

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Строительные конструкции и управляемые системы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
С.В. Деордиев
подпись инициалы, фамилия
«___» _____ 2022г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Особенности применения навесных фасадных систем
в суровых климатических условиях

Тема

Несущих элементов навесных фасадных систем

08.04.01 Строительство

код и наименование направления

08.04.03.01 Теория и проектирование зданий и сооружений

код и направление магистерской программы

Научный руководитель _____ доцент кафедры канд.техн.наук А.В. Фроловская
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ 412048114 Е.Э Широкова
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ А. Г. Матыскин
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. Обзор конструктивных решений фасадных систем, применяемых в условиях Крайнего севера. Проблемы, возникающие в период эксплуатации	9
1.1. Понятие «суровые климатические условия, циркумполярные города». Необходимость применения НФС в таких условиях	9
1.2. Конструктивные решения фасадных систем, применяемые в суровых климатических условиях.....	14
1.3. Выводы и постановка задач исследования.....	22
Глава 2. Исследование НДС и долговечности НФС с учетом влияния отрицательных температур и влияния коррозии на их несущую способность	24
2.1. Численные исследования влияния суровых климатических условий на напряженно-деформированное состояние НФС	24
2.2. Численные исследования влияния абразивного воздействия метелей на долговечность НФС	39
2.3. Вывод по главе 2.....	54
Глава 3. Экспериментальные исследования.....	55
3.1. Описание эксперимента, испытания и анализ полученных данных.....	55
3.2. Вывод по главе 3.....	60
Глава 4. Рекомендации по применению фасадных систем в суровых климатических условиях.....	61

4.1. Требования к навесным фасадным системам, применяемым в суровых климатических условиях.....	61
 4.1.1. при проектировании.....	61
 4.1.2. к материалам.....	62
 4.1.3. в период эксплуатации.....	64
4.2. Выводы по главе 4.....	65
Заключение.....	66
Список используемых источников.....	67

ВВЕДЕНИЕ

Навесная фасадная система (НФС) состоит из каркасной конструкции, непосредственно кронштейнов (под облицовочная система), слоя теплоизоляции, вертикальных и горизонтальных направляющих и облицовочного материала разного вида. Такого вида фасадные системы применяются как в новом строительстве, так и для ремонтно-восстановительных работ фасада здания. Данные фасады здания эстетичны, не сложны в монтаже, монтаж возможен круглогодично, возможно применить разнообразные цветовые решения, при деформации части НФС возможно не сложно заменить ее. Если сравнивать с окрашенными фасадами зданий, более долговечны, данные фасады спроектированы таким образом, что естественно вентилируются, энергоэффективны.

Отличительной особенностью «вентилируемого фасада» является наличие в его конструкции воздушного зазора, который гарантирует перемещение поднимающегося потока воздуха, образующегося по причине перепада давлений. В последние десятилетие в РФ все более известной делается внедрение аналоговых систем для реконструкции и в обустройстве фасадов всевозможных объектов. Это заключение позволяет решить сразу некоторое количество задач, связанных с увеличением энергоэффективности ограждения зданий. Первая - это удаление конденсационной влажности, возникающей в толще стенки. Теплоизоляционный слой в данном случае не увлажняется в процессе эксплуатации и что наиболее предохраняет изначальные собственные теплоизоляционные качества. Более того, воздушный зазор возможно рассматривать как температурный буфер, температура которого на 2-3 градуса больше температуры наружного воздуха. В итоге теплоизоляционные свойства возрастают в 1,5 раза. [4]

Одним из ведущих моментов, определяющих долговечность и безопасность навесной фасадной системы, является коррозионная устойчивость, как несущих элементов каркаса, так и крепежа.

Вопрос о долговечности отдельных строительных материалов в современных климатических условиях очень важен и требует пристального внимания к себе, т.к. коррозионные повреждения наносят большой вред конструкциям, происходит снижение долговечности конструкций, что приводит к дополнительным затратам на материалы.

Коррозия возникает в результате взаимодействия элементов каркаса НФС с атмосферой, в результате чего и происходит разрушение конструкции.

Научная новизна:

Оценка степени влияния низких температур наружного воздуха, и различных видов коррозии на несущие элементы навесных фасадных систем из алюминиевых сплавов.

Цель диссертационной работы:

Оценить влияние температуры наружного воздуха, а также агрессивных экологических факторов Крайнего Севера на несущие элементы навесных фасадных систем из алюминиевых сплавов.

Задачи исследования:

1. Анализ дефектов НФС от коррозионного разрушения во время эксплуатации зданий навесных фасадных систем в суровых климатических условиях.
2. Численные исследования разного вида коррозии в агрессивной среде на элементы НФС, влияние коррозии на несущую способность кронштейнов навесных фасадных систем из алюминиевых сплавов.
3. Исследование влияния низкой температуры на несущую способность кронштейнов навесных фасадных систем из алюминиевых сплавов.
4. Анализ полученных результатов, разработка рекомендаций по применению НФС в суровых условиях.

Методика исследования:

В работе реализован комплексный подход к проблеме включающий конструктивные проработки, математическое моделирование, натурные исследования в лабораториях и сопоставительный анализ результатов, разработка рекомендаций по применению НФС в суровых условиях г. Норильск.

Объект исследования:

Объектом исследования в данной работе выступает навесная фасадная система в г. Норильск из алюминиевого вертикального и горизонтального каркасов, установленных на алюминиевых кронштейнах, закрепленных на стеновом ограждении здания с помощью анкерных крепителей, скрепленных между собой алюминиевыми заклепками.

Теоретическая база исследования:

Теоретической базой исследования основана на техническом отчете об оценке конструкции навесных фасадных систем в городе Норильск, а также нормативной, технической литературой, и электронными ресурсами применения навесных фасадных систем как за рубежом, так и России в суровых климатических условиях, применены натурные исследования в лаборатории, применена ПК Ansys.

Практическое значение работы:

Показать сравнение математической модели с натурными обследованиями. Показать возможность применения навесных фасадных систем в суровых климатических условиях. Результаты работы могут быть использованы для дальнейших исследований в области оценки долговечности навесных фасадных систем в суровых арктических условиях.

Актуальность:

В городах, где агрессивные экологические и суровые климатические условия, фасады зданий и сооружений подвергаются повышенному износу, что приводит к снижению долговечности и несущей способности строительных конструкций.

С целью увеличения долговечности здания, повышения их энергосберегающих характеристик применяют навесные фасадные системы.

В данных условиях должно быть четкое понимание применения соответствующих конструктивных решений и материалов. Например, алюминиевая подсистема более устойчива к низким температурам, более корозийноустойчива.

Актуальность работы обоснована необходимостью решения вопросов повышения долговечности несущих элементов навесных вентилируемых фасадов в суровых климатических условиях и агрессивной окружающей среде.

На защиту выносятся:

1. Анализ дефектов НФС от коррозионного разрушения во время эксплуатации зданий на основе отчете об обследовании навесных фасадных систем в г. Норильск в суровых климатических условиях.
2. Исследование как влияет коррозия на несущую способность кронштейнов навесных фасадных систем из алюминиевых сплавов.
3. Исследование влияния низкой температуры на несущую способность кронштейнов навесных фасадных систем из алюминиевых сплавов.
4. Численное моделирование действия питтинговой, равномерной и контактной коррозии на кронштейны НФС из алюминиевых сплавов.

Структура работы. Работа состоит из четырех глав, текстовой части на 71 страницах включая 57 рисунков, 6 таблиц.

Глава 1. Обзор конструктивных решений фасадных систем, применяемых в условиях Крайнего севера. Проблемы, возникающие в период эксплуатации

1.1. Понятие «суровые климатические условия, циркумполярные города». Необходимость применения НФС в таких условиях

Циркумполярные города.

Циркумполярные города – это города, относящиеся к одной из полярных зон Земного шара, которые находятся вблизи полярного круга. Характеризуются средней годовой температурой ниже минус 30°C, снеговыми осадками в данных районах и их количеством, которое в нем выпало, так же высокой скоростью ветра.

К таким городам относится город Норильск. город Норильск один из самых холодных регионов России.

Понятие «суровые климатические условия»

Россию в основном считают страной холодов. Температура зимой может достигать минус 60°C и потому этот регион один из самых холодных в мире.

В России есть арктические зоны, климатические условия в них суровые, холодные. Один из таких городов Норильск, на рисунке 1 видно, город находится в наиболее суровых условиях. Этот регион является зоной вечной мерзлоты, где есть многолетние мерзлые породы мощностью от 40 до 80м. Так же один из самых загрязненных городов, где предприятия производят вредные выбросы в атмосферу: диоксид серы, фенола, частицы тяжелых металлов. Все эти примеси очень хорошо чувствуются в воздухе.

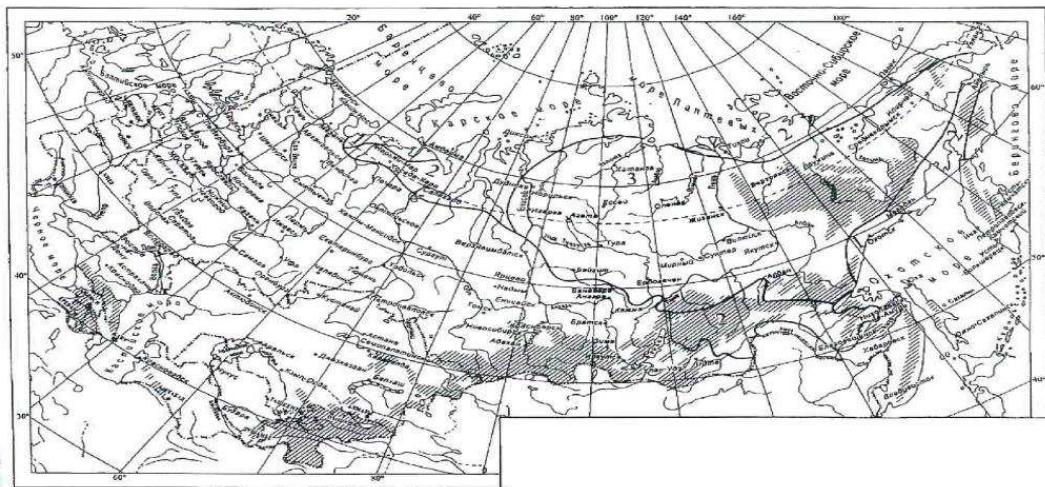


Рисунок 1 – Климатическая карта России

Необходимость применения НФС в таких условиях

Фасадная система формирует наружную защитную оболочку здания и выполняет ограждающие и декоративные функции. В суровых климатических условиях навесные фасадные системы необходимы для сохранения тепла в зданиях, благодаря тому, что в состав данной системы входит утеплитель. Кроме того, панели навесной фасадной системы защищают сами стены от разрушения, ветра, осадков.

Несущей частью НФС является подсистема, она передает нагрузку от веса облицовки на стены здания (рисунок 2).



Рисунок 2 - Элементы навесной фасадной системы

Так же такие системы защищают здание от техногенных аварий, пожаров, землетрясений. Чтобы исключить трещины в облицовочном слое,

необходимо исключить возникновение внутренних усилий в несущих элементах, такой способностью и обладает навесная фасадная система.

Подсистема будет отвечать всем параметрам лишь при детальной проработке проекта со всеми требованиями в соответствии с нормами и правилами, точном расчете конструкции, а также качественном устройстве фасадной системы, соответствующим качеством материала для этих систем.

При детальном изучении отчета, выполненного ПАО «Норильский Никель», проведенного в городе Норильск с учетом обязательных требований строительных, пожарных, экологических и санитарных норм, а также норм безопасности в соответствии с действующим законодательством производится оценка пригодности НФС в суровых климатических условиях (далее по тексту СКУ), можно увидеть, как проходит разрушение стального каркаса НФС.

У навесных фасадных систем много достоинств, нежели недостатков, они представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Достоинства навесных фасадных систем

№ п/п	Достоинства НФС	Описание
1	Долговечность	Вентилируемый фасад, благодаря применяемым материалам и элементам подконструкции, не теряет свои качества в течение длительного времени и защищает здание от атмосферных факторов.
2	Монтаж в любое время года	Благодаря отсутствию «мокрых» процессов монтаж навесного вентилируемого фасада, в отличии от многослойной штукатурной систем, практически не зависит от погодных условий и может проводиться в любое время года.

Продолжение таблицы 1 на следующей странице

Продолжение таблиц 1

№ п/п	Достоинства НФС	Описание
3	Выравнивание значительных неровностей стены	Навесной фасад позволяет не только скрыть все строительные дефекты стены, но и устранить значительные неровности фасада, столь характерные для российского строительства, что сделать с применением штукатурок часто сложно и дорого, а порой и невозможно технологически.
4	Защита от воздействия влаги	Навесные вентилируемые фасады являются наилучшим решением для ограждения и защиты внешних стен от воздействия влаги. Облицовка защищает, а воздушный зазор вентилирует.
5	Защита летом	Использование системы навесного вентилируемого фасада позволяет значительно улучшить показатели теплозащиты ограждающих конструкций. Снаружи размещается теплоизоляционный слой необходимой толщины, что позволяет надежно защитить здание от нежелательного перегрева летом.
6	Защита зимой	Использование системы навесного вентилируемого фасада позволяет значительно улучшить показатели теплоизоляции ограждающих конструкций. Снаружи размещается теплоизоляционный слой необходимой толщины, что позволяет надежно защитить здание от нежелательного переохлаждения зимой.
7	Звукоизоляция	Существенно повышаются звукоизоляционные характеристики стены, поскольку фасадные панели и теплоизоляция обладают звукопоглощающими свойствами в широком диапазоне частот.

Продолжение таблицы 1 на следующей странице

Продолжение таблиц 1

№ п/п	Достоинства НФС	Описание
8	Легкость конструкции	Удивительная легкость всей фасадной системы позволяет предъявлять минимальные требования к несущей способности, ограждающей конструкции, на которую производится крепление навесного фасада.
9	Пожаробезопасность	Обеспечивает включением в конструкцию трудносгораемых и несгораемых материалов.
10	Легкость ремонта	Конструкция навесного вентилируемого фасада позволяет быстро, без демонтажа всей конструкции проводить ремонт и замену отдельных его частей, что значительно удешевляет и уменьшает объем ремонтных работ. Это особенно актуально в ситуациях вандализма, порчи фасада.
11	Красота и современный стиль	Одно из главных достоинств современных фасадов, огромный выбор облицовочных материалов и разнообразия их цветовой гаммы, форм конструкций.

Основой качественной установки и использования навесных фасадных систем возможна только благодаря соблюдении технических требований при разработке проекта, а также следованию данному проекту при монтаже конструкций, предъявляемых проектировщиками данной системы.

Могут быть допущены ошибки, как при проектировании, так и при монтаже конструкций, вследствии чего качество монтажа конструкции будет низкой и не надежной, Монтаж могут осуществлять только квалифицированные специалисты по монтажу данной конструкции.

Преимущества навесных фасадных систем

В городах где агрессивные экологические и суровые климатические условия здания и сооружения подвержены более сильному износу, чем здания в городах с умеренным климатом и менее агрессивной экологической средой.

Есть необходимость увеличить долговечность здания за счет какого - либо конструктивного решения. Таким решением и является навесная фасадная система (рисунок 3), которая более устойчива к таково вида условиям. Ее алюминиевая подсистема более устойчива к низким температурам, более корозийноустойчива.



Рисунок 3. Пример навесной фасадной системы

1.2. Конструктивные решения фасадных систем, применяемые в суровых климатических условиях

1. Кронштейны НКГ длиной от 95 до 345мм (по факту длиной от 95 до 120мм), изготовленные из стали оцинкованной (нержавеющей стали и

дюралюминиевого листа) толщиной 1,5мм. Утеплитель - тип и толщина теплоизоляции определяется теплотехническими расчетами и указывается в проекте.

2. Горизонтальный каркас представляет собой несущие горизонтальные профили (НК4) из стали толщиной 1,5мм, крепящиеся к кронштейнам самонарезающимися шурупами размером 4,2x19мм в соответствии с детализированными схемами. Размеры и шаг направляющих горизонтального каркаса указываются в проекте, но шаг не должен превышать 1000мм. Типовым решением является шаг 1000мм. Для компенсации температурного движения направляющих горизонтального каркаса необходимо оставлять в конструкциях температурный зазор 3-5мм через каждые 5метров в горизонтальном направлении.

