий различного назначения. Конференция по строительству. Инф. Система «НОУ-ХАУС», М., 28.04.06 адрес: www/know-house.ru.

68. Мартыненко О.Г., Соковишин Ю.А., Свободно-конвективный теплообмен. Справочник. Минск: Наука и техника, 1982. 400 с.

69. Методические рекомендации по инженерному анализу последствий землетрясений. М.: ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР, 1980. 62 с.

70. Мехнецов И.А. Критерии выбора утеплителей для навесных вентилируемых фасадов. // Технологии строительства. 2006. №3, С.72–75.

71. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.

72. MSK-64. Шкала сейсмической интенсивности MSK. 1964.

73. Назаров А.Г., Дарбинян С.С. Шкала для определения интенсивности сильных землетрясений на количественной основе. // В. кн.: Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. Академия наук СССР. Межведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (МСССС) при президиуме АН СССР. М.: Наука, 1975. С. 1–12.

74. Нелидов А.А. Защита минваты. Ограничение факторов, разрушающих утеплитель // Технологии строительства. 2007. №2. С. 57–58.

75. Немова Д.В. Интегральные характеристики термогравитационной конвекции в воздушной прослойке навесных вентилируемых фасадов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 2 (15). С. 25–34.

76. Немова Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. №5. С. 7 –11.

77. Овсянников С.Н., Вязова Т.О. Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями // Строительные материалы. 2013. №6. С. 24–28.

78. Отчет по результатам натурных испытаний фрагментов навесных вентилируемых фасадов «ДИАТ». М.: ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко, 2007. С. 1–15.

79. Патанкар С.А. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 150с.

80. Пестрицкий А.В., Александрия М.Г. ТАЙВЕК: быть или не быть? // Технологии строительства. 2007. № 6. С. 5–14.

81. Петриченко М.Р., Петроченко М.В. Гидравлика свободно-конвективных течений в ограждающих конструкциях с воздушным зазором // Инженерно-строительный журнал. 2011. №8(26). С. 51–56.

82. Петриченко М.Р., Петроченко М.В. Достаточные условия существования СКТ в вертикальном щелевом канале // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2-2(147), 2012. С. 276-282.

83. Петриченко М.Р., Петросова Д.В., Петроченко М.В., Фильтрационный перенос воздухом консервативной примеси (температуры и теплоты) сквозь стену. // НТВ. №4. 2012. С.221-225.

84. Петроченко М.В. Основы гидравлического расчета СКТ в ограждающих строительных конструкциях. Автореферат дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. Спец: 05.23.16. СПб, 2012. 20 с.

85. Петросова Д. В., Неизотермическая фильтрация воздуха через ограждающие конструкции замкнутых помещений. Автореферат дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. ,Спец. 05.23.16. СПб., 2012. 21 с.

86. Пискун А.Е. Рациональное технологическое решение устройства навесных вентилируемых фасадов в жилых домах: дис. канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2009. 120с.

87. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. М.: Изд. «Высшая школа», 1969. 335с.

88. Проектирование и строительство стен с воздушными промежутками: Рекомендации // Институт архитектуры и строительства. Вильнюс, 2002, 24 с.

89. Протасевич А.М., Крутилин А.Б. Классификация вентилируемых фасадных систем. Влияние теплопроводных включений на их теплозащитные характеристики // Инженерно-строительный журнал. 2011. №8. С. 57–62.

90. Протасевич А.М., Крутилин А.Б. Натурные исследования наружных стен зданий, теплоизоляционных по системе «вентилируемый фасад» // Современные фасадные системы: эффективность и долговечность. Материалы научно-технической конференции. Москва, 21 ноября 2008г. М. : МГСУ, 2008. С. 212–217.

91. Рекомендации по обеспечению коррозионной стойкости гибких связей наружных стеновых трёхслойных бетонных и железобетонных панелей. М.: ЦНИИЭПжилища, 1983. 44с.

92. Рынок систем теплоизоляции фасадов России: Отчет ЗАО «Агентство строительной информации» / Санкт-Петербург, 2009. С. 3–93.

93. Садчиков А.В. Влияние продольной фильтрации воздуха в утеплителе на теплозащитные свойства стен с навесными вентилируемыми фасадами: автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2007. С. 1–95.

94. Самаяускас Р.А., Станкявичюс В.Р., Блюджюс Р.А. Воздействие конвекции на теплопередачу через вентилируемые ограждения. Каунас: Технология, 2003, 125с.

95. Соковишин Ю. А., Березовский А. А., Мартыненко О. Г. Теория струй вязкой жидкости. Минск: Наука и техника, 1984. 256 с.

96. Страхович К. И. Термогазодинамика. Ч.3. Теория теплообмена. Л.: ЛПИ, 1966. 168 с.

97. Солощенко С.С. Влажностный режим конструкции вентилируемого штукатурного фасада // Инженерно-строительный журнал. 2010. №8(18). С. 10–15.

98. Солощенко С.С. Влияние вентилируемого зазора на теплофизические характеристики систем наружного утепления фасадов зданий с применением тонкослойной штукатурки // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2(20). С. 39–41.

99. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: науч. изд. / А.Г. Тамразян, С.Н. Булгаков, И.А. Рахман, А.Ю. Степанов. -М.: Изд-во АСВ, 2012. -304 с.

100. СТО 44416204-010-2010. Крепления анкерные. Метод определения несущей способности по результатам натуральных испытаний. М., 2011. 30с.

101. СТО 44416204-012-2013. Элементы облицовочные навесных фасадных систем с воздушным зазором и детали их крепления. Метод определения несущей способности по результатам лабораторных испытаний. М.: ФАУ «ФЦС», ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова, ООО «Технополис», 2013. 30с.

102. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. М.: ЦИТП Госстроя России, 2003. 43с.

103. СНиП II-23-81* Часть2. Нормы проектирования. Глава 23. Стальные конструкции. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. 32с.

104. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: ЦИТП Госстроя России, 1998. 21с.

105. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. М.: ЦИТП Госстроя России, 2004. 26с.

106. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. М., 2004. С. 1–32.

107. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минрегион России, 2012. 95с.

108. СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.: Министерство регионального развития Р.Ф., 2011. 84с.

109. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*

110. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*

111. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.

112. Табунщиков Ю.А., Климовичкий М.С. Расчет теплового режима помещения при раздельном учете конвективной и лучистой составляющих теплообмена // Сборник трудов. Тепловой режим и долговечность зданий. М., 1987. 133 с.

113. Тамразян А. Г. Ресурс живучести - основной критерий решений высотных зданий // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 15-18.

114. Тамразян А. Г. Расчет элементов конструкций при заданной надежности и нормальном распределении нагрузки и несущей способности // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 109-115.

115. Тамразян А.Г. Особенности работы высотных зданий // Жилищное строительство. 2004. № 3. С. 19-20.

116. Теплопотери здания: Справочное пособие / под ред. Е.Г. Малявиной. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. С. 1–150.

117. «Теплотехнический расчет на ЭВМ ограждающих конструкций». Материалы международной 51-ой научн.-технич. конференции профессоров, преподавателей и научных работников БГПА. Минск, 1995.

118. Типовой альбом конструкций навесной фасадной системы с воздушным зазором «ИСМ-ФАСАД» типа ИС-5К с использованием направляющей НГ-С-60-40 с креплением керамогранита на кляммерах (Приложение 2 к основному типовому альбому ИС-5К). ООО "Инженерные системы", 2012. 24с.

119. Туснин А.Р. Проектирование стен с оконными проемами // Строительство и недвижимость. 1997. № 12. С.7.

120. Туснин А. Р., Туснина В. М. Сопротивление теплопередаче стен с оконными проемами // Вестник МГСУ. 2011. Т. 2. С. 123-129.

121. Туснина О.А. Вычислительный комплекс TEPЛ для теплотехнического расчета строительных конструкций на основе решения задачи стационарной трехмерной теплопроводности // Сборник докладов V Международной научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях». М., 2013. С. 154–157.

122. Туснина О.А., Туснин А.Р. Программный комплекс для теплотехнического расчета строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №4. С. 51–54.

123. Туснина О.А. Теплотехнический расчет конструкций численными методами // Вестник МГСУ. 2013. №11. С. 91–99.

124. Туснина В.М. "Эффективное использование вентилируемых фасадов в климатических условиях России". Материалы научной конференции МАРХИ. Москва, 2007

125. Туснина В.М., Туснин А.Р. "Навесные вентилируемые фасады "Наука, образование и экспериментальное проектирование". Труды МАРХИ. Москва, 2009

126. Туснина В.М., Туснин А.Р. "Инженерная методика теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий". Сборник трудов научно-технической конференции проф.- преподавательского состава ИСА МГСУ. Москва, 2010.

127. Умнякова Н.П. Как сделать дом теплым. М.: Стройиздат, 1996. 367с.

128. Уонг Х. Основные формулы и данные для теплообмена для инженеров. Справочник. М. : Атомиздат, 1979. 212 с.

129. Фасадные теплоизоляционные системы с воздушным зазором. Рекомендации по составу и содержанию документов и материалов,

представляемых для технической оценки пригодности продукции. М.: ЦИТП Госстроя России, 2004 г, 57 с.

130. Шмелев Г.Н., Сусаров А.В., Хайруллин Л.Р. Напряженно-деформированное состояние несущих кронштейнов НФС // Известия КГЛСУ. 2012. № 4(22). С. 186–192.

131. Экспертное заключение по несущей способности навесных фасадных систем с воздушным зазором: «СКГ-ОК-001-П» для облицовки керамогранитными плитами; СЛМ-ОК-002-П» для облицовки асбо- и фиброцементными плитами; «СКК-СК-003-П» для облицовки кассетами из композитного материала; производства ООО «НЬЮТОН СИСТЕМС». ЦНИИПСК им. Мельникова, 2009. 10с.

132. Явтушенко Е.Б. Основы гидравлического расчета навесных вентилируемых фасадов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 2 (7). С. 55–61.

133. «Alles über hinterlüftete Fassaden», Sammelordner SFHF (2000)

134. Berger, R. et al.: «3D-Wärmebrückenberechnungen bei hinterlüfteten Aussenwandkonstruktionen zur Reduzierung der Energieverluste im Bereich Verankerungskonstruktionen», wksb 39/1997, 7–21 (1997).

135. Brown W. C., Rousseau M. Z., Dalglied W. A.«Field testing of pressure-equalized rain screen walls» Exterior Wall Systems: Glass and Concrete Technology, Design and Construction, 1991.

136. Ciampi, M., Leccese, F., Tuoni, G On the thermal behavior of ventilated facades and roofs LaTermotecnica 1, 2002, Pp. 87–97.

137. Ciampi, M., Leccese, F., Tuoni, G. Some thermal parameters influence on the energy performance of the ventilated walls // Proceedings of 20th UIT National Heat Transfer Conference, 2002, Maratea, Italy Pp. 357–362.

138. Citterio M., Cocco M., Erhorn-Klutting H. Thermal bridges in the EPBD context: overview on MS approaches in regulations.// EPBD Buildings Platform. 2008. 28–4. P. 64.

139. Christoph Tanner, Christoph Zürcher, “Hinterlüftete Fassade als Witterungsschutz”// WTA Seminar. Winterthur, Schweiz, 16 Juni 2004.
140. Cziesielski E.: «Bauphysikalische und konstruktive Probleme bei Aussenwandbekleidungen», Bautechnik 2/1982, 59–66 (1982).
141. Dagnall M., Window A., Leung A., Thompson D. Analytical assessment of thermal performance of a ventilated glazed facade system // Proceedings of Building Simulation: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 2011, 14-16 November, Pp. 808–815.
142. DIN EN ISO 10211-1. Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren. August 1995.
143. DIN EN ISO 10211-1. Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken. Juni 2001.
144. DIN 4108-2. Wärmeströme und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Juli 2003.
145. DIN 4108 Beiblatt 2. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Wärmebrücken. Planungs- und Ausführungsbeispiele. März 2006.
146. Empfehlung «Brandschutz», sia 183 (1989).
147. Elenbaas W. Heat dissipation of Parallel plates by free Convection // Physica. 1942. Vol. 9. Pp. 1-28.
148. ETAG 001. Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete. Brussels, 1997.
149. Emelyanov, A.A. A Joint of Ceramic Granite Mount by Threaded Anchor Studs in a Suspended Ventilated Façade / V.M.Tusnina, A.A. Emelyanov, O.A.Tusnina // Scopus. Applied Mechanics and Materials Vols. 578-579 (2014) – pp 615-618.
150. Frank, Th.: «Sonnenenergiegewinne durch opake Bauteile», Schweiz. Ing. und Arch. 38/1991, 897–902 (1991).

151. Garden K. Rain penetration and its control. National Research Council of Canada, Division of Building Research, Canadian Building Digest no. 40, 1963.

152. Gertis, K.: «Belüftete Wandkonstruktionen, Thermodynamische, feuchtetechnische und strömungstechnische Vorgänge in Kanälen und Spalten in Aussenwänden», Berichte aus der Bauforschung, Heft 72, Ernst und Sohn, Berlin (1972)

153. Kinzel H, Popp W. Mayer E. Untersuchungen über die Belüftung des Luftraumes hinter vorgesetzten Fassadenbekleidungen aus kleinformatischen Elementen, Bericht B Ho 22/80 Institut für Bauphysik Stuttgart, 1980.

154. Künzel, H. und Meyer, E.: «Untersuchungen über die notwendige Hinterlüftung an Aussenwandbekleidungen aus grossformatigen Bauteilen», Forschungsbericht B Ho 1/83, IBP, Stuttgart (1983).

155. Liersch, K:W:: «Belüftete Dach- und Wandkonstruktionen», Bd1: Vorhangfassaden – Bauphysikalische Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes.

156. Liersch, K:W:: «Belüftete Dach- und Wandkonstruktionen», Bd2: Vorhangfassaden – Anwendungstechnische Grundlagen, Bauverlag Weisbaden (1984).

157. Lopez Rivadulla F.J., Alonso Alonso P. Ventilated facade of stone: factors that influence in the colonization of granite// Global Stone Congress, 2010, Pp. 1–3.

158. Meyer, E. und Künzel, H.: «Untersuchungen über die Belüftung des Luftraumes hinter vorgesetzten Fassadenverkleidungen aus kleinformatischen Elementen» Forschungsbericht BHo 22/80, IBP, Stuttgart (1980)

159. Naylor D. A., Floryan J. D., Tarasuk J. D. Numerical study of Developing Free convection Between Isothermal vertical plates // Journal of Heat Transfer. 1991. Vol. 113. Pp. 620-626.

160. Naylor D., Tarasuk J. D. Natural Convective Heat Transfer in a Divided vertical channel Part-I – Numerical Study // Journal of Heat Transfer. 1993. Vol. 115. Pp. 377-387.

161. Norm «Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau», sia 180 (1999).
162. Norm «Wärmeschutz im Hochbau», DIN 4108 (1981).
163. Norm «Bauelemente und Bauteile -- Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren», EN ISO 6946 (1996).
164. Norm «Bekleidete Aussenwände», sia 233 (2000).
165. Peer L. B. B. Practical Use of Thermal Breaks in Cladding Support Systems // Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X International Conference. Florida, USA, December 2-7, 2007.
166. Rousseau M. Z. Facts and Fiction of Rain-Screen Walls. Construction Canada.
167. Salonvarra M., Karagiozis Achilles N., Pazera M., Miller W. Air Cavities Behind Claddings – What Have We Learned? [Электронный ресурс] // Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X International Conference. – Florida, USA December 2-7, 2007.
URL:http://www.ornl.gov/sci/buildings/2010/B_X_Proceedings.htm
168. «Schalldämmung : Berechnung-Anwendung-Messwerte», sia Dok 35, 58, Schweiz. Ing. und Arch., Zürich (1979, 1983).
169. Sparrow E. M., Azevedo L. F. A. Vertical channel natural convection spanning between fully-developed limit and the single-plate boundary-layer limit // International Journal Heat Mass Transfer. 1985. Vol. 28. Pp. 1847-1857.
170. Tanda G. Natural Convection Heat Transfer in vertical channels with and without transverse square ribs // International Journal of Heat Mass Transfer. 1997. Vol. 40. No. 9. Pp. 2173–2185.
171. Tanner C., Zurcher C. Bauphysik der hinterlufteten Fassade/ Ein Einblick in ausgewählte physikalische Phänomene und Folgerungen für die konstruktive Umsetzung und Ausführung // Hinterluftete Fassade als Witterungsschutz: WTA Seminar.
172. Tanner, Ch. und Wakii, K.G.: «Wärmebrücken von hinterlüfteten Fassaden», wksb, 39/1997,1–6 (1997).

173. Tanner, Ch. et al.: «Wärmebrücken von hinterlüfteten Fassaden - Messungen, Berechnungen, Vergleiche», Schlussbericht F+E Projekt 158 740, 2. Auflage, Abt. Bauphysik, EMPA, CH-8600 Dübendorf (1998).

174. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritcyna A.A., Tarasova D. S. The energy-efficient heat insulation thickness for systems of hinged ventilated facades. // Scopus. Advanced Materials Research Vols. 941-944 (2014) pp 905-920.

175. Vatin N.I., Petrichenko M.R., Nemova D.V., Kharkov N.A., Korsun A.A. Numerical modeling of thermogravitational convection in air gap of system of rear ventilated facades. // Scopus. Applied Mechanics and Materials Vols. 672-674 (2014) pp 1903-1908.

176. Z.B.: Brandschutzvorschriften Kant. Feuerpolizei, Kt. Zürich (1994ff).

Данные о несущей способности системы при действии статических и динамических нагрузок

1.1. Анализ напряженно-деформированного состояния системы

На рис. 1.1 приведена схема НФС с приложенными к ней эксплуатационными нагрузками.