3. Вертикальный каркас представляет собой несущие профили (НК2, НК3, НК5) из стали толщиной 1,2мм, крепящиеся к горизонтальному каркасу стальными самонарезающимися шурупами размером 4,2x19мм в соответствии с детализированными схемами. Вертикальный профиль используется в вертикальных стыках фасадных плит. Вертикальный половинный профиль используется для крепления средней части фасадных плит, а также в конструкциях наружного и внутреннего углов и бокового откоса окна. Для компенсации температурного движения несущих вертикальных профилей необходимо оставлять в конструкциях температурный зазор.

4. Кляммеры (НК6) крепятся к вертикальному профилю: цельные на четырех саморезах, половинные и четвертные – на двух саморезах.

5. Фасадные плиты размером 750x750мм (757мм с учетом размера расшивки кляммер - 7мм). Плиты устанавливаются на- кляммеры крепятся саморезами к вертикальному профилю.

6. Технологическая оснастка уплотнительная лента шириной 36мм и 60мм металлические планки, окрашенные порошковыми красителями заклепки стальные 4,2x25, окрашенные для крепления плит к вертикальным профилям. Уплотнительная лента шириной 36мм используется для герметизации открытых вертикальных швов, а также в качестве прокладочного материала на скрытых (половинных) вертикальных профилях. Лента шириной 60мм используется для герметизации внутренних углов подкладывается под планки внешнего угла и вертикального шва.

7. Материалы для изготовления несущих элементов каркаса НВФ «ФАСТ-Ч»: сталь оцинкованная, сталь нержавеющая, дюоралюминиевый лист. Крепежные элементы выполняются из стали с оцинкованным покрытием. [1]

Проблемы и дефекты, возникающие на фасадах зданий, в период эксплуатации

Анализ сделан на основе технического отчета об оценке навесных фасадных систем в городе Норильск.

За основу взяты общие сведения о здании, в котором применяются навесные фасадные системы:

Год ввода в эксплуатацию здания – 1983;

Количество этажей – 5;

Материал наружных стен - кирпич, панели керамзитобетонные;

Год устройства - навесных фасадов – 2007;

Площадь навесных вентилируемых фасадов - 2200м²;

Среда эксплуатации – среднеагрессивная с преобладанием соединений окиси серы и сероводорода.

Используемая техническая документация при обследовании:

1. альбом технических решений «Система навесного вентилируемого фасада «ФАСТ-Ч» разработанный ООО «СМУ-101», коммерческий представитель ОАО «ЧЭТЗ-Трейд», г. Чебоксары.;
2. чертежи проекта № 363484-АР л. 1-6 Норильского филиала «Институт «Норильскпроект» ООО «Институт «Гипроникель».;
3. чертежи проекта №: 1625-10-API- л.1; 38.019-АС л. 14 проектного института «Промстройпроект», г. Ленинград.;
4. чертеж проекта 38.012-АР- л. 1 Норильского отдела института «Гипроникель».;
5. отдельные чертежи проекта ОАО «ЧЭЗ» на устройство системы навесного вентилируемого фасада на здание ЦБК НМЗ.

Ввиду не предоставления проектной документации на устройство НВФ на здании АБК «Южный» отклонения от проектных решений определены в соответствии с проектом устройства НВФ на здание ЦБК (применительно).

Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций технического состояния конструктивных элементов НВФ производилось в соответствии с ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения». Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Конструктивное решение системы навесного вентилируемого фасада согласно альбому технических решений «Система навесного вентилируемого фасада «ФАСТ-Ч», (далее по тексту - Альбом, НВФ):

НВФ «ФАСТ-Ч» представляет собой систему из вертикального и горизонтального каркасов, установленных на кронштейнах, закрепленных на стеновом ограждении здания с помощью анкерных крепителей. Длина крепителей выбирается в зависимости от материала стены. Используются три

основных типоразмера анкерных крепителей -10x100; 10x200; 10x250мм. Для устранения мостика холода под кронштейны и анкера устанавливаются паронитовые прокладки. Не допускается установка кронштейнов без комплекта паронитовых прокладок.

Фасадные панели закрепляются на каркасе кляммерами и саморезами.

Проектные конструктивные решения узлов крепления элементов навесного фасада в карнизной (парапетной) и цокольной части здания предусматривают наличие технологического зазора для увеличения притока и улучшения циркуляции воздуха между наружной стеной и навесной системой.

Результаты обследования:

Обследование производилось в местах свободного доступа к конструкциям вентилируемого фасада.

В ходе обследования выявлены следующие дефекты и повреждения конструктивных элементов фасадной системы:

Кронштейны НК1:

1. неравномерная коррозия кронштейнов, противокоррозионное покрытие разрушено, коррозионный износ составляет от 3-до 15%;
2. крепление горизонтальных профилей НК4 к кронштейнам на отдельных участках выполнено одним саморезом;
3. отсутствуют прокладки между стеной и кронштейнами.

Несущие вертикальные и горизонтальные профили НК5, НК4, НК3, НК2:

1. разрушено антикоррозионное покрытие на открытых поверхностях профилей, коррозия элементов неравномерная, коррозионный износ

от 10 - 40%;

2. в местах стыков вертикальных шляпных профилей НК2 и Z-образных НК3 между собой и с фасадными плитами элементы подвержены общей неравномерной коррозии до 20%, на открытых участках окрасочный слой отсутствует;

3. все саморезы, значительно коррозированы (уменьшение площади поперечного сечения до 30%).

Фасадные плиты:

1. отсутствует уплотнительная лента между фасадными плитами и вертикальными профилями;

2. все саморезы закрепляющие плиты каркасу подвержены интенсивной коррозии;

3. отсутствуют водоотлив на окне на 5 этаже;

4. частично отсутствует отлив на выступающей части здания на отметке +3,950 в осях А-В/10; К/9-8; К/5-4.

В карнизной и цокольной частях здания не выполнены технологические зазоры, улучшающие циркуляцию воздуха.

Установка теплоизоляционных плит при устройстве НВФ не выполнена.

Навесной вентилируемый фасад используется в качестве защитно-декоративной отделки здания.

Критерии оценки долговечности можно разделить на три группы:

1. По прочности;

2. По физическим свойствам;

3. По другим свойствам (критерии, не входящие в первую

и вторую группы).

Долговечность конструкции навесной фасадной системы с точки зрения ее механической прочности на весь период эксплуатации напрямую зависит от:

1. качество поверхности крепления конструкции;
2. способ крепления основных элементов конструкции (кронштейны, направляющие);
3. применяемые материалы как для подоблицовочных конструкций, так и защитного экрана;
4. размер руста;
5. определение вида и значений нагрузок, которые будут действовать во время монтажа и эксплуатации;
6. выбор расчетных схем каждого из несущих элементов, соответствующих реальным условиям работы системы;
7. надежность несущих элементов НФС и их узлов крепления, которые напрямую зависят от параметров системы и корректного расчета каждого из несущих элементов, включая узлы сопряжений несущих элементов.

На основе этого сделаны следующие выводы.

Выводы по результатам обследования:

1. Монтаж системы навесного вентилируемого фасада здания АБК «Южный» выполнен с многочисленными дефектами, снижающими несущую способность и общую устойчивость конструкции.
2. Несущие элементы системы навесного вентилируемого фасада выполнены из углеродистой стали обыкновенного качества, с

антикоррозионным лакокрасочным покрытием. Данная сталь в агрессивных средах подвержена интенсивным коррозионным процессам: в среднеагрессивной среде (воздушная среда с парами воды и соединениями окиси серы и сероводорода) имеет место периодическое образование на стальных элементах конструкций конденсата, способствующего интенсивному развитию коррозии.

Коррозия возникает и развивается как в местах повреждений антикоррозионного покрытия (в местах подрезки стали и крепления саморезов), механических повреждений, царапин, отслоений лакокрасочного покрытия), так и на участках с визуально неповрежденным защитным покрытием.

В таблице 2 приведены изменения конструктивных элементов с течением времени.

Таблица 2. Коррозионные изменения, прошедшие в период 2012-2019гг.

№ п/п	Конструктивный элемент	Толщина металла в 2012г. (неповрежденного коррозией)	Толщина металла в 2019г.	Примечание
1	2	3	4	5
1	Стальные листы НК1	2	1,8	
2	Стальные листы горизонтального каркаса	1,6	1,1-1,6	
3	Стальные листы вертикального каркаса	1,4	0,8-1,4	

За 7 лет эксплуатации навесного фасада, коррозионный износ составил (в местах обследования):

1. несущих конструктивных-элементов – от 10 до 40%;

2. крепежных элементов (саморезов) до 30%;
3. В ходе проведения обследований выявлены дефекты и повреждения конструктивных элементов;
4. В целом, состояние навесного вентилируемого фасада здания можно оценить, как «недопустимое техническое состояние»: категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, характеризующая снижением несущей способности и эксплуатационных характеристик, при котором существует опасность для пребывания людей и сохранности оборудования (необходимо проведение страховочных мероприятий и усиление конструкций).

Конструктивные решения фасадных систем, применяемые в суровых климатических условиях

Применяются конструкции: кронштейны - НК1, Несущие вертикальные и горизонтальные профили - НК5, НК4, НК3, НК2 и фасадные плиты.

Материалы для изготовления несущих элементов каркаса НВФ «ФАСТ-Ч»: сталь оцинкованная, сталь нержавеющая, дюралюминиевый лист. Крепежные элементы выполняются из стали с оцинкованным покрытием. [1]

1.3. Выводы и постановка задач исследования

На сегодняшний день существуют проблемы при эксплуатации стальных элементов навесных фасадных систем в СКУ: дефекты, а также коррозия элементов фасадной системы, которая имеет большую степень влияния и приводит к снижению долговечности системы (рисунок 4).



Рисунок 4. Элементы стальной подсистемы

Так как алюминиевые сплавы более стойкие к низким температурам и более коррозионностойкие по сравнению с другими материалами, выполним дальнейшие исследования навесных фасадных систем из алюминиевых сплавов.

На основе исследования сделаем выводы о применении навесных фасадных систем в суровых климатических условиях.

Объектом численного исследования будет кронштейн и профиль из алюминиевого сплава. Кронштейн и профиль будет натурно испытан, на основе показателей испытания, будет проводиться расчет конструкции каркаса навесного вентилируемого фасада. Расчет будет вестись на преимущества использования такого каркаса в суровых климатических и техногенных условиях крайнего севера.

Глава 2. Исследование НДС и долговечности НФС с учетом влияния отрицательных температур и влияния коррозии на их несущую способность

2.1. Численные исследования влияния суровых климатических условий на напряженно-деформированное состояние НФС

Метод решения: метод конечных элементов в программном комплексе ANSYS.

1. Создание геометрической модели;
2. Построение расчетной сетки;
3. Расчет конструкции НФС при низких температурах. На данном этапе необходимо задать свойства материалов, граничные и начальные условия задачи, выбрать метод расчета, настроить решатель в соответствии с принятой физико-математической моделью и задать требуемую точность расчета;
4. Анализ полученных результатов применения НФС при низких температурах.

Описание модели:

1. Кронштейн НК55-Ц2Р;
2. Профиль Г-образный, НК-16А из алюминиевого сплава;
3. Заклепка К 10.Н.

Расчет температурных климатических воздействий для г. Норильск.

Следует учитывать, что конструкции не защищены от суточных и сезонных изменений температуры;

Для расчета нормативного значения изменения средней температуры в теплое и холодное время года применяются формулы (1) и (2):

$$\Delta t_w = t_w - t_{0c}, \quad (1)$$

$$\Delta t_c = t_c - t_{0w} \quad (2)$$

где t_w, t_c – нормативные значения изменения средних температур по сечении элемента в теплое и холодное время года;

t_{0c}, t_{0w} – начальные температуры в теплое и холодное время года.

Принимаем расчет для неотапливаемых зданий, формулы 3,4.

$$t_w = t_{ew} \quad (3)$$

$$t_c = t_{ec} \quad (4)$$

$$t_{ew} = t_{max} - 0.5A_{VII} = 30 - 0.5 \cdot 9.3 = 25.35^{\circ}\text{C};$$

$$t_{ec} = t_{min} + 0.5A_I = -50 + 0.5 \cdot 8 = -46^{\circ}\text{C};$$

$$t_{0w} = 0.8t_{VII} + 0.2t_I = 0.8 \cdot 13.7 + 0.2 \cdot (-28.1) = 5.34^{\circ}\text{C};$$

$$t_{0c} = 0.2t_{VII} + 0.8t_I = 0.2 \cdot 13.7 + 0.8 \cdot (-28.1) = -19.74^{\circ}\text{C};$$

Подставляем полученные значения в формулы 1 и 2.

$$\Delta t_w = 53.62^{\circ}\text{C}, \Delta t_c = -61.6^{\circ}\text{C}.$$

Следует помнить, что алюминиевые сплавы имеют свойство повышать предел свой прочности при воздействии на них низких температур до минус 270°C.

Принимаем для расчета в программном комплексе ANSYS температуру минус 61,6°C. Выполним расчет.

Построена модель подсистемы навесного вентилируемого фасада (рисунок 5) и произведен расчет данной подсистемы в ПК «ANSYS».

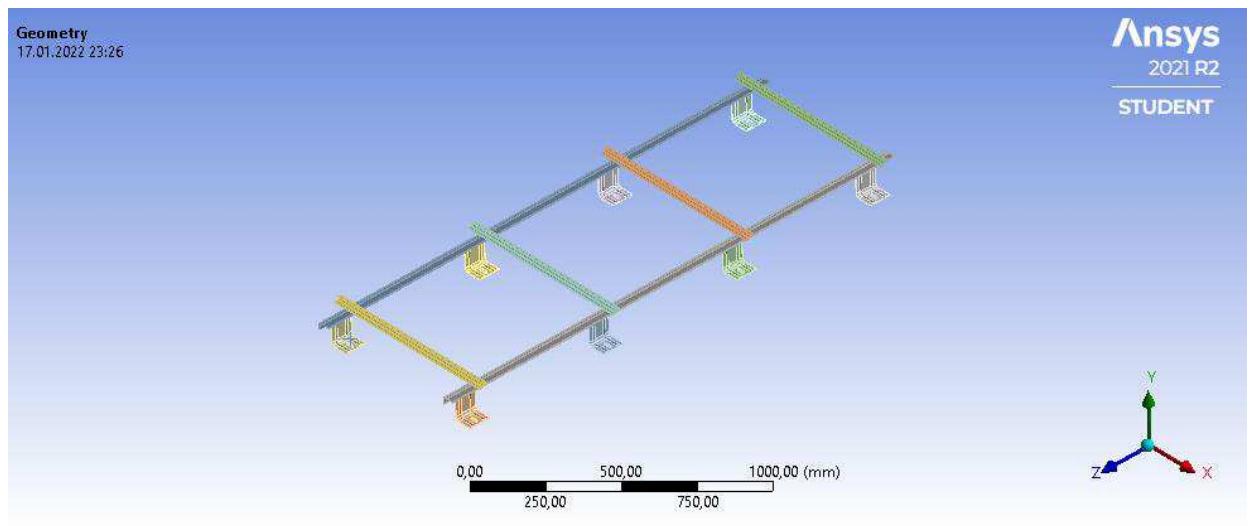


Рисунок 5. Модель навесной фасадной системы

Подсистема состоит из алюминиевых кронштейнов, к которым крепится алюминиевая Г-образная вертикальная направляющая, все элементы между собой крепятся на заклепках. Кронштейны к стене крепятся на анкеры через паронитовую прокладку, затем укладывается слой утеплителя, который крепится тарельчатыми дюбель, после чего собираются горизонтальные, вертикальные, угловые направляющие, к которым в последующем на заклепки крепятся фасонные элементы и облицовочные кассеты.

Выполнение расчета НФС с заклепками, с применением контактов «No separation» в местах крепления заклепок.

Выполним построение сетки.

Значение параметра сетки size – 50мм.

Данная сетка показана на рисунке 6.