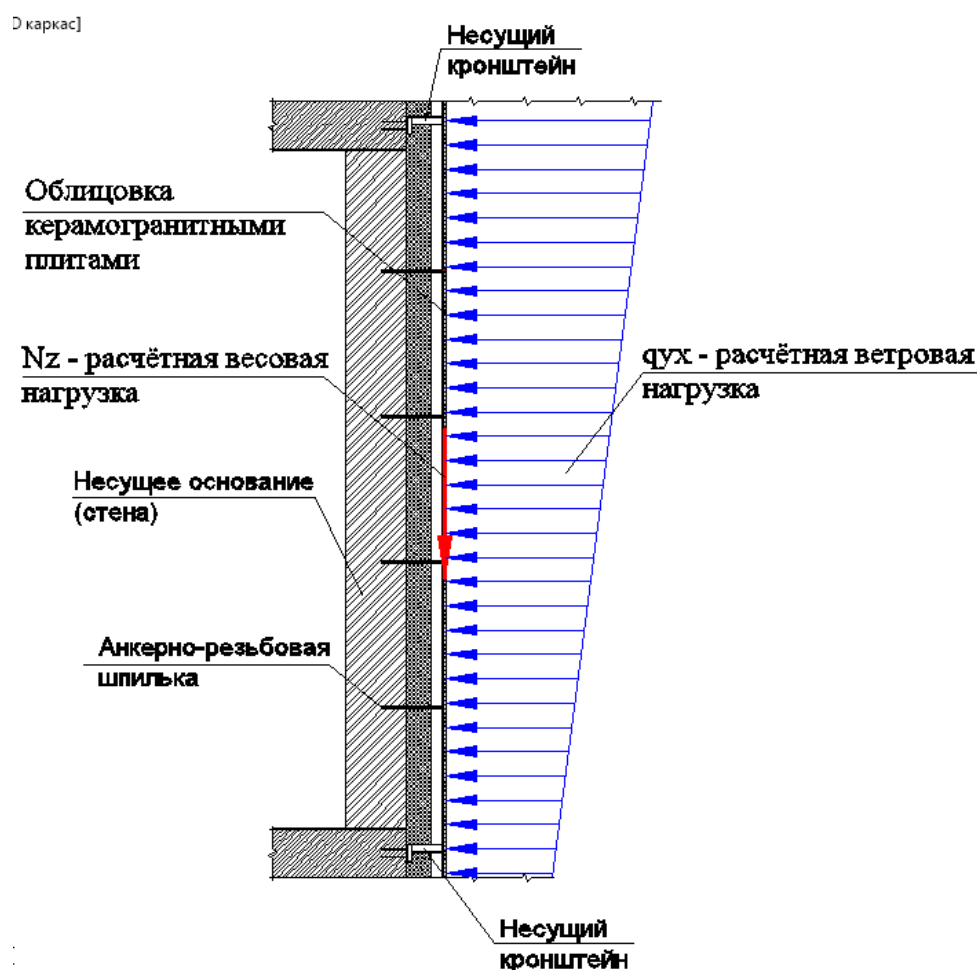


Рисунок 1.1 – Схема НФС с приложенными к ней эксплуатационными нагрузками

На основе численного расчета получена картина напряженно-деформированного состояния в виде изополей напряжений и перемещений,

возникающих в элементах узлового соединения в местах крепления несущего кронштейна, исследуемой НФС (рис. 1.2 – 1.7).

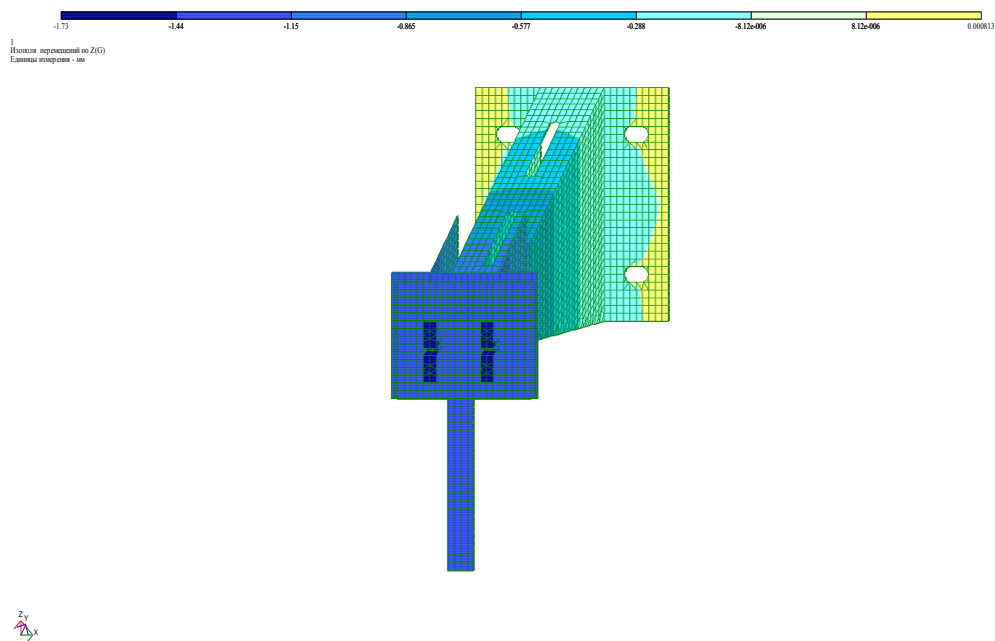


Рисунок 1.2. – Изополю перемещений по Z (G)мм узла крепления несущего кронштейна

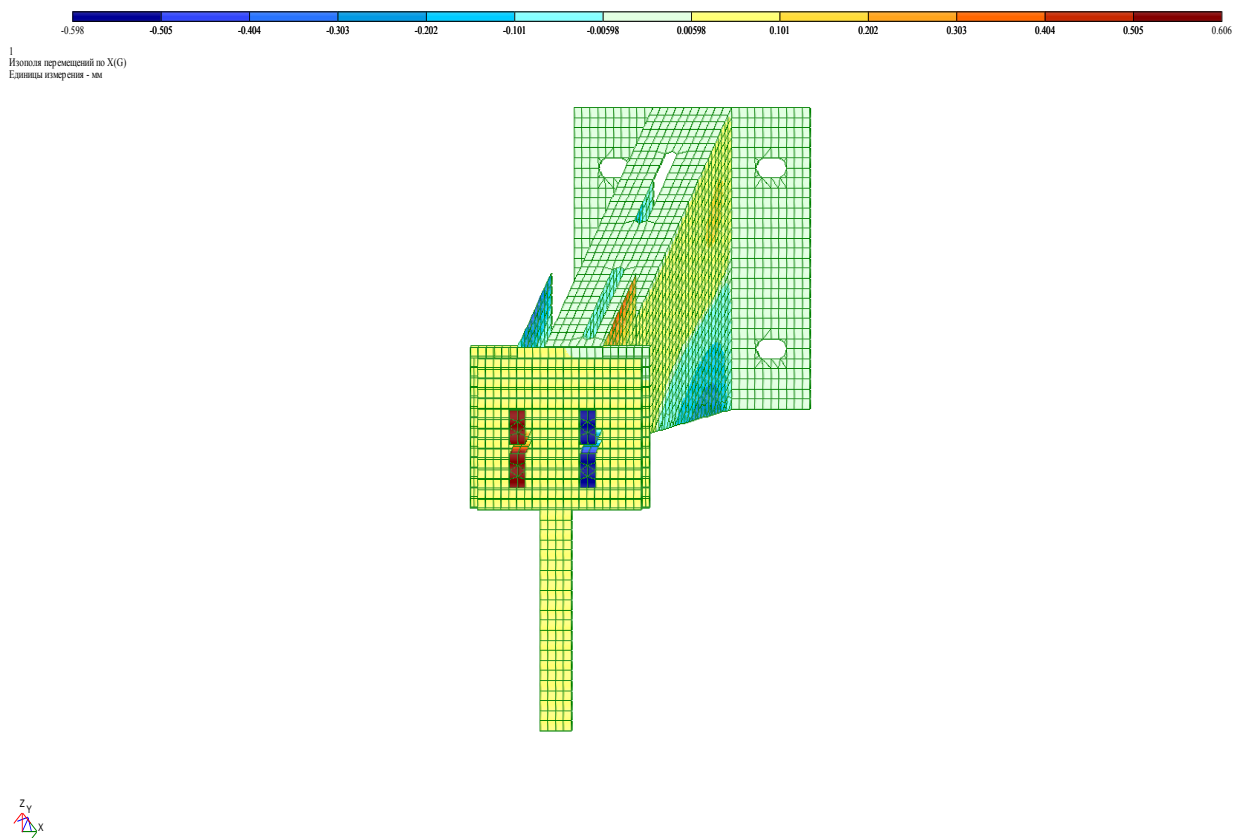


Рисунок 1.3. – Изополю перемещений по X (G)мм узла крепления несущего кронштейна

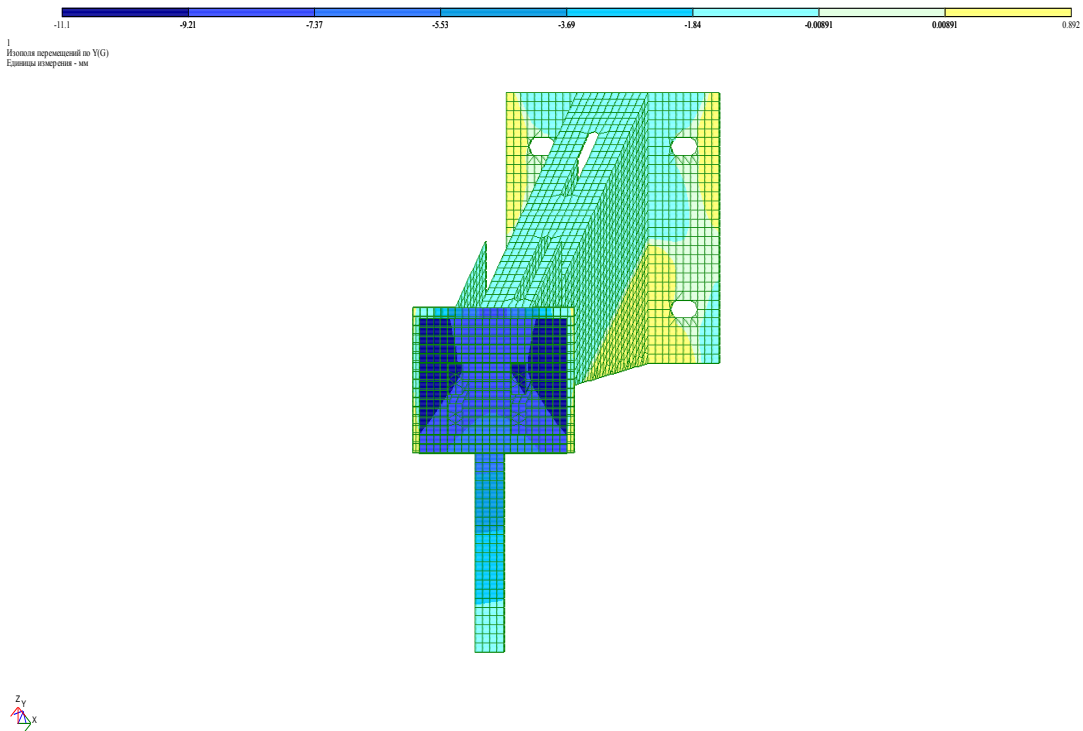


Рисунок 1.4. – Изополю перемещений по Y (G)мм узла крепления несущего кронштейна

Как видно из рис. 1.2 – 1.4, наибольшие перемещения узлового соединения в месте установки несущего кронштейна системы по оси Z и Y возникают в пластине кляммера и перфоленте. Наибольшие перемещения по оси X возникают в лапках кляммера.

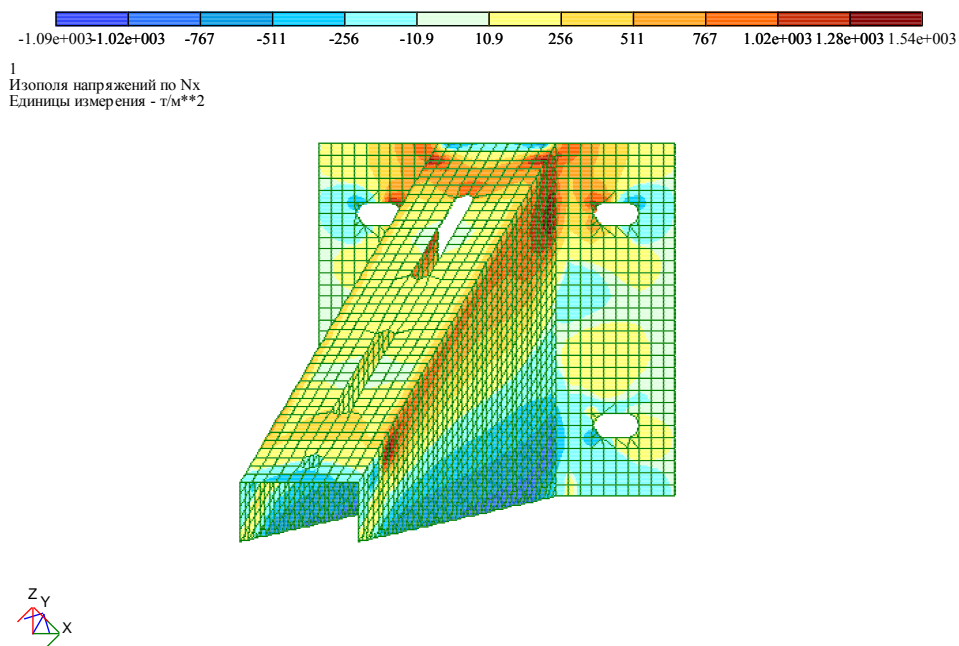
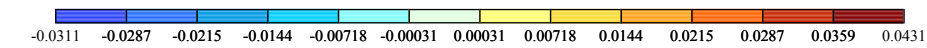


Рисунок 1.5. – Изополю погонных усилий, действующих в направлении оси Y несущего кронштейна



1
Изополю напряжений по M_x
Единицы измерения - $(\text{т}^*\text{м})/\text{м}$

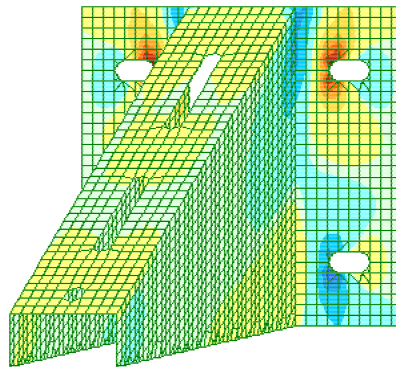
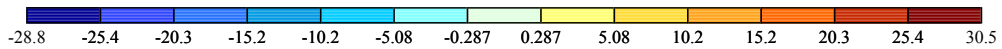


Рисунок 1.6. – Изополю погонного момента, действующего в направлении оси Y несущего кронштейна

Как видно на рис. 1.6, наибольшие напряжения от действия изгибающего момента в несущем кронштейне возникают в заделке консоли элемента, где концентраторами напряжений так же являются отверстия под анкерные крепления.



1
Изополю напряжений по Q_x
Единицы измерения - $\text{т}/\text{м}$

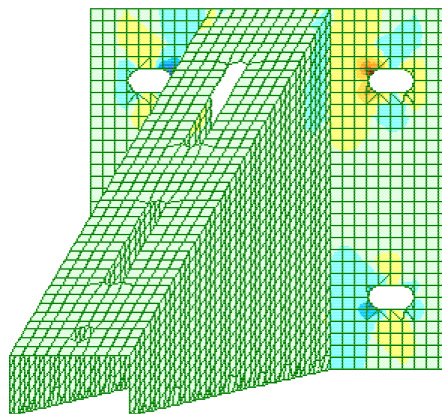


Рисунок 1.7. – Изополю погонных усилий, действующих в направлении оси Z несущего кронштейна

Как видно из рис. 1.7, наибольшие касательные напряжения возникают в заделке консоли элемента. Дополнительными концентраторами напряжений являются области вокруг отверстий под анкерное крепление кронштейна.

1.2. Акселерограммы и спектры пиковых значений амплитуд и ускорений, записанные с датчиков

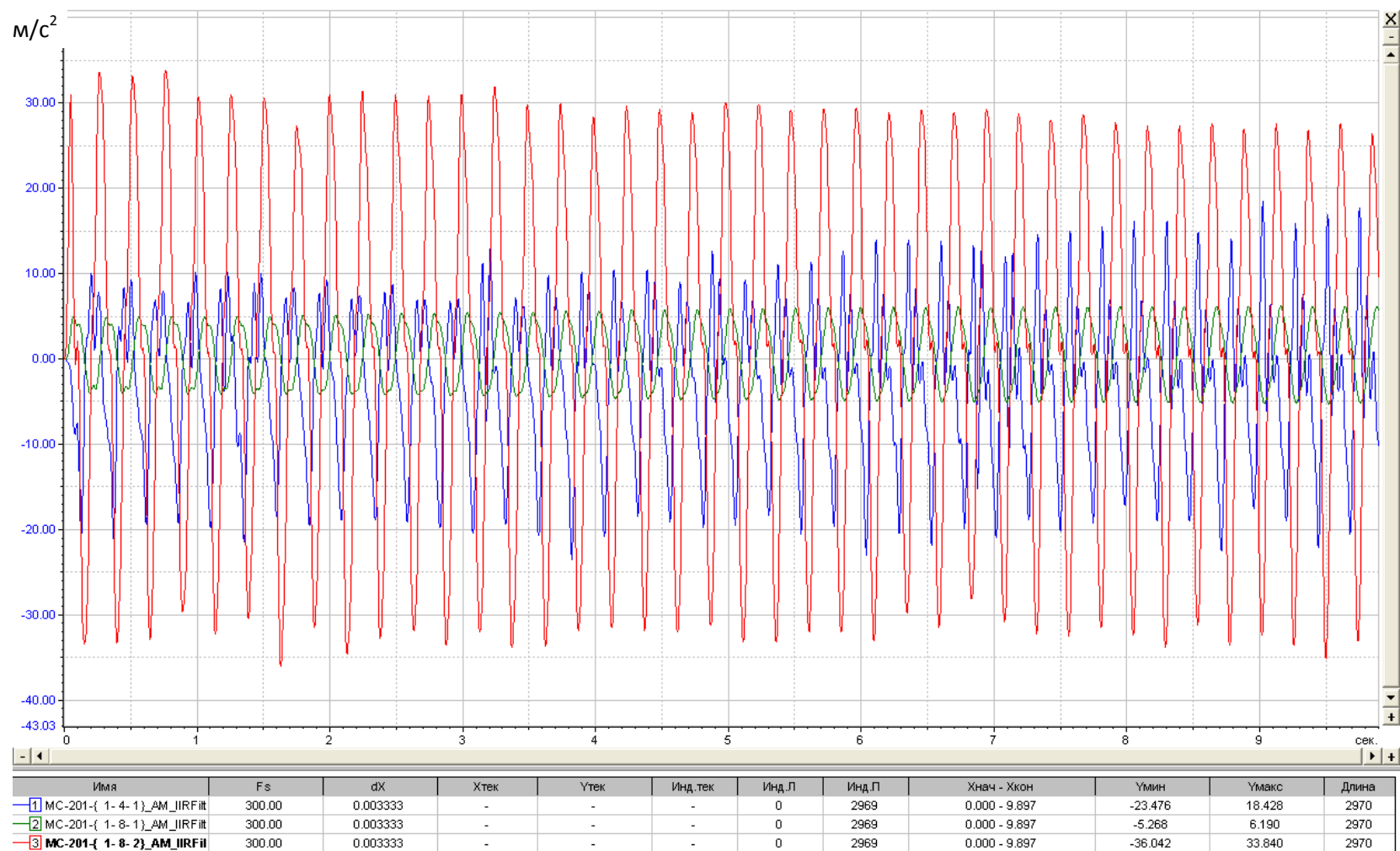


Рисунок 1.8 – Акселерограммы (m/s^2), записанные с датчика 1 (синим цветом), датчика 3 (зеленым цветом) и датчика 1-3 (красным цветом) при 11-м режиме испытаний (частота $f=4.1$ Гц; амплитуда $A=7.1$ мм)