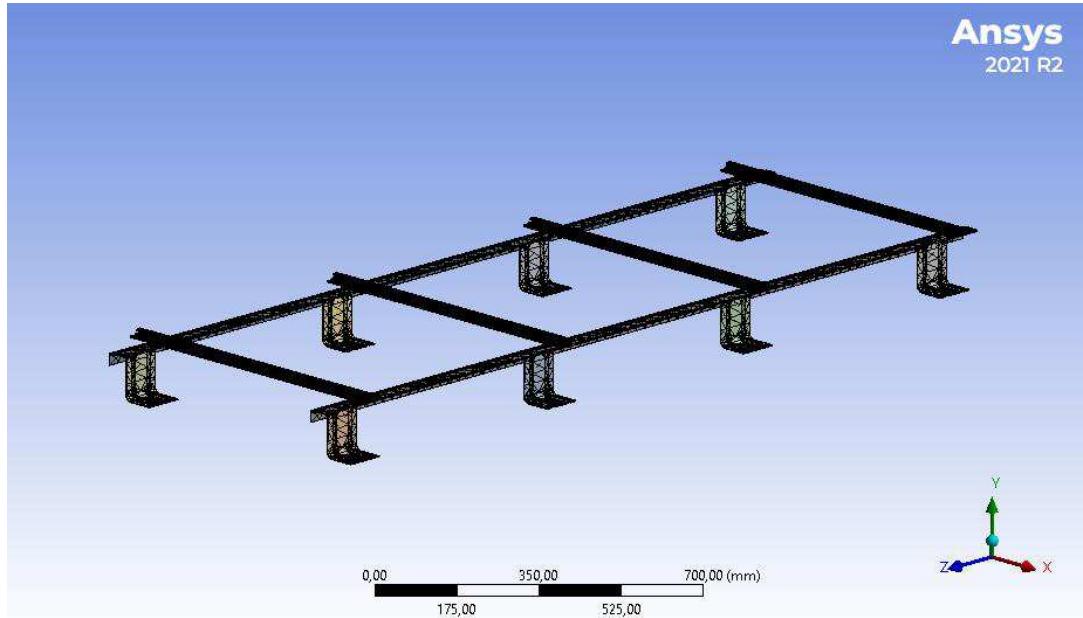


Рисунок 6. Сетка на модели

Изменения температуры прикладываются только на профили, потому как на кронштейны (рисунок 7) после их установки на несущую стену, укладывается слой утеплителя.

За основу взяты алюминиевые сплавы марки АД0, АД31, предел прочности данных сплавов 80 и 250Мпа, соответственно. Уставим параметры температуры, данные отображены на рисунке 7.

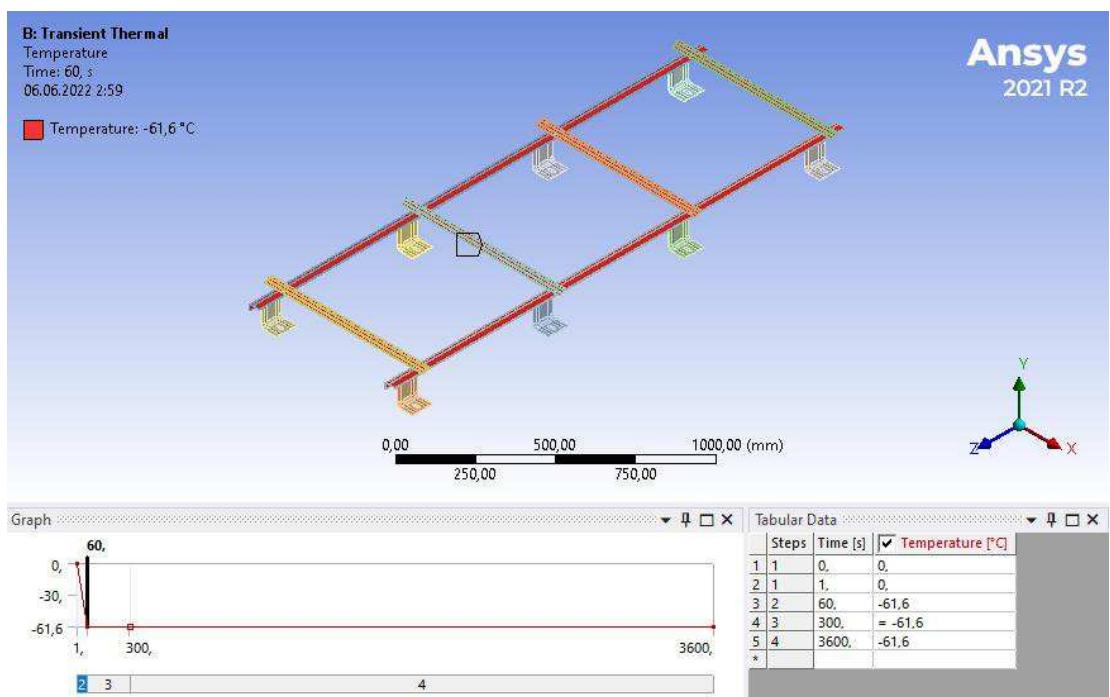


Рисунок 7. Установленная температура

Рассчитали конвекцию и применили ее к данной модели, данные показаны на рисунке 8.

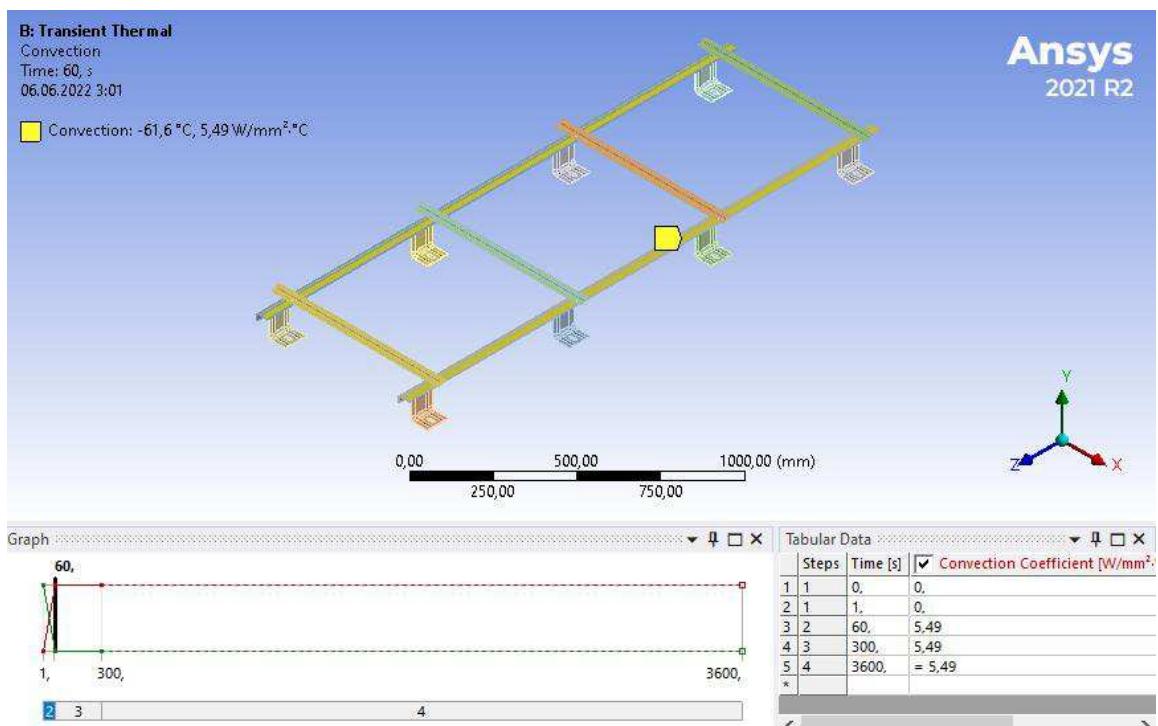


Рисунок 8. Применение конвекции

Также применяем значения излучения, показаны на рисунке 9.

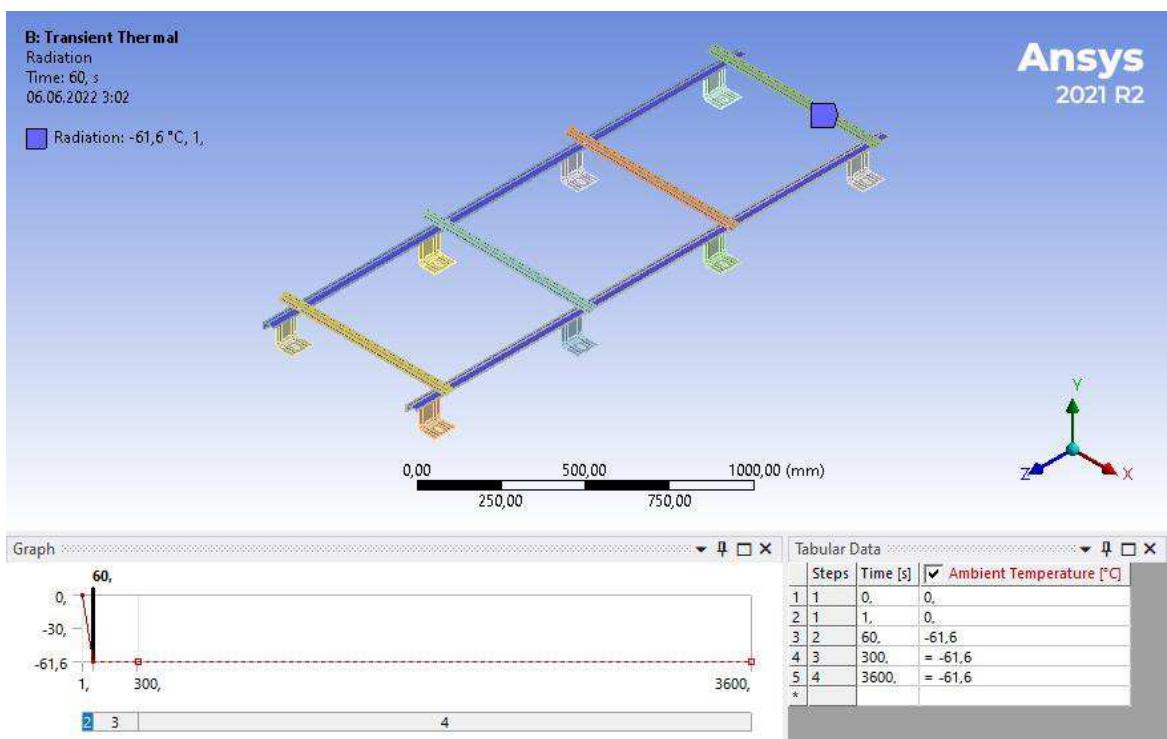


Рисунок 9. Применение излучения

Полученные результаты при расчете в модуле Transient Thermal показаны на рисунках 10-13.