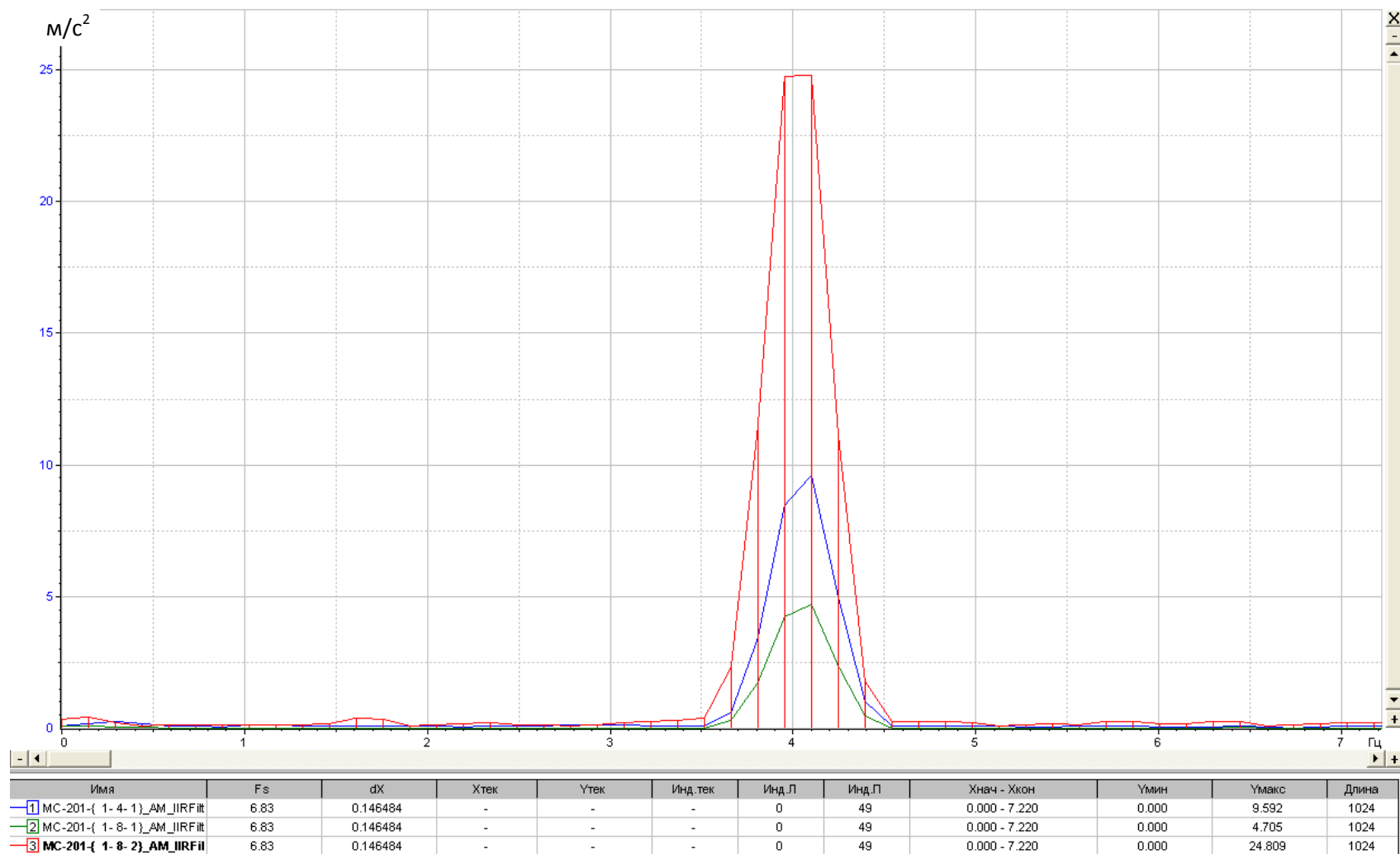


Рисунок 1.9 – Спектры пиковых значений ускорений (m/s^2) для датчика 1 (синим цветом), датчика 3(зеленым цветом) и датчика 2 (красным цветом) при 11-м режиме испытаний (частота $f=4.1$ Гц; амплитуда $A=7.1$ мм)

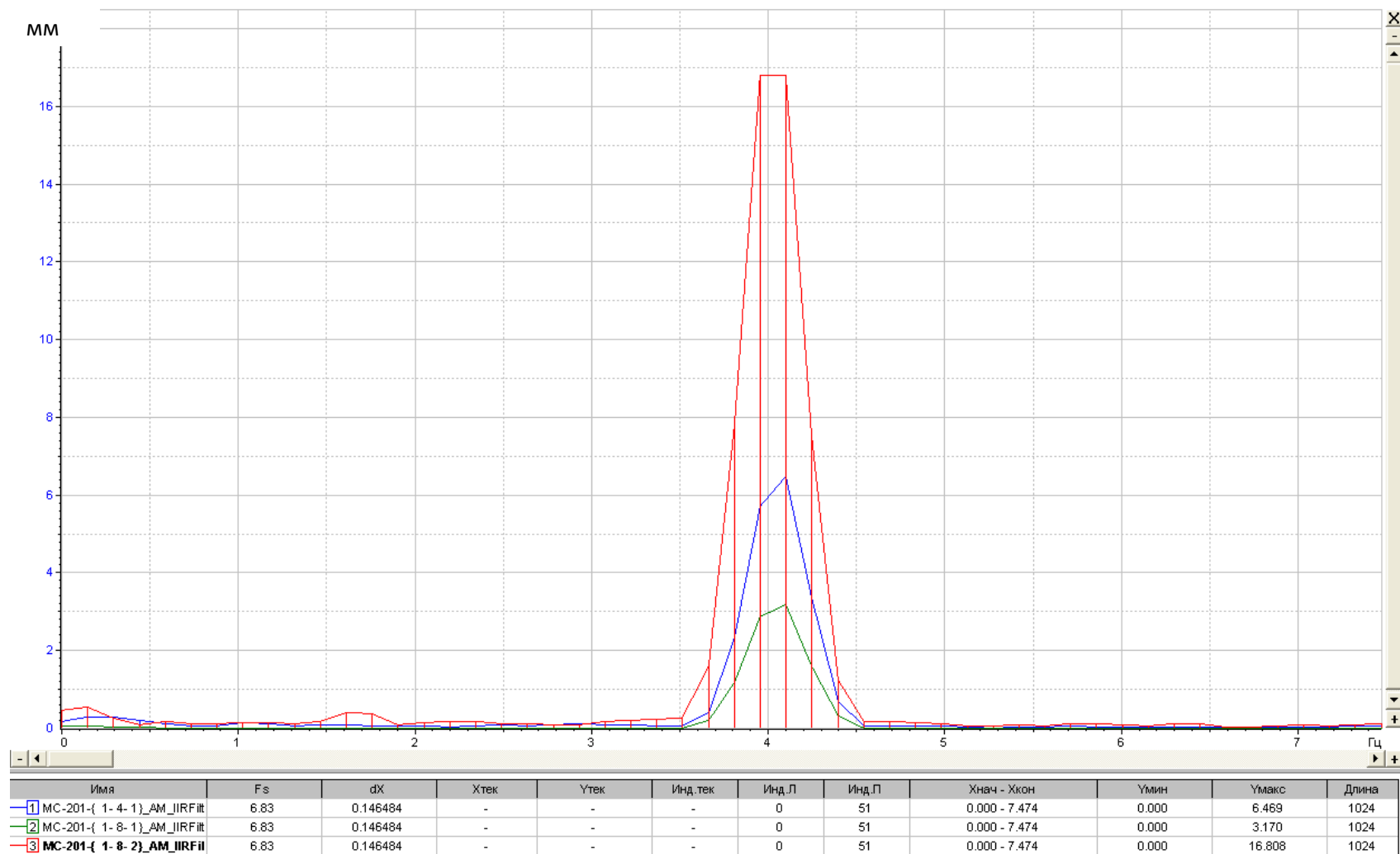


Рисунок 1.10 – Спектры пиковых значений амплитуд (мм) для датчика 1 (синим цветом), датчика 3 (зеленым цветом) и датчика 2 (красным цветом) при 11-м режиме испытаний (частота $f=4.1$ Гц; амплитуда $A=7.1$ мм)

1.3. Графики зависимости ускорений и перемещений от частот колебаний

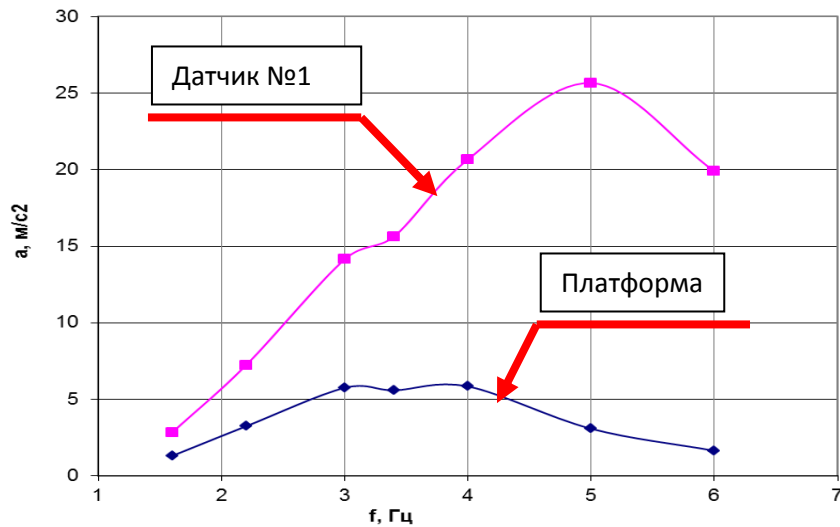


Рисунок 1.11 – График зависимости ускорения от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание макета НФС

Как видно из рис. 1.11, пиковое значение ускорения (равное 26 м/с²) макета системы, записанное с датчика №1 при горизонтальных колебаниях, зафиксировано при частоте 5 Гц. Максимальное значение ускорения платформы отмечено при частотах 3 и 4 Гц.