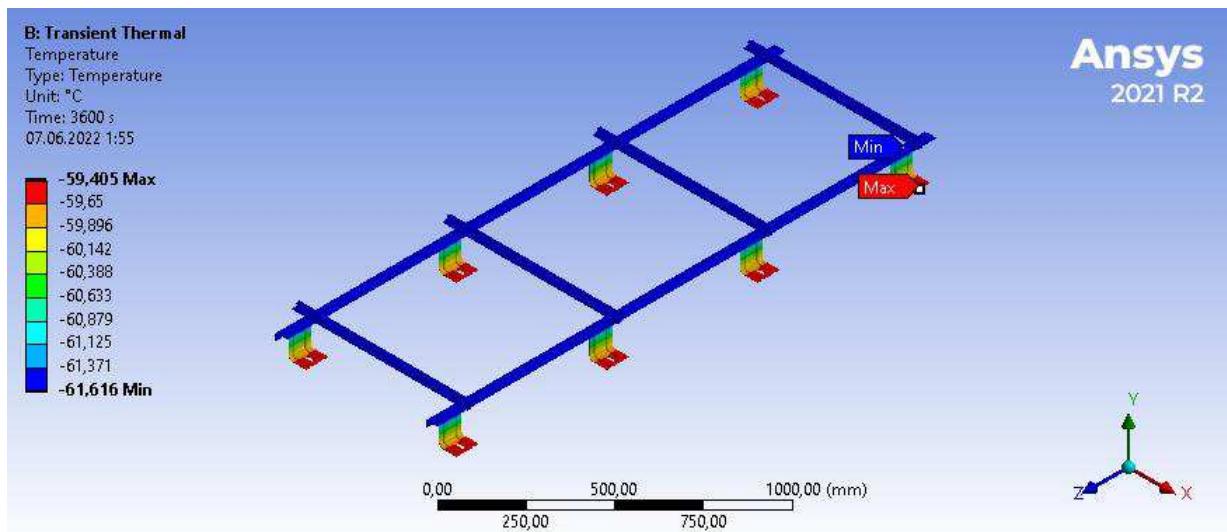


Рисунок 10. Температура в минус 61,6°C АД0

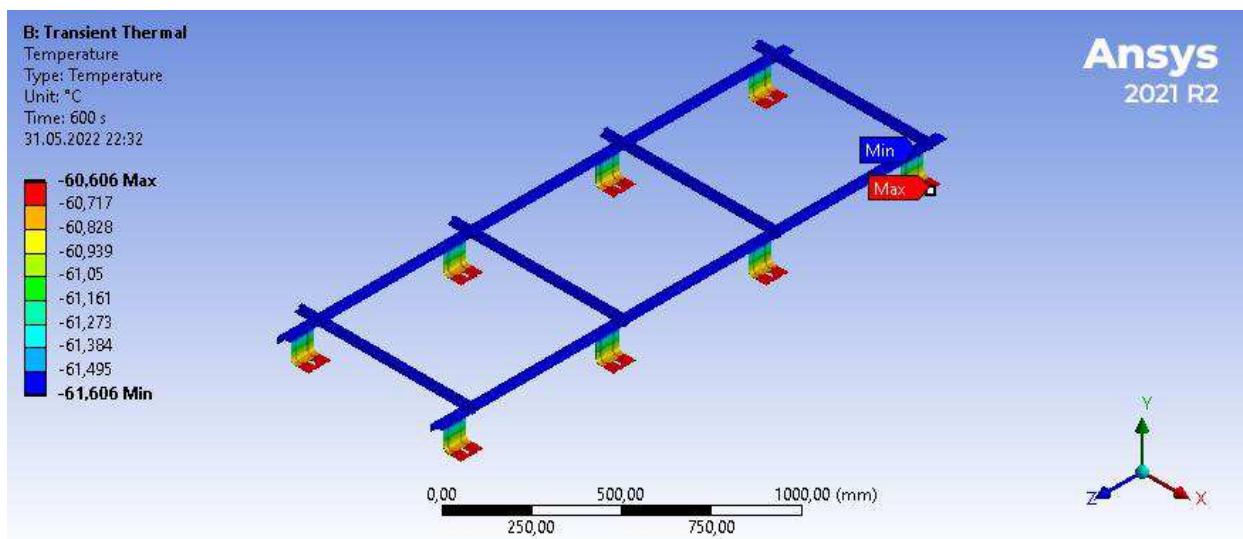


Рисунок 11. Температура в минус 61,6°C АД31

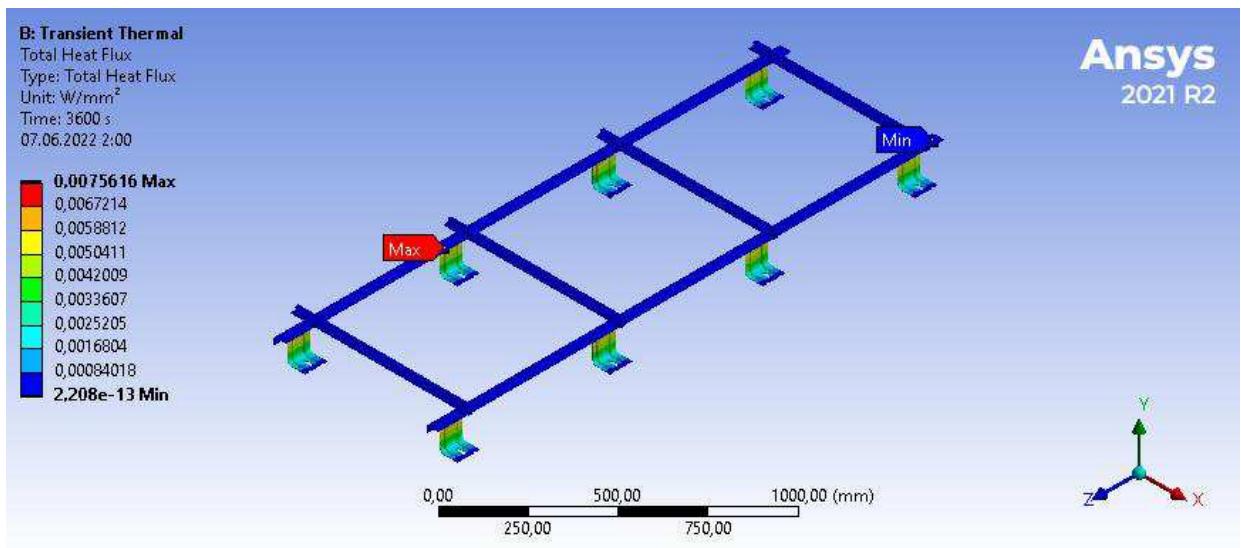


Рисунок 12. Общий тепловой поток АД0

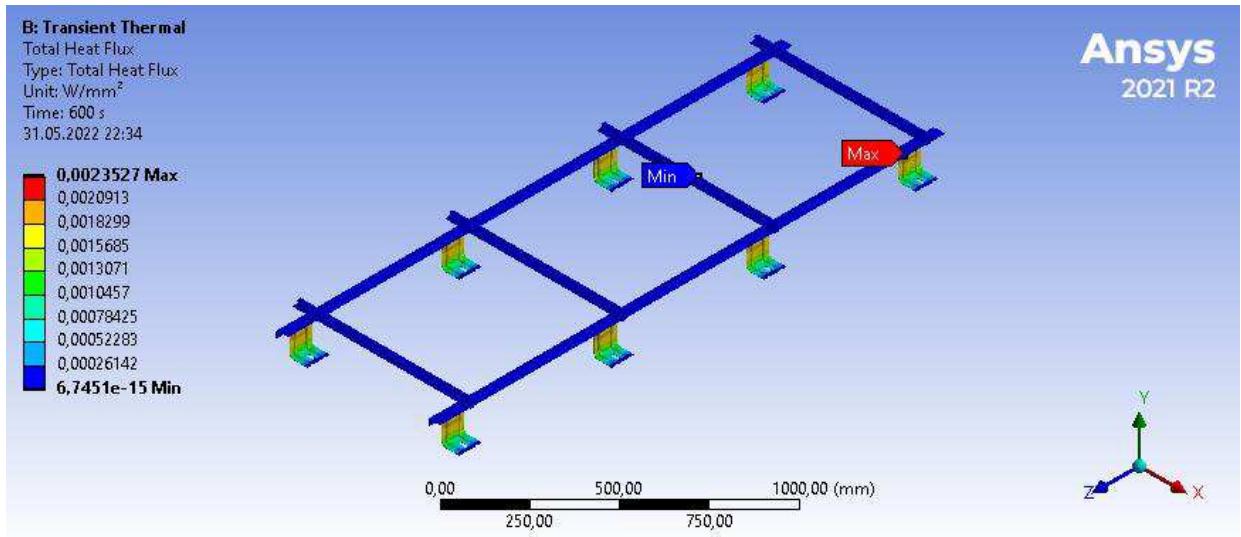


Рисунок 13. Общий тепловой поток АД31

Выполним расчет в модуле Static Structural.

Выполним жесткое закрепление кронштейнов Fixed Supports (имитация крепления кронштейнов к несущей стене здания), показано на рисунке 14.

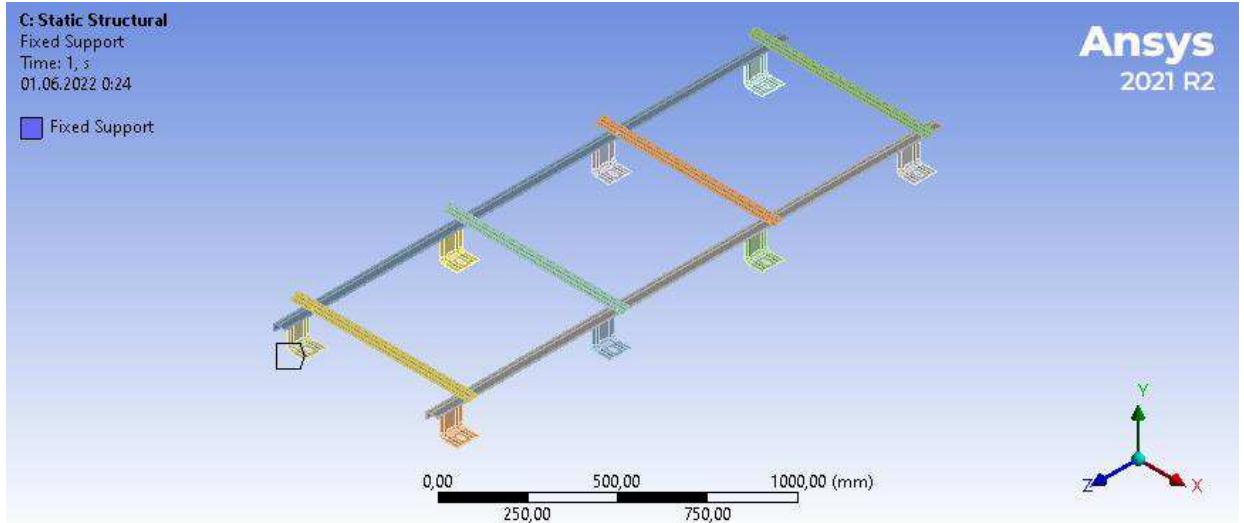


Рисунок 14 – Модель с жестко закрепленными кронштейнами

Полученные результаты показаны на рисунке 15-18:

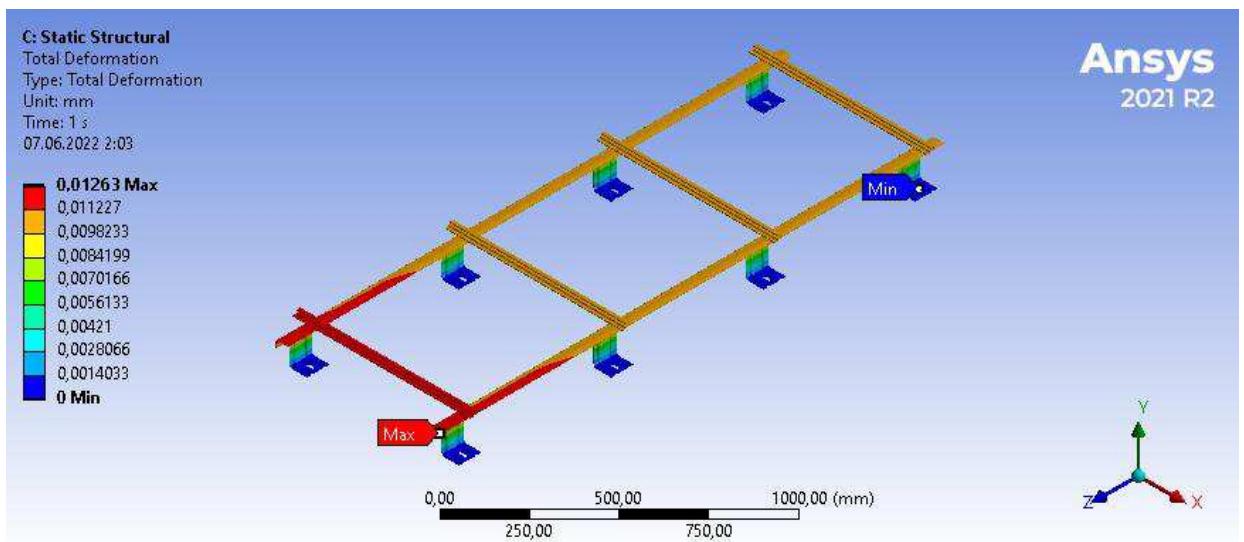


Рисунок 15. Направленная деформация АД0

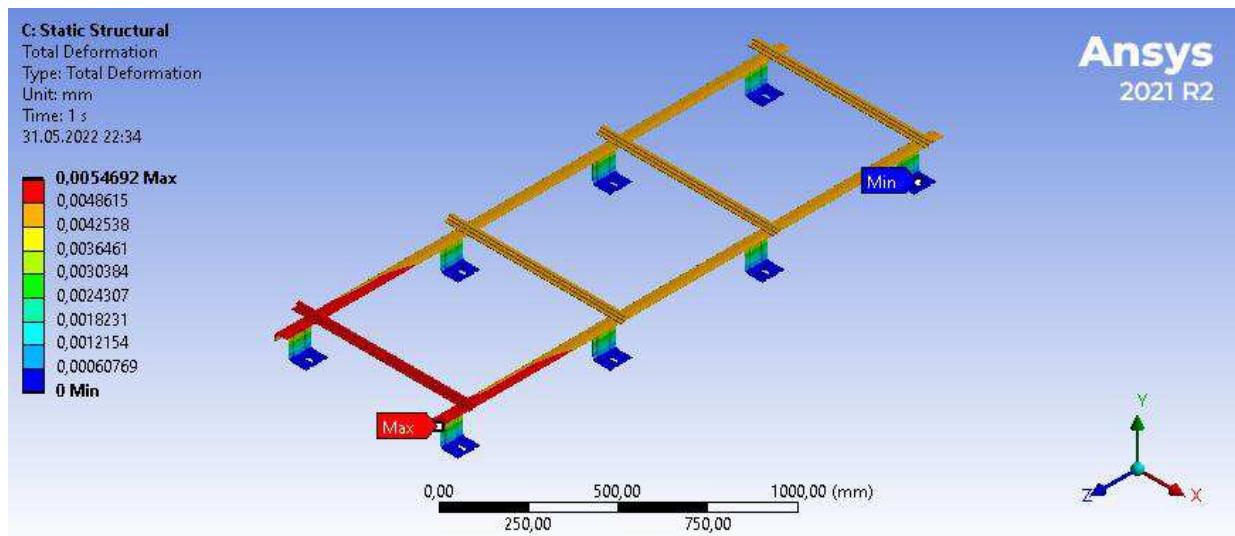


Рисунок 16. Направленная деформация АД31

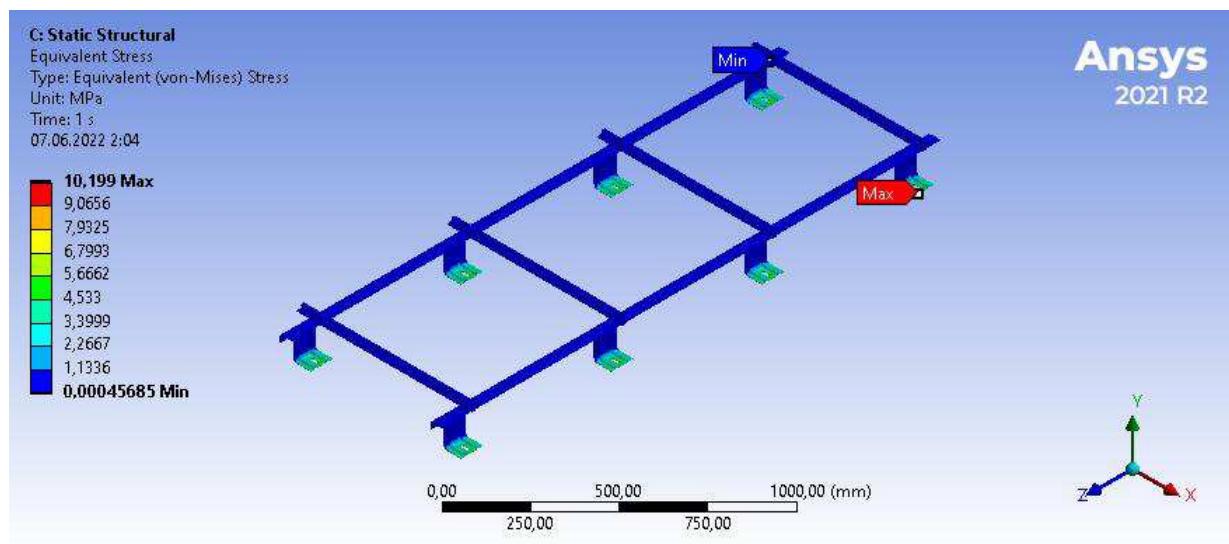


Рисунок 17. Максимальное основное напряжение АД0

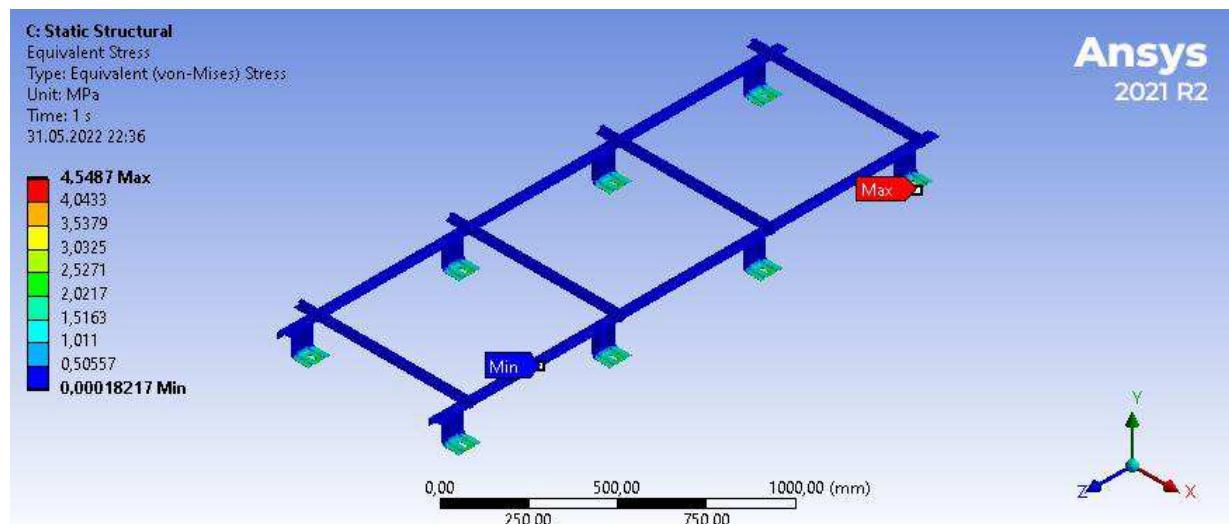


Рисунок 18. Максимальное основное напряжение АД31

Выполнив расчет данной модели видно, что перемещения незначительные 0,0030374мм - АД0, 0,0054692мм – АД31, больших напряжений в направляющих и планках, заклепках не возникает.

По результатам делаем вывод, что в данном случае элементы фасада незначительно подвержены какой-либо деформации при температуре минус 61,6°C.

Выполним расчет части подсистемы навесного вентилируемого фасада из алюминиевого сплава АД0 и АД31 при тех же условия, в дальнейшем сопоставим полученные данные с натурными испытаниями.

Построена модель подсистемы навесного вентилируемого фасада (рисунок 19).

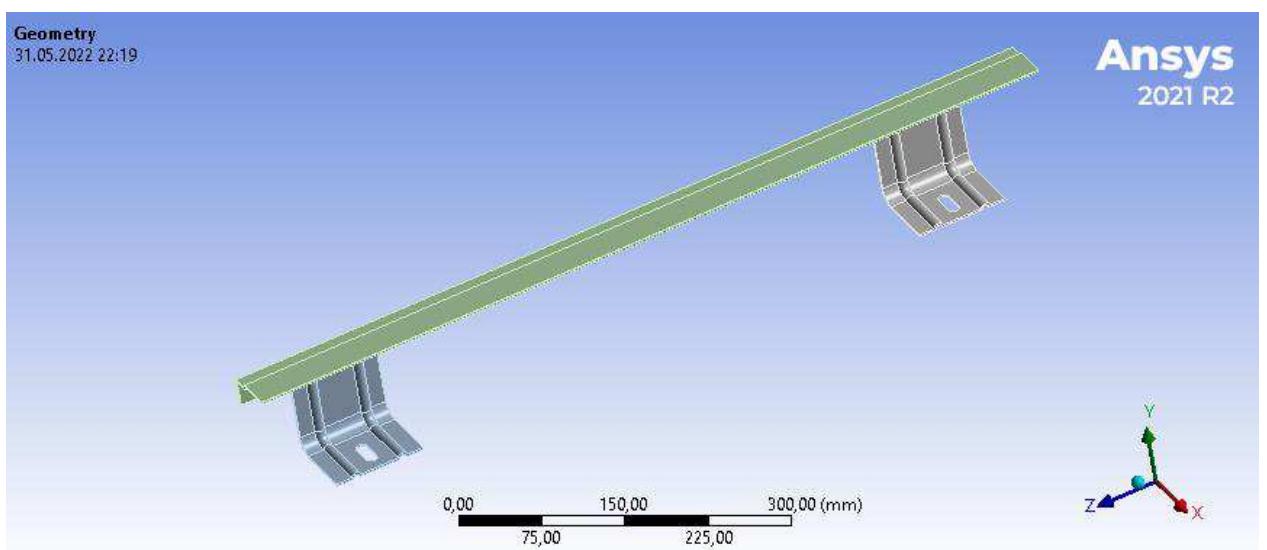


Рисунок 19 – Модель части подсистемы НВФ

Прикладываем температуру (рисунок 20).