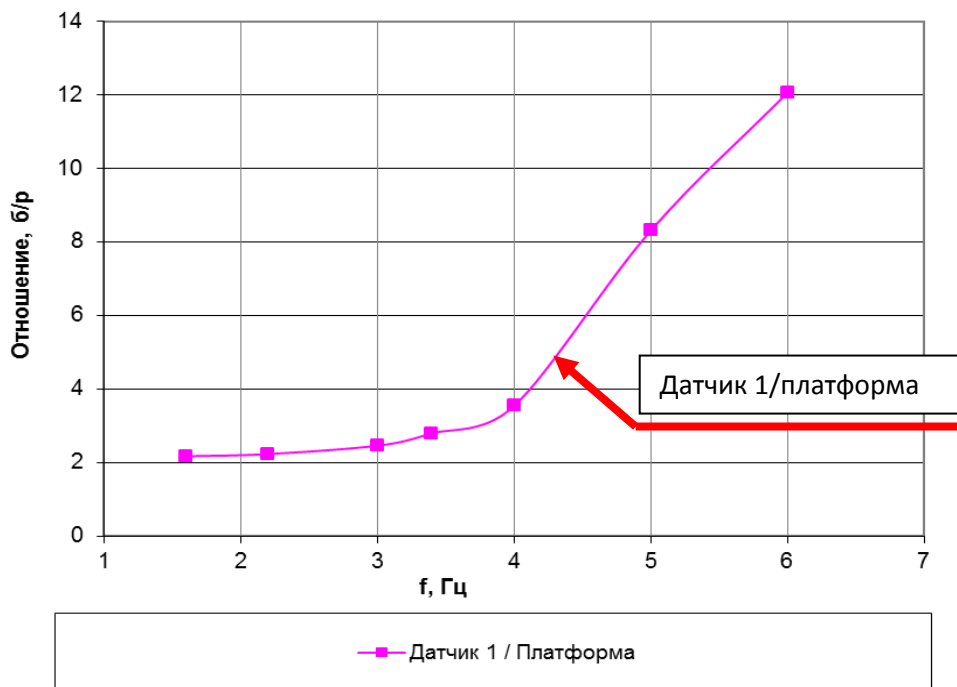


Рисунок 1.12 – График отношения ускорений с датчиков (система/платформа) от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание макета НФС

График, изображенный на рис. 1.12, характеризует зависимость ускорений макета системы при горизонтальных колебаниях от платформы.

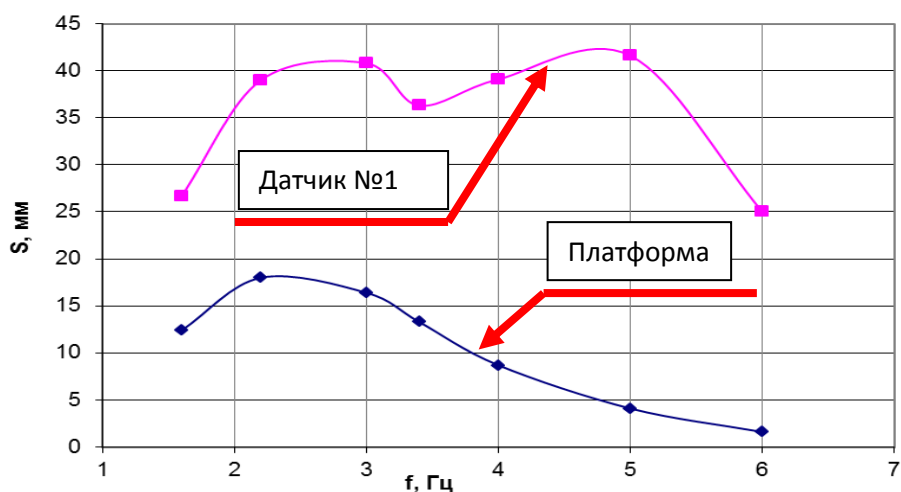


Рисунок 1.13 –. График зависимости перемещения от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание макета НФС.

Как видно из рис. 1.13, пиковое значение перемещения (равное 42 мм) макета НФС, записанное с датчика №1 при горизонтальных колебаниях, зафиксировано при частоте 4,8 Гц. Максимальное значение перемещения платформы (равное 19 мм) отмечено при частоте 2,3Гц.

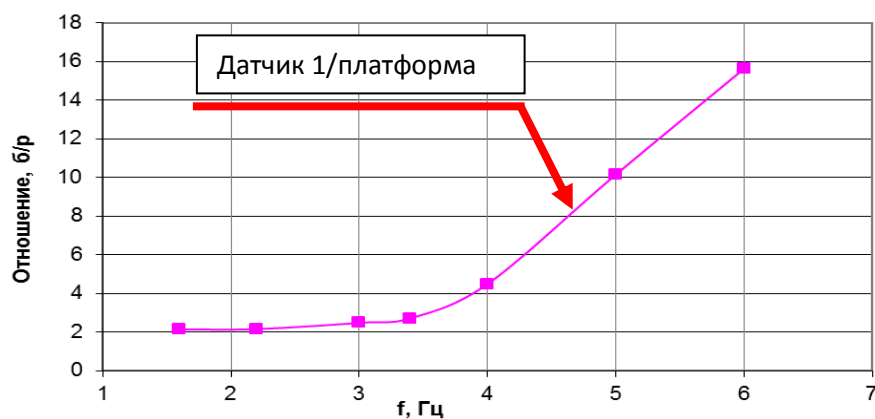


Рисунок 1.14 –. График зависимости отношения перемещений с датчиков (система/платформа) от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание макета НФС.

График, изображенный на рис. 1.14, характеризует зависимость перемещений макета системы при горизонтальных колебаниях от платформы.

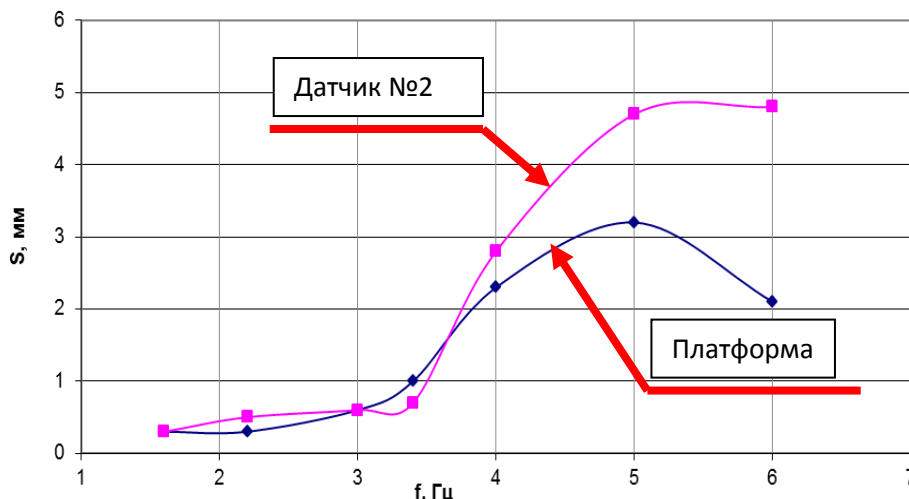


Рисунок 1.15 – График зависимости перемещения от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание макета НФС.

Как видно из рис. 1.15, пиковое значение перемещения (равное 49 мм) макета НФС, записанное с датчика №2 при вертикальных колебаниях, зафиксировано при частоте 5,4 Гц. Максимальное значение перемещения платформы (равное 3,3 мм) отмечено при частоте 5 Гц.

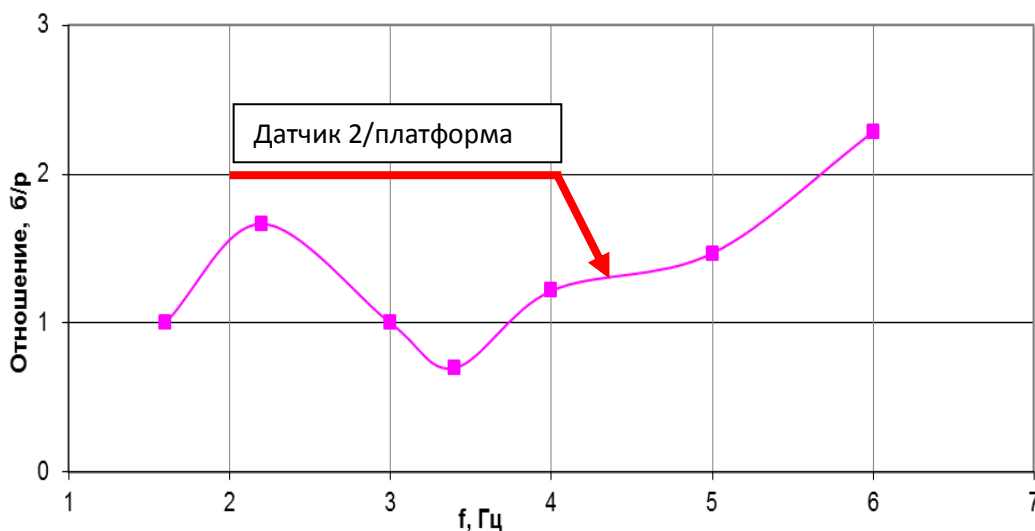


Рисунок 1.16 – График зависимости отношения перемещений с датчиков (система/платформа) от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание макета НФС.

График, изображенный на рис. 1.16, характеризует зависимость перемещений макета системы при вертикальных колебаниях от платформы.

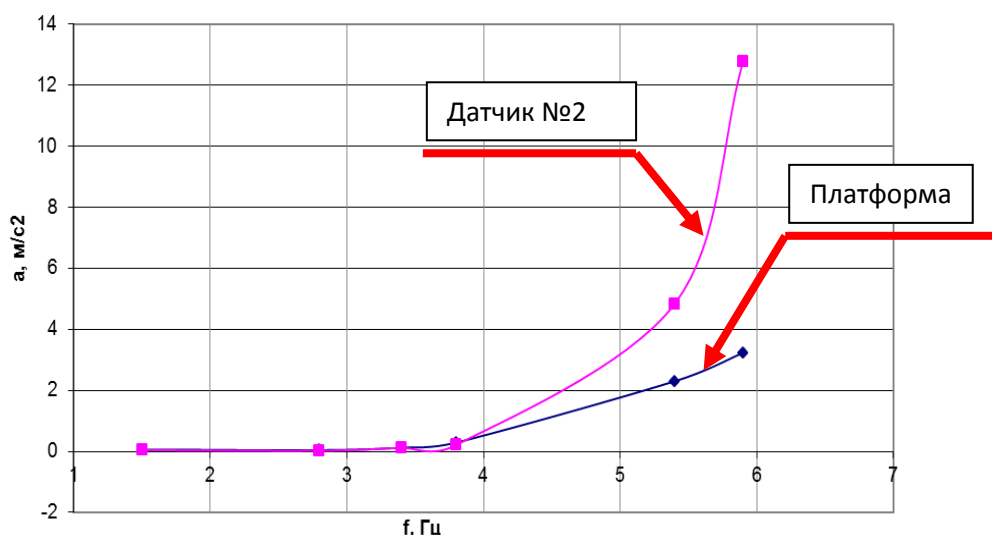


Рисунок 1.17 – График зависимости ускорения от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание фрагмента НФС

Как видно из рис. 1.17, пиковое значение ускорения (равное 13 м/с^2) фрагмента НФС, записанное с датчика №2 при вертикальных колебаниях, зафиксировано при частоте 5,9 Гц. Максимальное значение ускорения платформы (равное $2,8 \text{ м/с}^2$) отмечено при той же частоте.

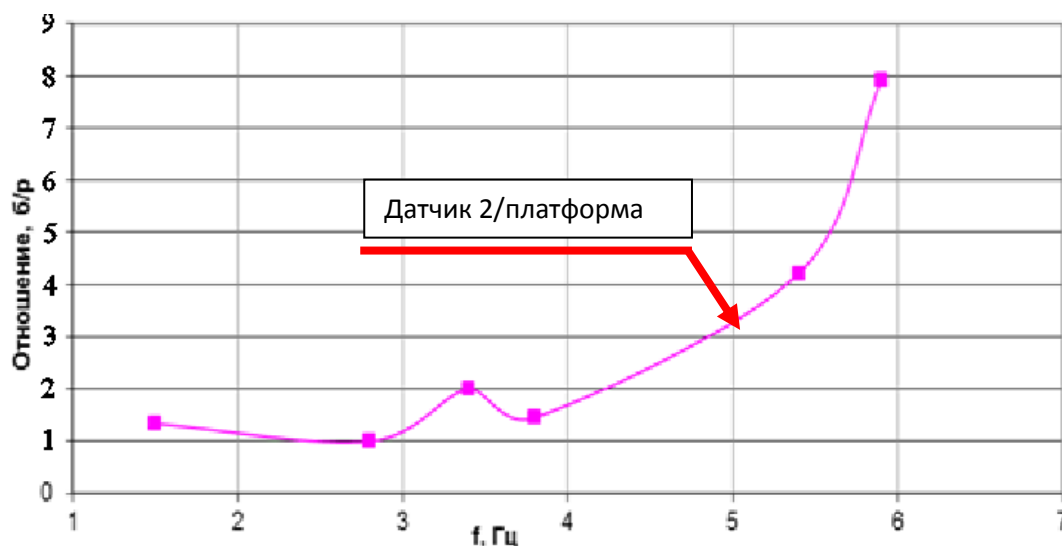


Рисунок 1.18–. График зависимости отношения ускорений с датчиков (система/платформа) от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание фрагмента НФС

График, изображенный на рис. 1.18, характеризует зависимость ускорений фрагмента системы при вертикальных колебаниях от платформы.

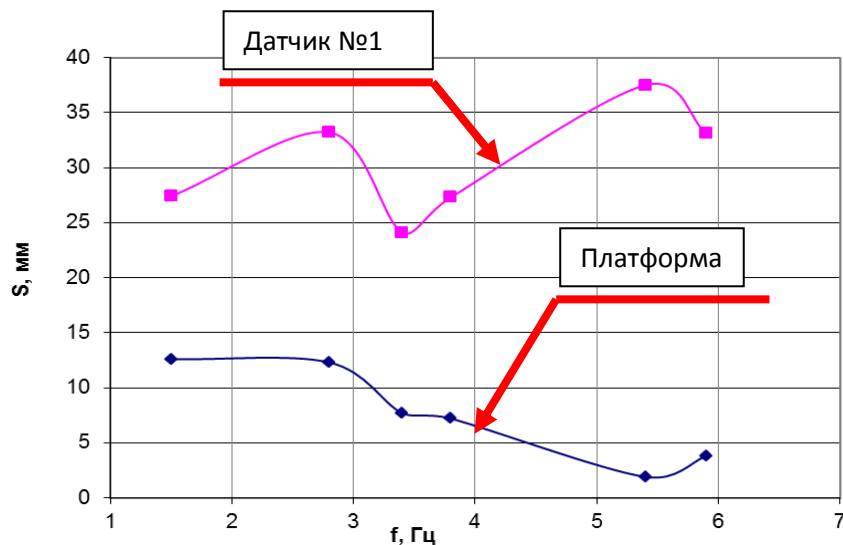


Рисунок 1.19 –. График зависимости перемещения от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание фрагмента НФС

Как видно из рис. 1.19, пиковое значение перемещения (равное 37 мм) фрагмента НФС, записанное с датчика №1 при горизонтальных колебаниях, зафиксировано при частоте 5,5 Гц. Максимальное значение перемещения платформы (равное 12мм) отмечено при частотах 1,5 – 2,8 Гц.

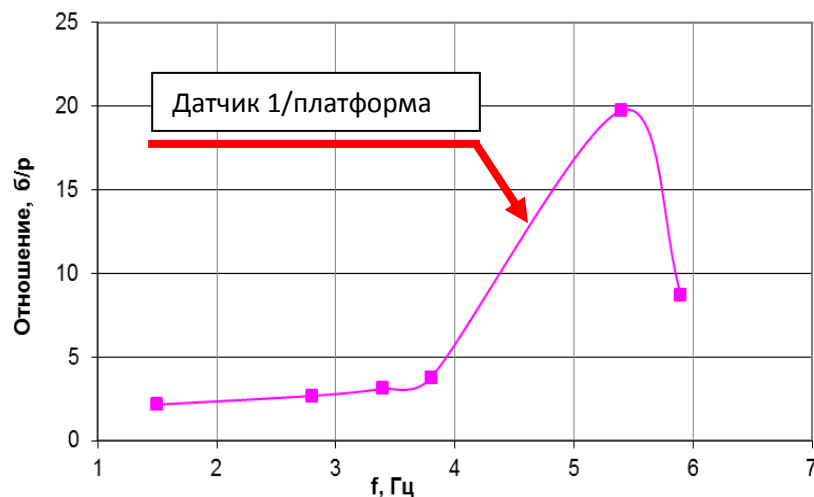


Рисунок 1.20 –. График зависимости отношения перемещений с датчиков (система/платформа) от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание фрагмента НФС

График, изображенный на рис. 1.20, характеризует зависимость перемещений фрагмента системы при горизонтальных колебаниях от платформы.

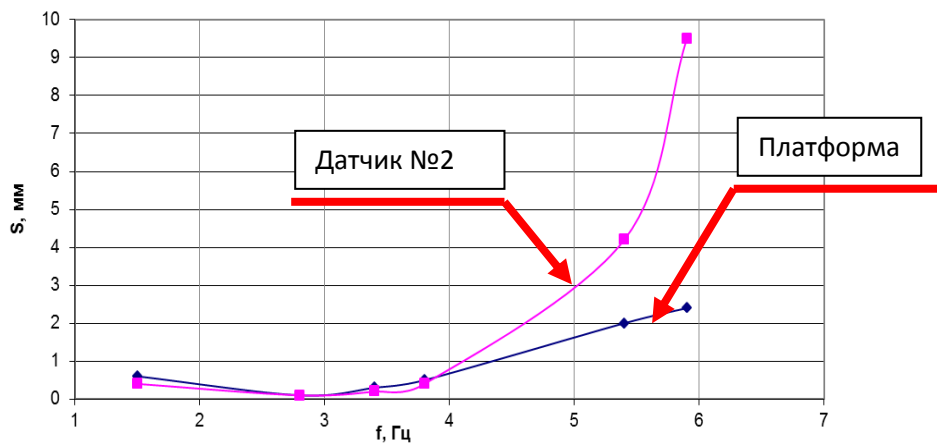


Рисунок 1.21 – График зависимости перемещения от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание фрагмента НФС

Как видно из рис. 1.21, пиковое значение перемещения (равное 9,5 мм) фрагмента НФС, записанное с датчика №2 при вертикальных колебаниях, зафиксировано при частоте 5,8 Гц. Максимальное значение перемещения платформы (равное 2,4 мм) отмечено при той же частоте.

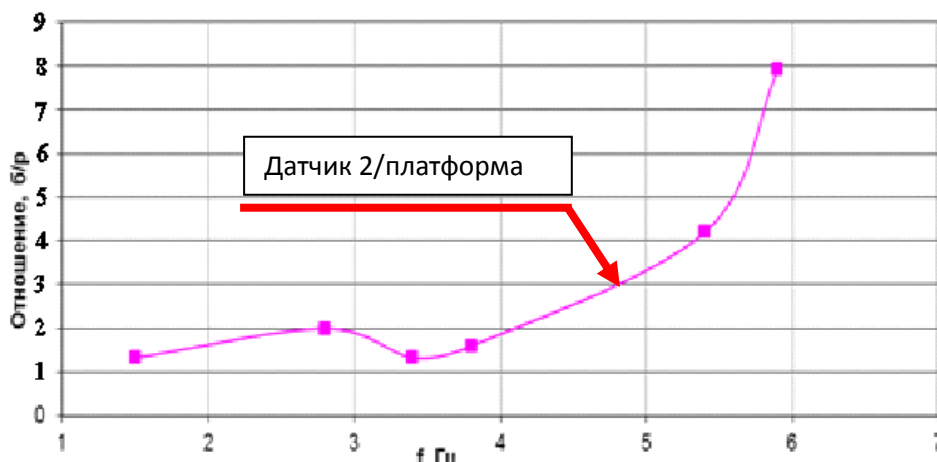


Рисунок 1.22–. Графики зависимости отношения перемещений с датчиков (система/платформа) от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание фрагмента НФС

График, изображенный на рис. 1.22, характеризует зависимость перемещений фрагмента системы при вертикальных колебаниях от платформы.