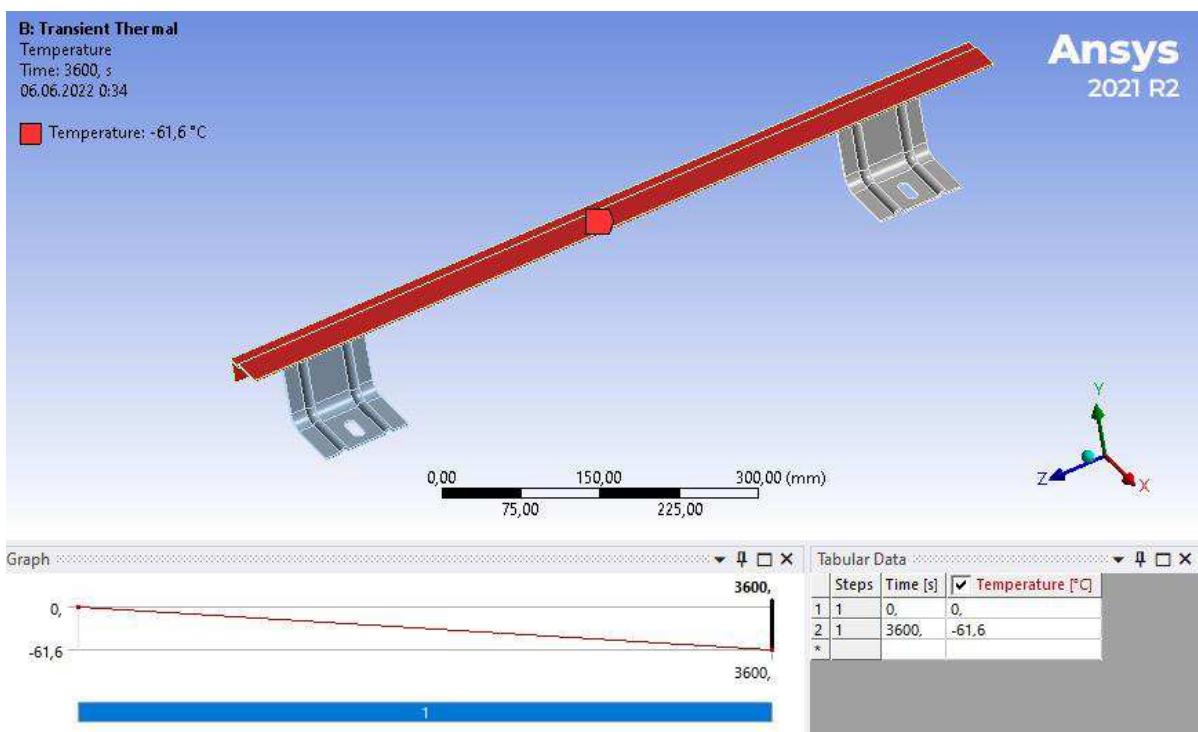


Рисунок 20 - применение температуры

Приложим конвекцию (рисунок 21).

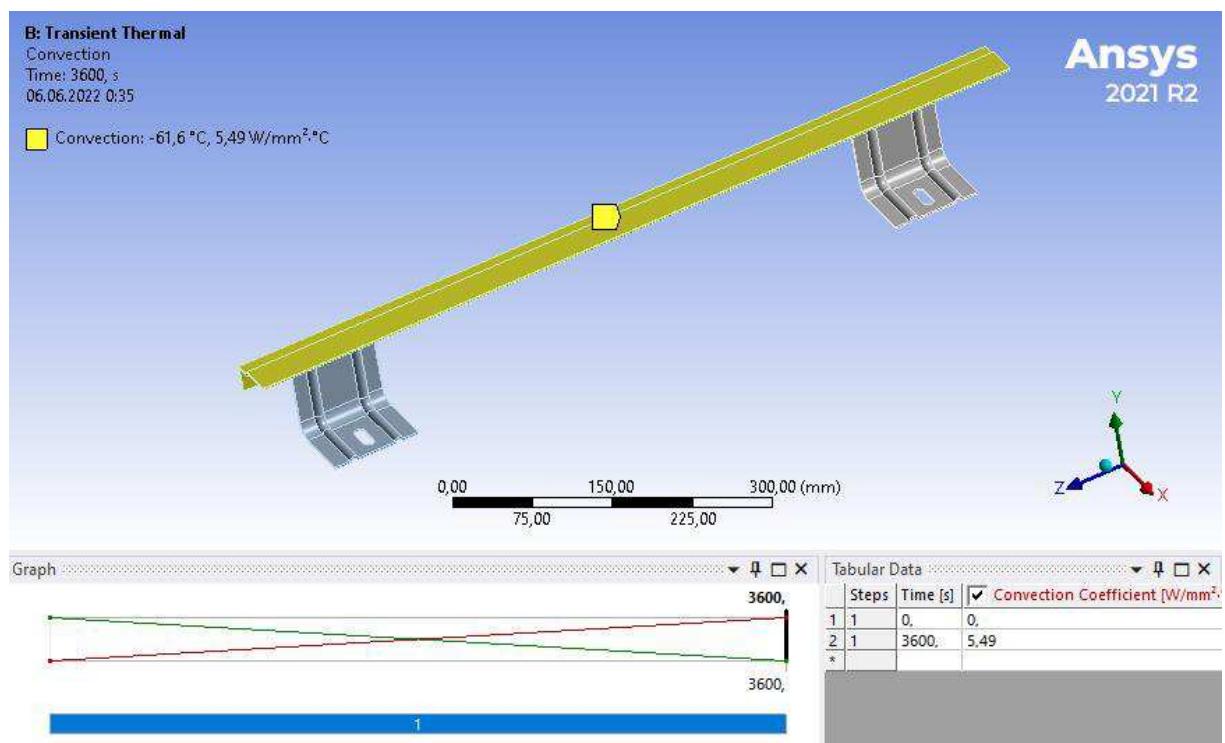


Рисунок 21 –применение конвекции

Прикладываем излучения (рисунок 22).

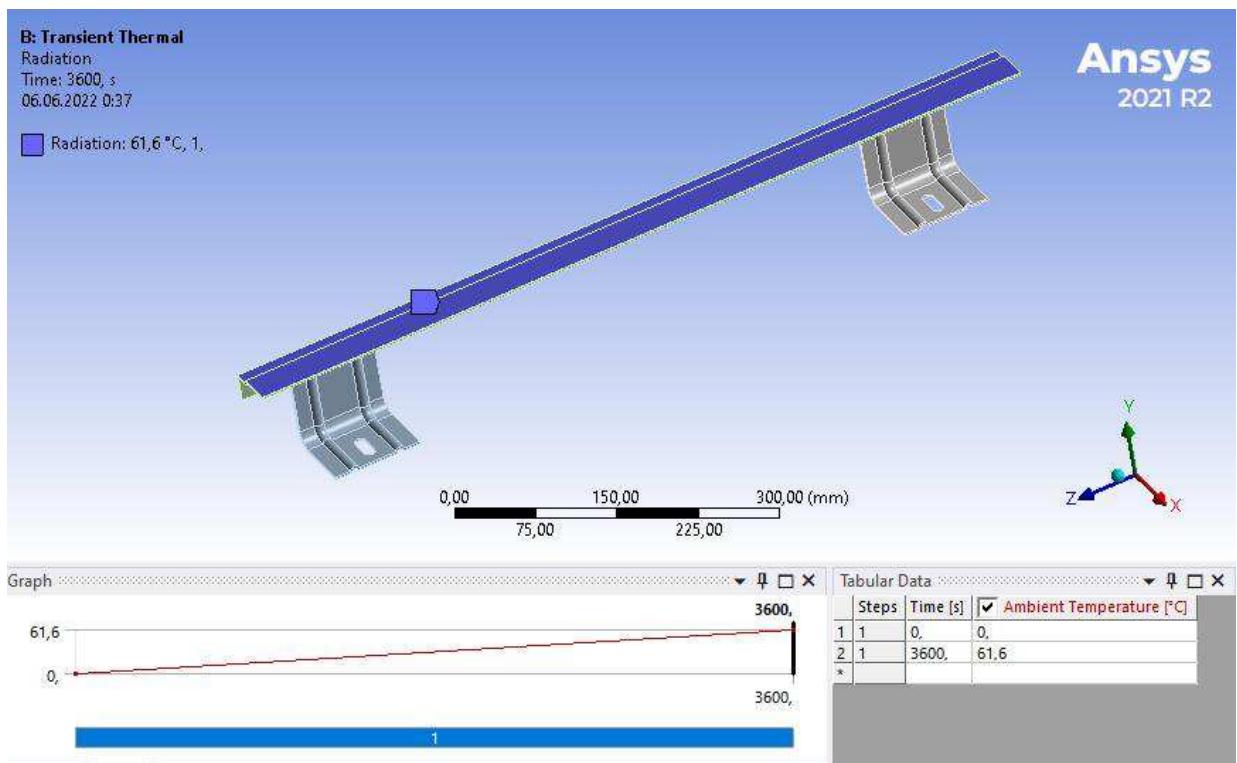


Рисунок 22 – применение излучения

Полученные результаты при расчете в модуле Transient Thermal показаны на рисунках 23-26.

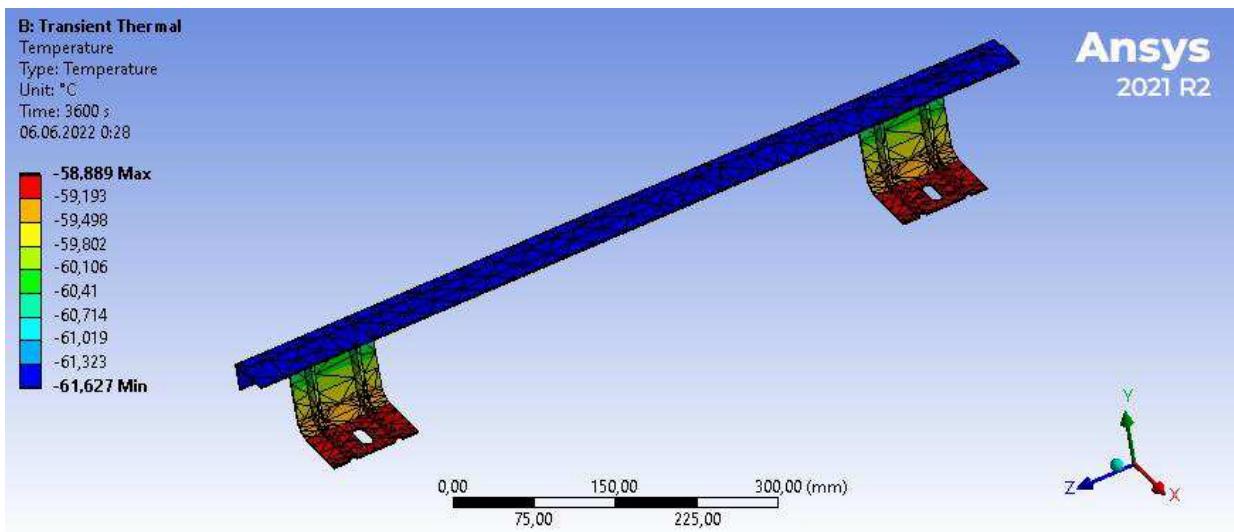


Рисунок 23. Температура в минус 61,6°C АД0

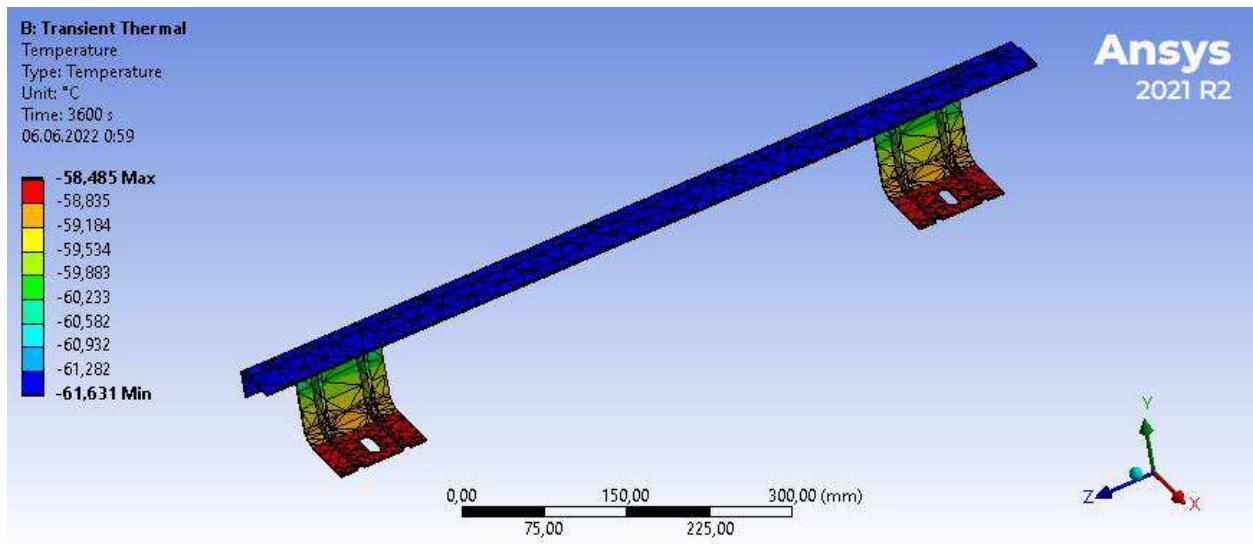


Рисунок 24. Температура в минус 61,6°C АД31

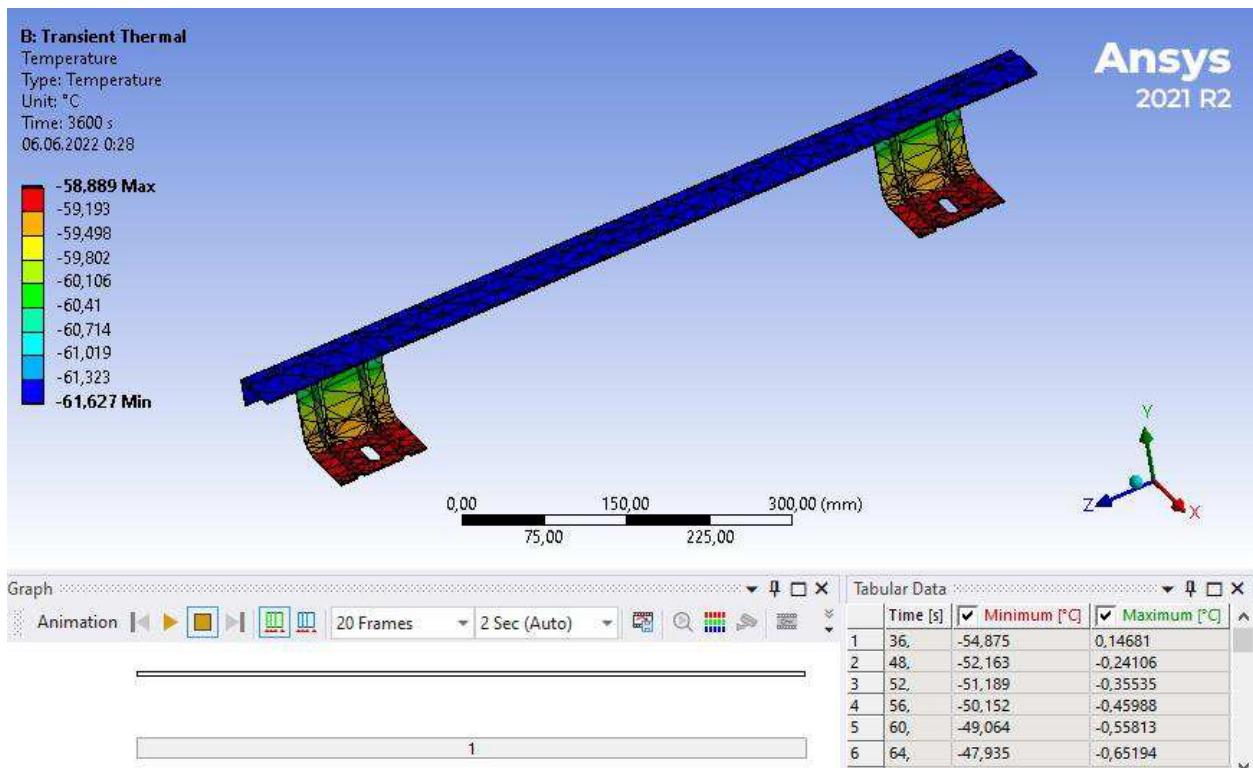


Рисунок 25. Общий тепловой поток АД0

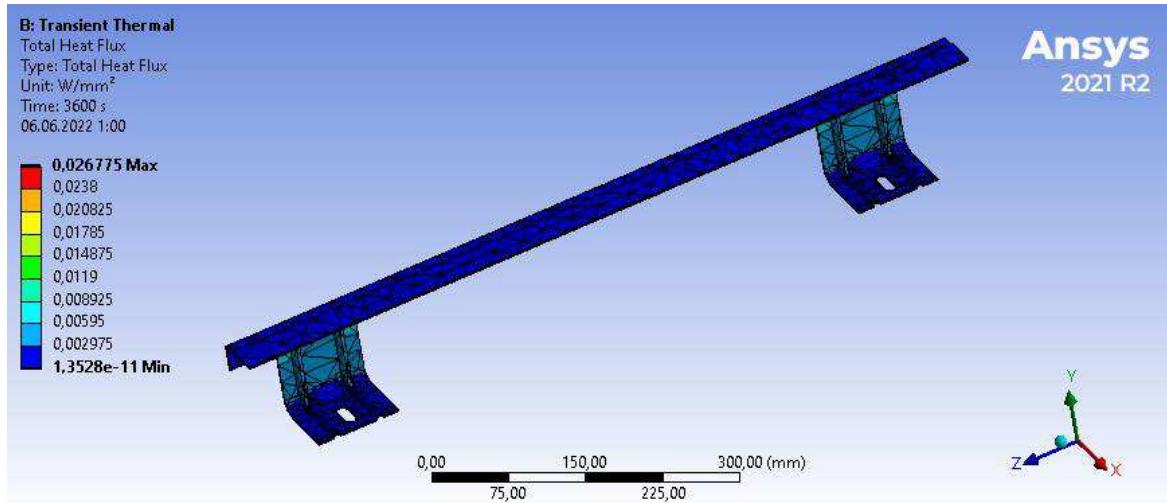


Рисунок 26. Общий тепловой поток АД31

Полученные результаты в модуле Static Structural показаны на рисунке 27-30:

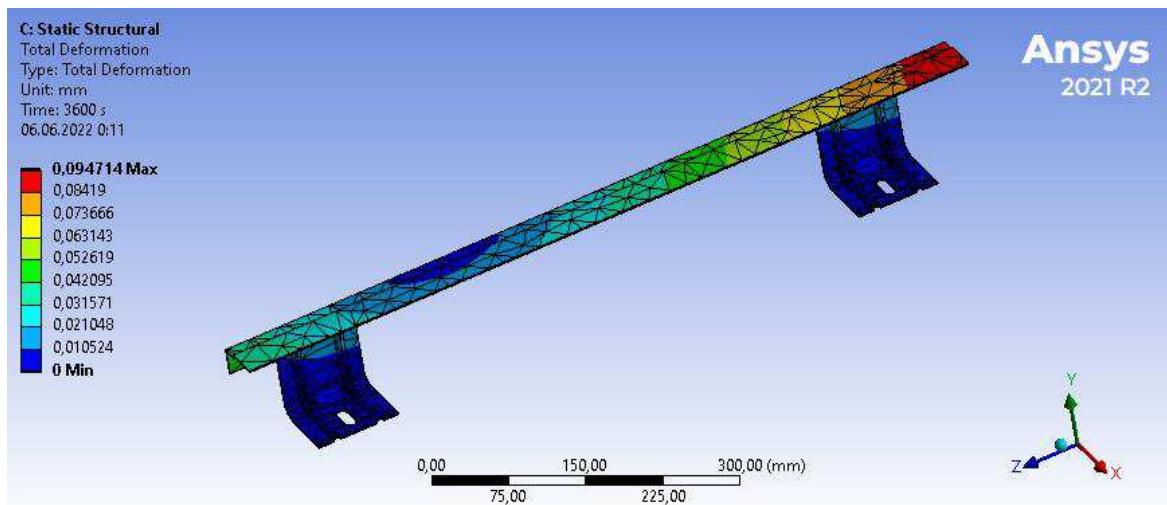


Рисунок 27. Направленная деформация АД0

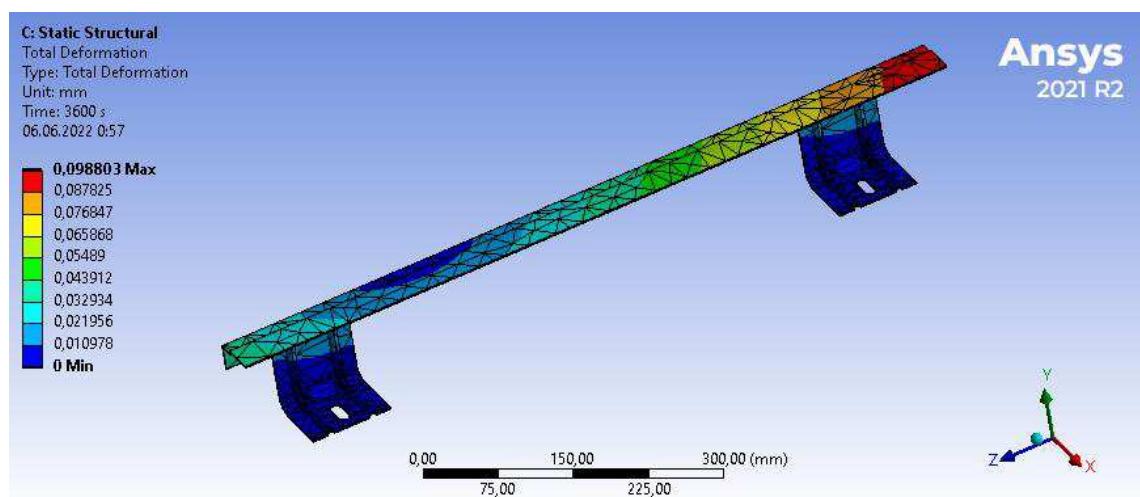


Рисунок 28. Направленная деформация АД31

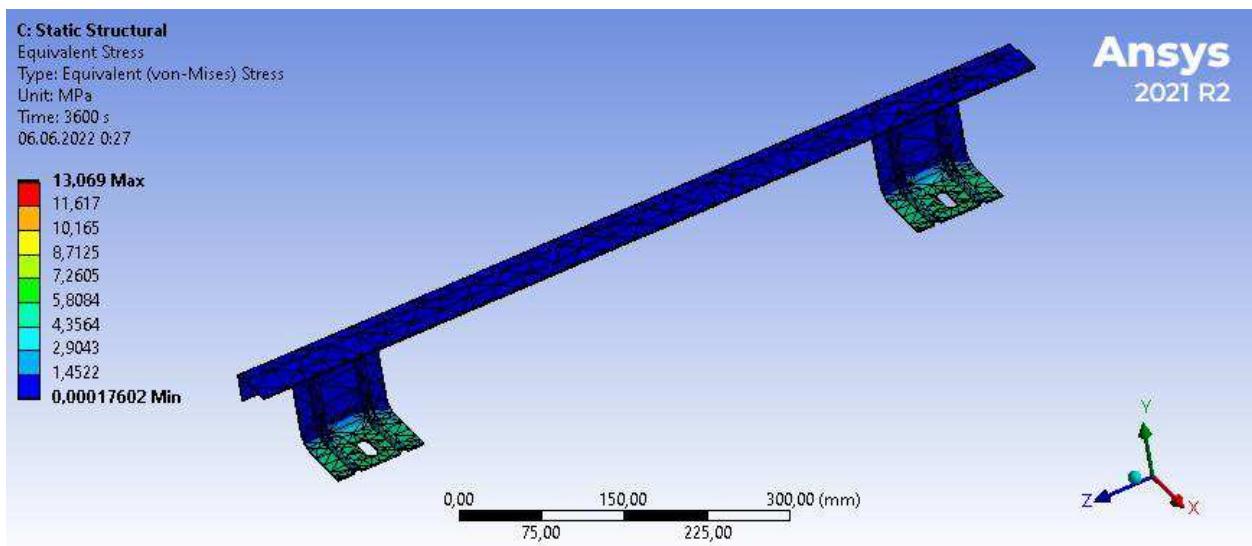


Рисунок 29. Максимальное основное напряжение АД0

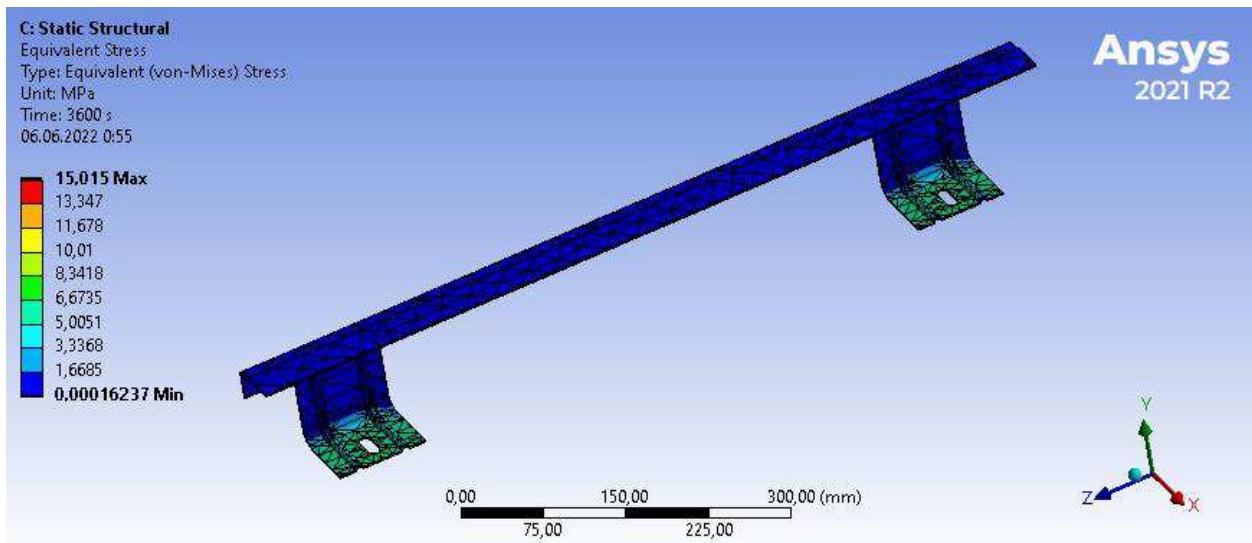


Рисунок 30. Максимальное основное напряжение АД31

Перемещения незначительные 0,094714мм – АД0, 0,098803мм – АД31
 больших напряжений в направляющих и планках, заклепках не возникает.

2.2. Численные исследования влияния абразивного воздействия на долговечность НФС

Долговечность и коррозионностойкость навесного вентилируемого фасада конструкции которого выполнены из алюминиевого сплава АД0 и АД31 значительно отличается от фасадов из стальных конструкций.

Проводились натурные эксперименты по коррозионной долговечности подконструкций навесных фасадов, исследование проводилось компанией ОАО «ВИЛС». Испытания проводились протяженностью 45 лет. Было доказано, что алюминиевые сплавы АД0 и АД31 могут эксплуатироваться длительностью от 50 до 100 лет, когда как стальные конструкции обеспечивают долговечность не более 25 лет.

Расчетные характеристики и механические свойства алюминиевых сплавов АД0 и АД31 приведены в таблице 3 по СП 128.13330.2016, стали 3СП в таблице 4.

Таблица 3 - Расчетные характеристики и механические свойства алюминиевых сплавов АД0 и АД31

Марка сплава	Толщина, мм	Значения по ГОСТ и ТУ		Расчетные сопротивления		
		σ_u МПа	$\sigma_{0.2}$ МПа	R_y МПа	R_s МПа	R_{bp} МПа
АД0 Н	Более 0,8 до 3,5	145	40	90	54	145
АД 31 Т1	Все размеры	245	195	153	90	240

Таблица 4 - Характеристики стали 3СП.

Сортамент	σ_b	σ_t	δ_5	ψ	KCU
-	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²
Трубы, ГОСТ 8696-74	372	245	23		
Трубы, ГОСТ 10705-80	372	225	22		
Прокат, ГОСТ 525-2005	370 - 490	205 - 255	23 - 26		
Лист, ГОСТ 14637-89	370 - 480	205 - 245	25		
Арматура, ГОСТ 5781-82	373	235		60	
Катанка, ГОСТ 30136-95	40 - 540				

Для анализа влияния абразивного воздействия на состояния и долговечность навесных фасадных систем была построена модель подсистемы навесного вентилируемого фасада, показана рисунок 31, для расчета данной подсистемы в ПК «ANSYS».

Основное влияние на прочность конструкции оказывает кронштейн крепления фасада на стену, поэтому дальнейший расчет будет проведен для кронштейна.

В ходе расчета выполнено сравнение стальной конструкции (Сталь 3сп) и конструкции из перспективных алюминиевых сплавов АД0 и АД31.