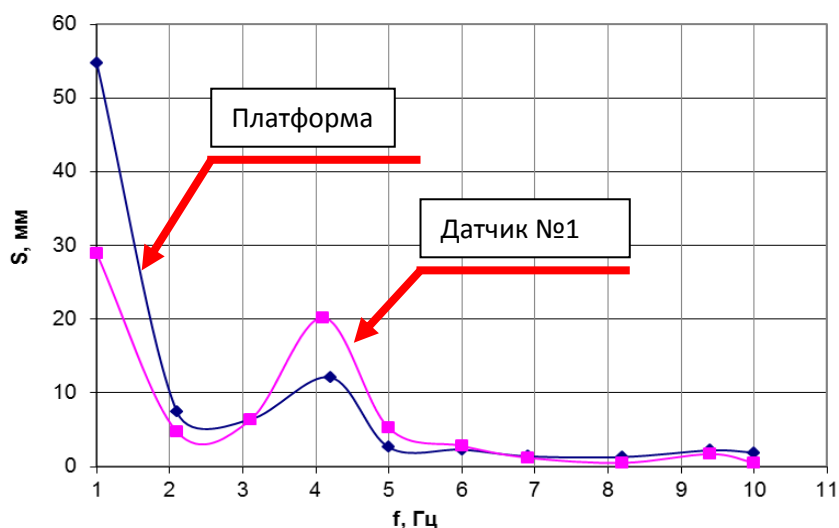


Рисунок 1.23 –. Графики зависимости перемещения от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание типовой НФС, получившей повреждения в процессе испытаний

Как видно из рис. 1.23, пиковое значение перемещения (равное 29мм) типовой НФС, записанное с датчика №1 при горизонтальных колебаниях, зафиксировано при частоте 1 Гц. Максимальное значение ускорения платформы (равное 55 мм) отмечено при той же частоте.

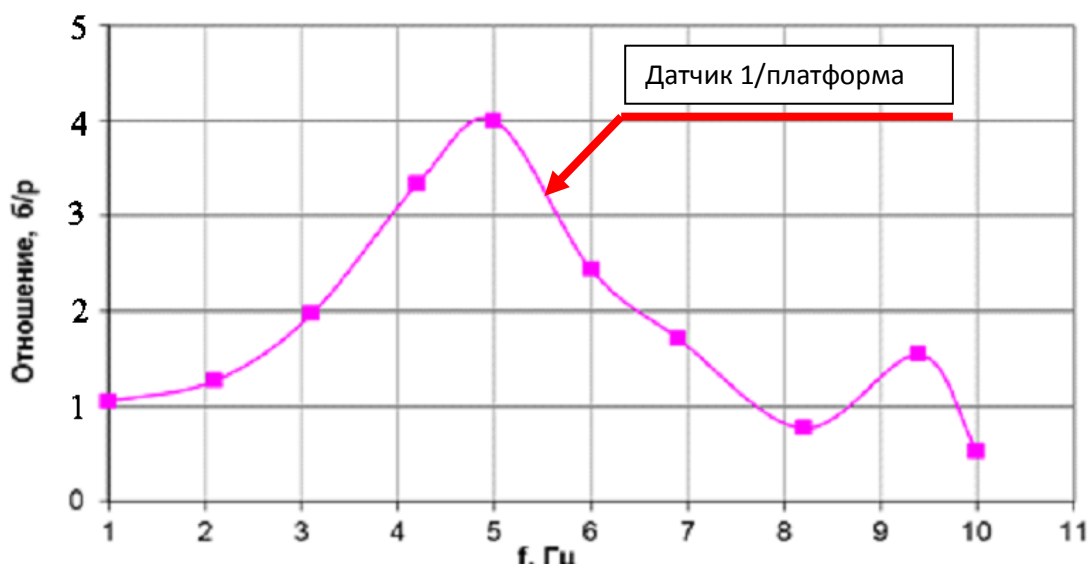


Рисунок 1.24 –. Графики зависимости отношения перемещений с датчиков (система/платформа) от частоты при горизонтальных колебаниях. Испытание типовой НФС, получившей повреждения в процессе испытаний

График, изображенный на рис. 1.24, характеризует зависимость перемещений типовой НФС при горизонтальных колебаниях от платформы.

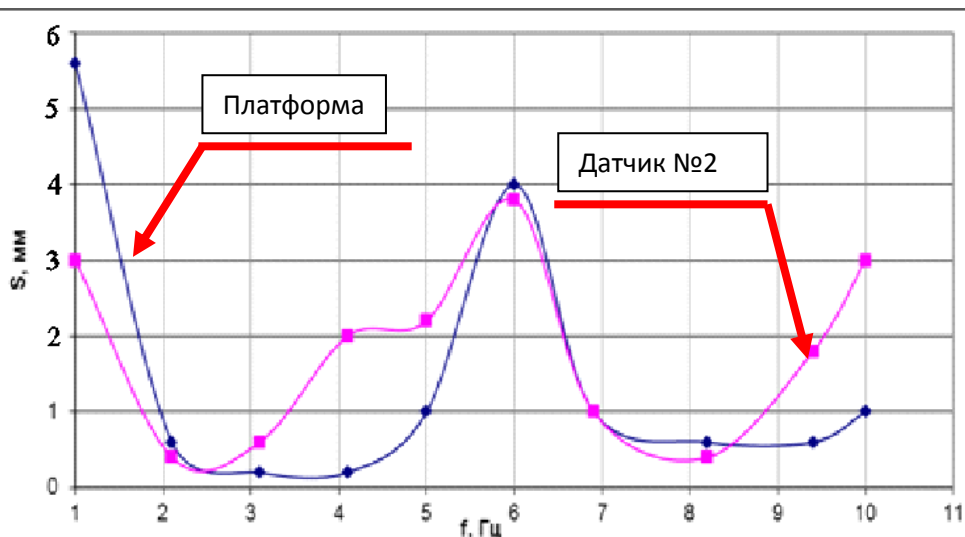


Рисунок 1.25 –. Графики зависимости перемещения от частоты при вертикальных колебаниях. Испытание типовой НФС, получившей повреждения в процессе испытаний

Как видно из рис. 1.25, пиковое значение перемещения (равное 3,8 мм) типовой НФС, записанное с датчика №2 при вертикальных колебаниях, зафиксировано при частоте 6 Гц. Максимальное значение ускорения платформы (равное 5,6 мм) отмечено при частоте 1 Гц.

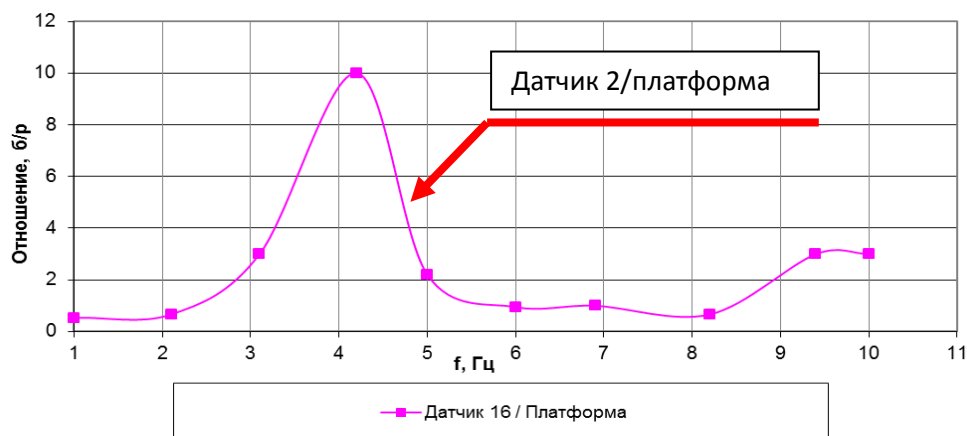


Рисунок 1.26 –. Графики зависимости отношения перемещений с датчиков (система/платформа) от частоты при вертикальных колебаниях

График, изображенный на рис. 1.26, характеризует зависимость перемещений типовой НФС при вертикальных колебаниях от платформы.

Акт внедрения результатов научно-исследовательской работы



Общество с ограниченной ответственностью

Строительная Компания «Современный Дом»

ИНН/КПП 6952013597/695001001 ОГРН 1076952023312 170001, г. Тверь, ул. Учительская д. 54

Тел./факс: (4822) 42-38-66 тел.:(4822) 41-72-63

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «СК Современный дом»

Мовчан Олег Викторович



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результатов научно-исследовательской работы

Настоящим Актом подтверждается, что результаты исследований Емельянова Алексея Андреевича по теме «Разработка и расчет конструкции фасадной системы с гибкими связями с учетом тепловой эффективности стенового ограждения зданий» использованы при модернизации навесной фасадной системы «Альт-фасад-02» на объекте «Торгово-офисный центр по адресу: г. Тверь, ул. Красина, д. 70» для решения задач по улучшению характеристик системы с облицовкой керамогранитными плитами. Затраты на отопление здания снизились на 8%

ИСПОЛНИТЕЛЬ

Технический директор ООО «СК Современный дом

Староверов В.В.

«14» января 2015 г.