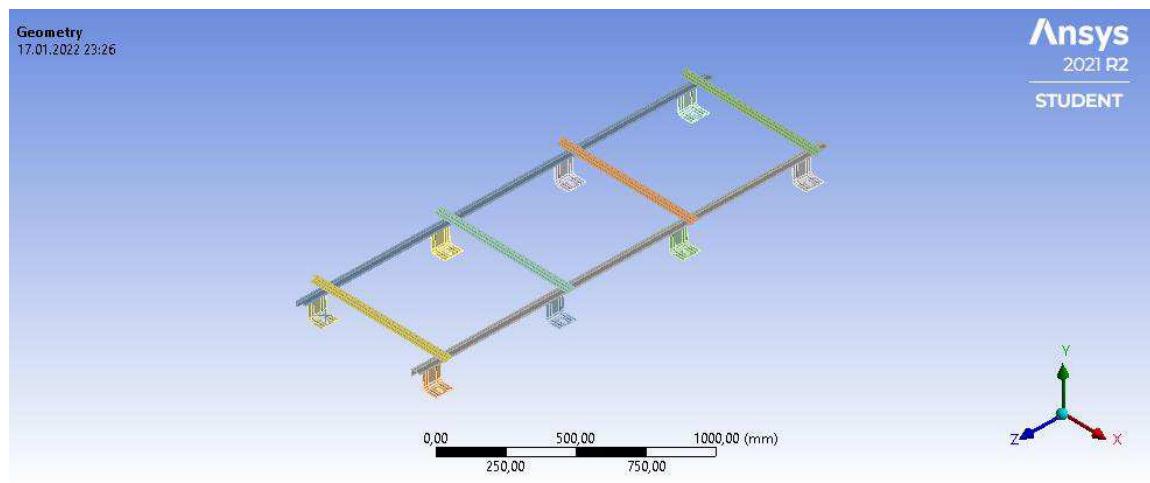


Рисунок 31 — Общий вид конструкции

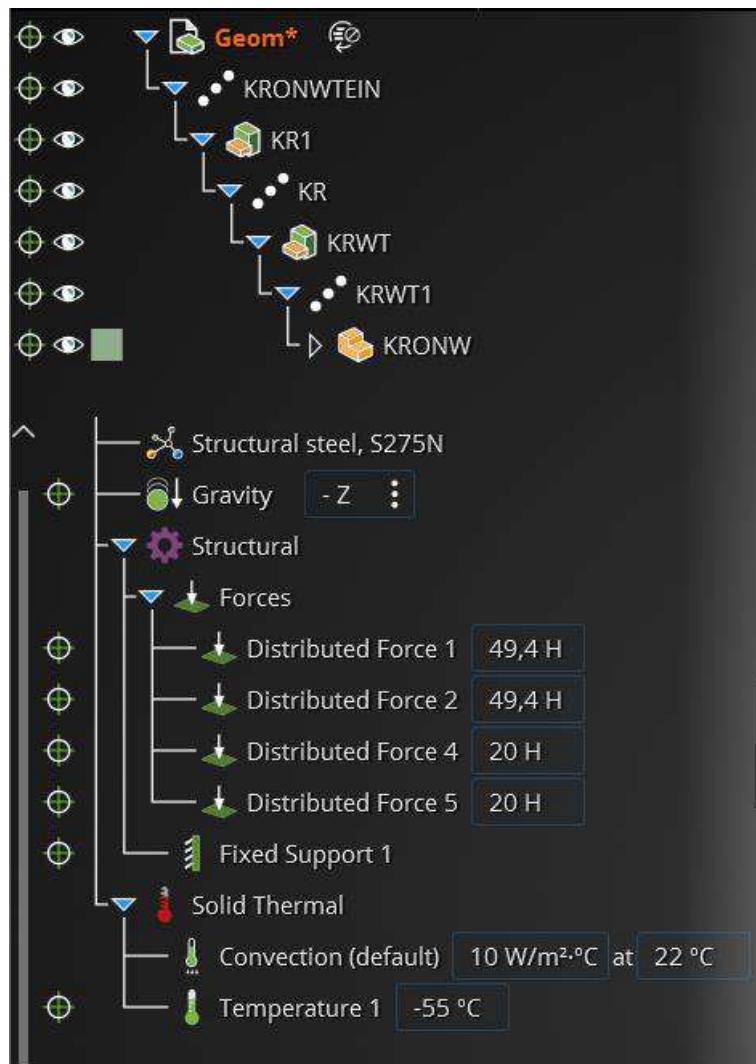


Рисунок 32 — Приложенный нагрузки

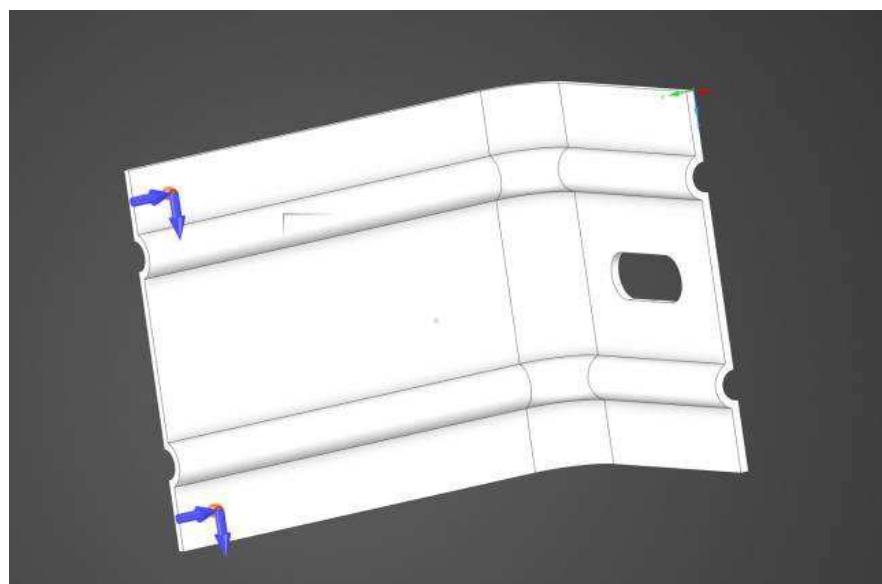


Рисунок 33 — Направления действия нагрузок

Для расчета ветровой нагрузки была принята максимальная скорость ветра для города Норильск 30 м/с.

Воспользуемся формулой:

$$F = 0.61 \cdot V^2 / S$$

где:

F - сила в Н;

0,61–1/2 плотности воздуха (в нормальных условиях);

V - скорость ветра в м/с;

S - Площадь плитки.

$$F = 0.61 \cdot 30^2 / (0.6 \cdot 0.6) = 197.64 \text{Н.}$$

Распределяем силу между двумя опорами, значит на каждую опору будет действовать сила 98,82 Н.

Далее был проведен расчет обледенения:

Из общедоступных источников сети интернет были выделены и применены статистические данные по обледенению построек в городе Норильск. Для данной местности, для вертикальных поверхностей отапливаемых помещений толщина льда редко составляет более 3 мм. Плотность льда составляет 0,9167 г/см³. На площадь единичного сегмента фасада 600x600 мм, воздействие составляет 1кг.

По оси X (давление по нормали на фасад) действует сила давления ветра. Учитывая площадь фасада и максимальную силу ветра для Норильска 30м/с была получена сила 98,82 Н, учитывая распределение нагрузки между двумя заклепками сила, действующая в каждой из них равна 49,41 Н.

По оси z (Вертикальная ось) действует сила от фасада 2,66кг на кронштейн, льда 0,5кг, от каркаса стального 0,975кг, алюминиевого 0,34 кг, а также вес самого кронштейна.

Температура окружающей среды выбрана минус 55°C, максимально низкая температура в холодный период времени в г. Норильск.

Данные нагрузки показаны на рисунке 32, 33

Выполняем жесткое закрепление, показано на рисунке 34

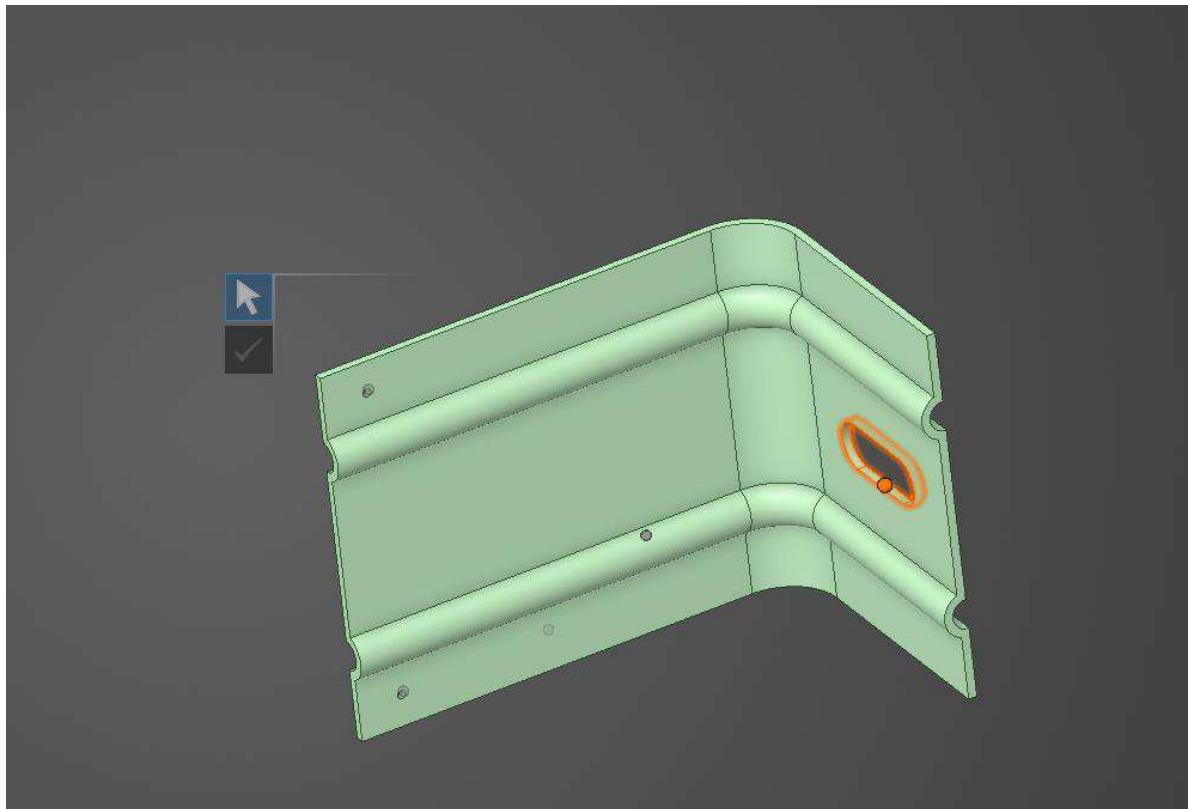


Рисунок 34 — Заделка (жесткое закрепление к стене здания)

Полученные результаты в новом стальном кронштейне показаны на рисунках 35 и 36.

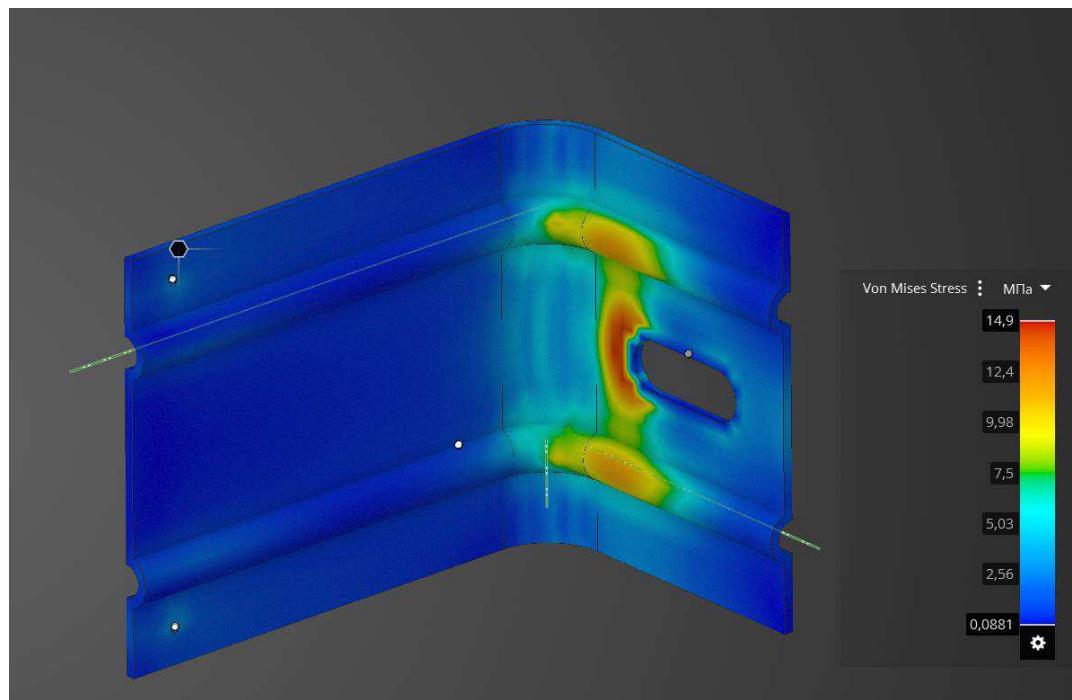


Рисунок 35 — Напряжения 14,9МПа

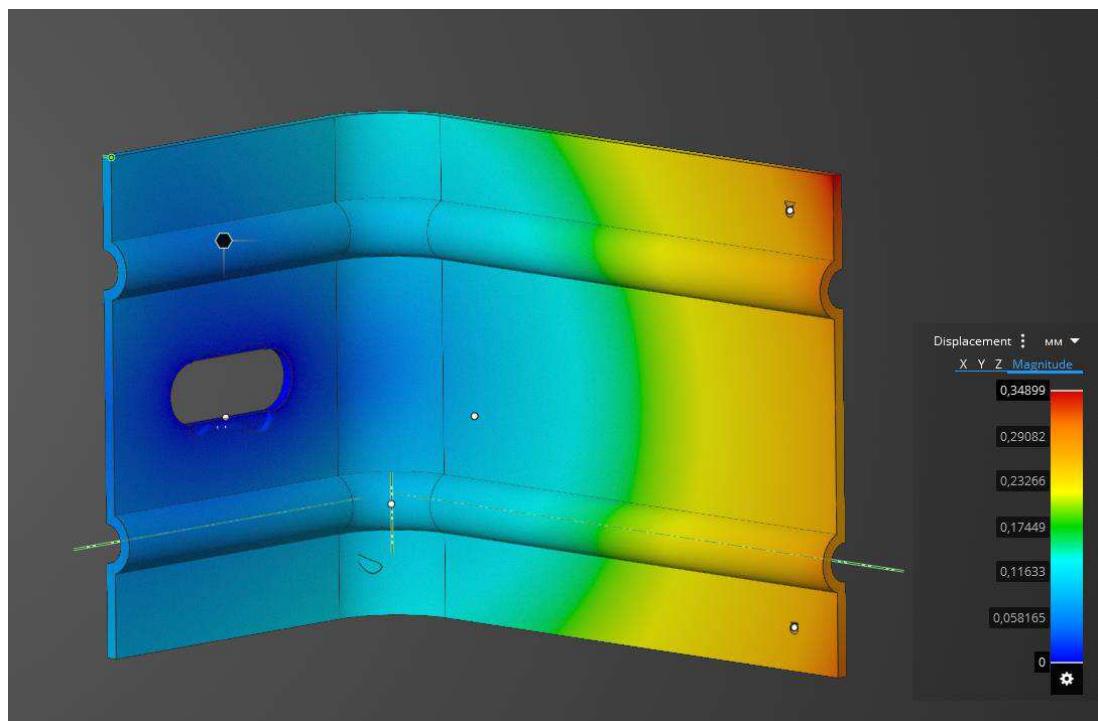


Рисунок 36 — Перемещения 0,34899мм в стальном кронштейне

Предел текучести стали 3СП равен 245МПа, напряжения 15МПа обеспечивают запас прочности в 16 раз. Однако, модель является идеализированной, в ней не учтена коррозия, неточности сборки, повреждения при монтаже. Такие характеристики кронштейна так же обусловлены необходимостью минимизации перемещений конструкции.

Произведем расчет с учетом всех нагрузок и воздействием коррозии на данный кронштейн.

После выполнения топологической оптимизации была уменьшена толщина до 1,8 мм на всей площади детали, показано на рисунке 37, запас прочности составил 10 раз, однако перемещения значительно увеличились.

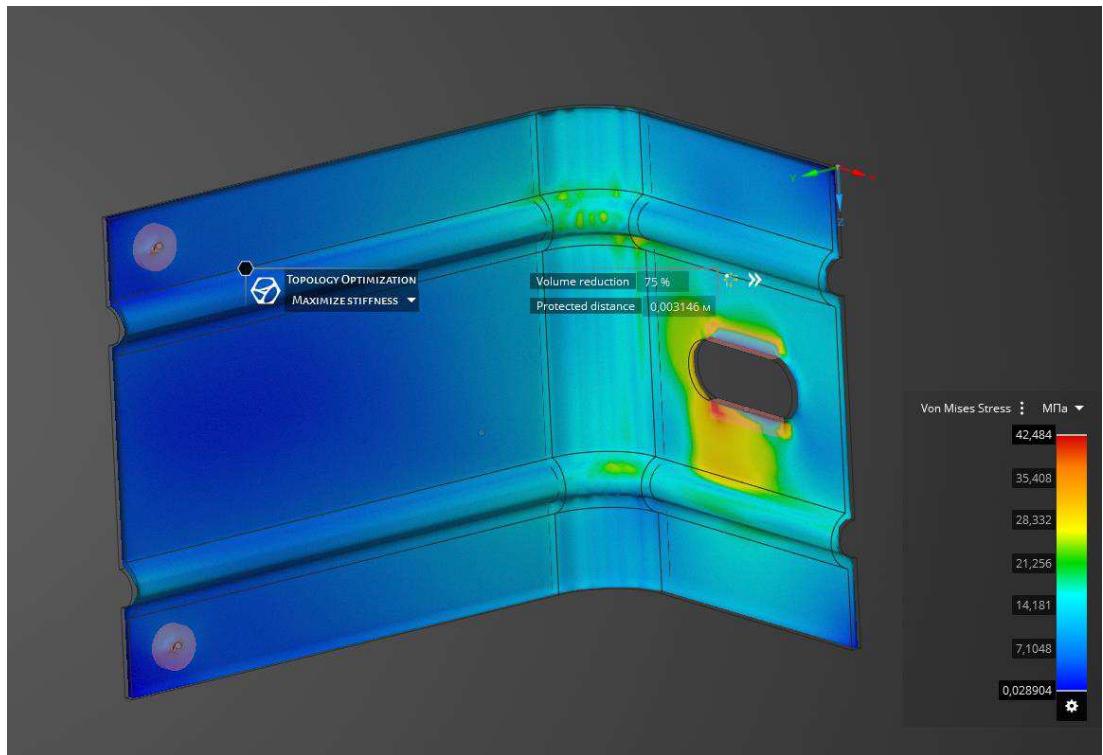


Рисунок 37 — Топологическая оптимизация стального кронштейна

Таблица 5. Коррозионные изменения, прошедшие в период 2012-2019гг.:

№ п/п	Конструктивный элемент	Толщина металла в 2012г. (неповрежденного коррозией)	Толщина металла в 2019г.	Примечание
1	2	3	4	5
1	Стальные листы НК1	2	1,8	
5	Стальные листы горизонтального каркаса	1,6	1,1-1,6	
	Стальные листы вертикального каркаса	1,4	0,8-1,4	

Представленные в таблице 5 данные были добавлены в модель, после чего был проведен прочностной расчет.

Полученные результаты в новом стальном кронштейне показаны на рисунках 38-40.

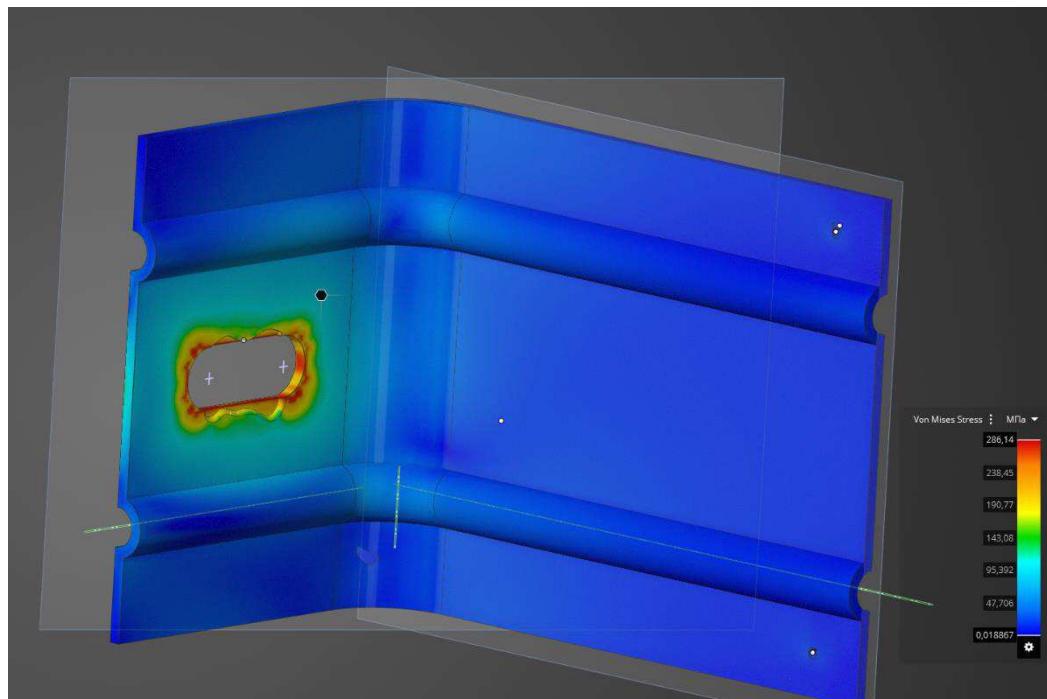


Рисунок 38 — Стальная деталь через 7 лет эксплуатации

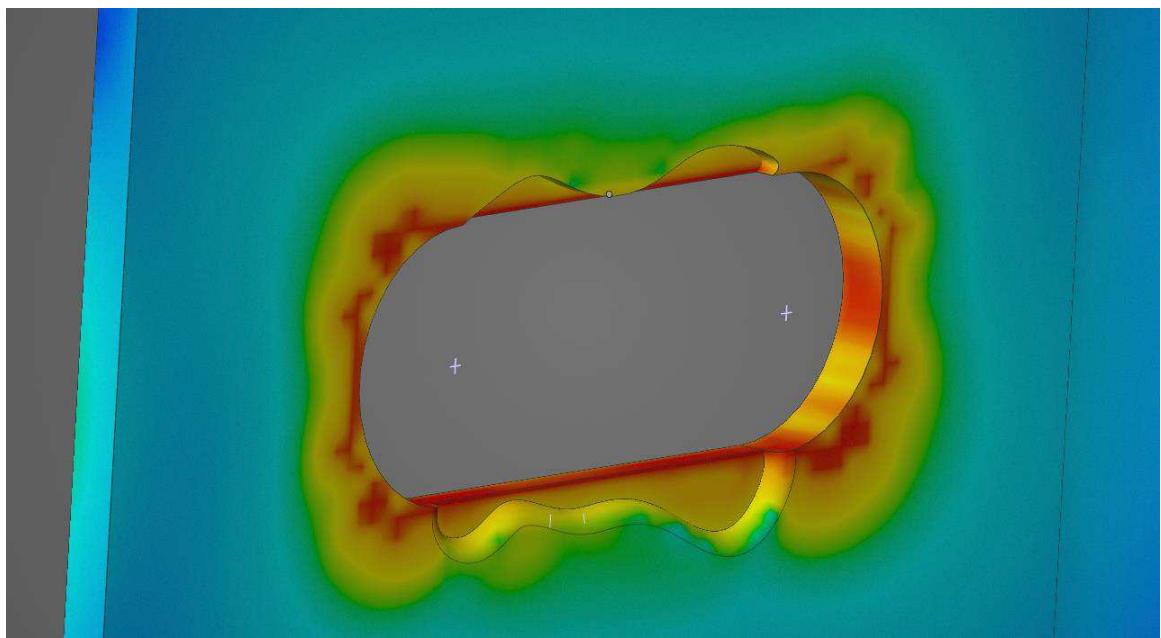


Рисунок 39 — Контактная коррозия стальной детали в месте крепления

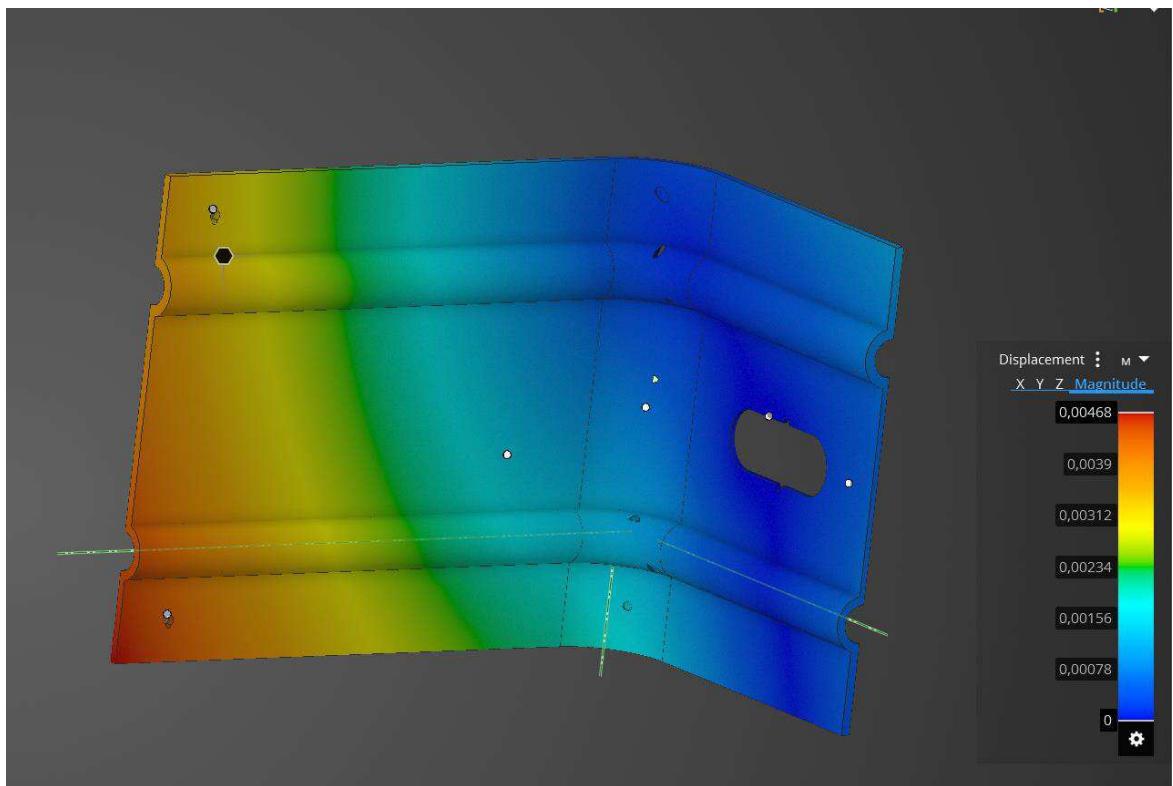


Рисунок 40 — Перемещения в стальной детали через 7 лет

Напряжение в стальном кронштейне после внесения в модель коррозии за 7 лет составило 286 МПа, данное значение означает, что при возникновении максимальной нагрузки конструкция разрушится.

Далее рассмотрим алюминиевый сплав АД0 и сравним с АД 31.

Таблица 6 - Контактная коррозия АД0 и АД31

Контактирующий материал	Макс. глубина вне контакта мм h_a	Макс. глубина в контакте мм h_k	h_a/h_k
13Х18Н10Т		0,4	1,4
Титан		0,32	1,1
АД0		0,32	1,1
АД31	0,29		

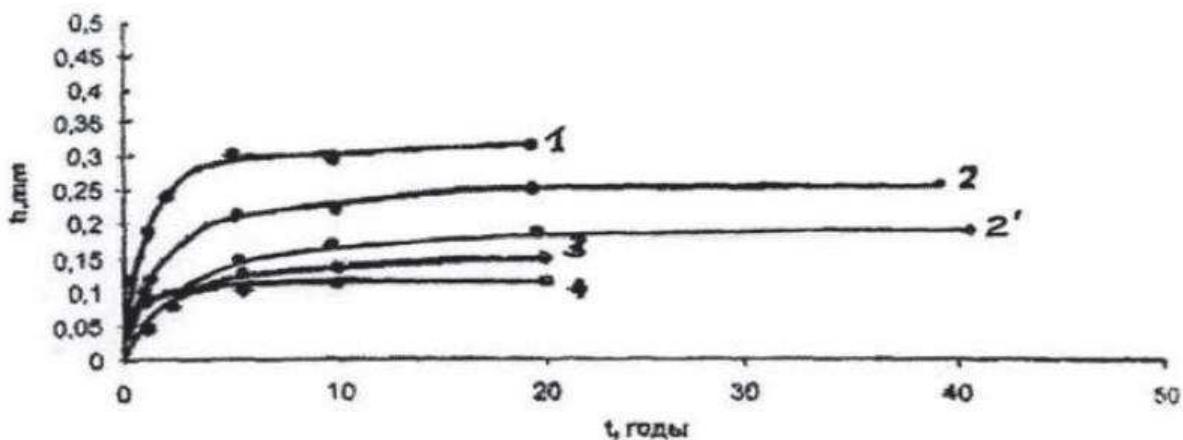


Рис. 1. Зависимость максимальной глубины пittingовой коррозии на сплаве АД31Т1 (1, 2, 3, 4) и алюминия АД0 Н (21) от продолжительности испытаний в различных атмосферных условиях: 1 — поб. Баренцева моря; 2 — промышленная (ВИЛС); 3 — поб. Черного моря; 4 — сельская (г. Звенигород)

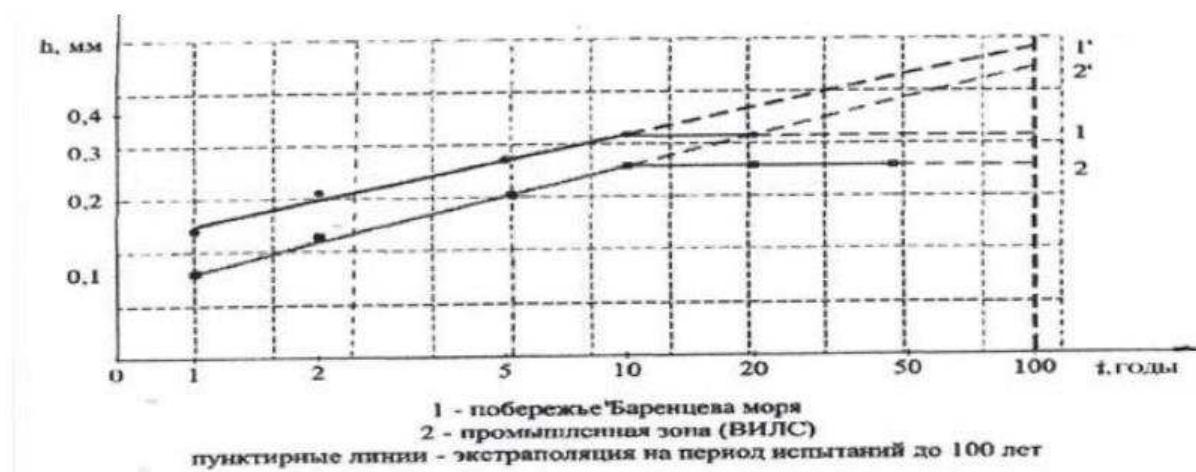


Рис. 2. Зависимость максимальной глубины пittingовой коррозии на сплаве АД31Т1 от продолжительности испытаний в логарифмических координатах

Рисунок 41 — Экспериментальные значения

Экспериментальные значения (рисунок 41) были добавлены в модель, коррозия (таблица 6) была добавлена в самые нагруженные места детали. Для определения самых нагруженных мест детали был проведен статический расчет детали, а также проведена топологическая оптимизация, для установления предельного состояния детали перед обрушением или искривлением конструкции.

Полученные результаты в новых кронштейнах из алюминиевых сплавов показаны на рисунках 42-45.

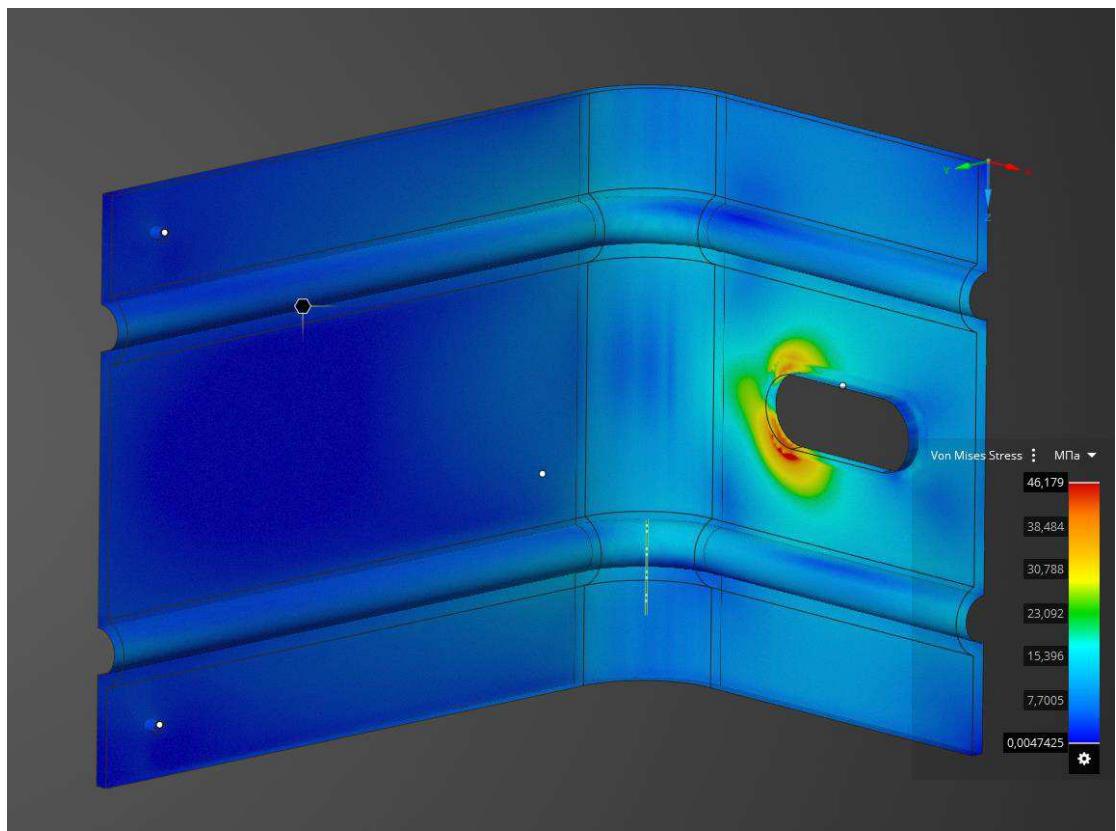


Рисунок 42 — Напряжения 46,17МПа в детали из АД0

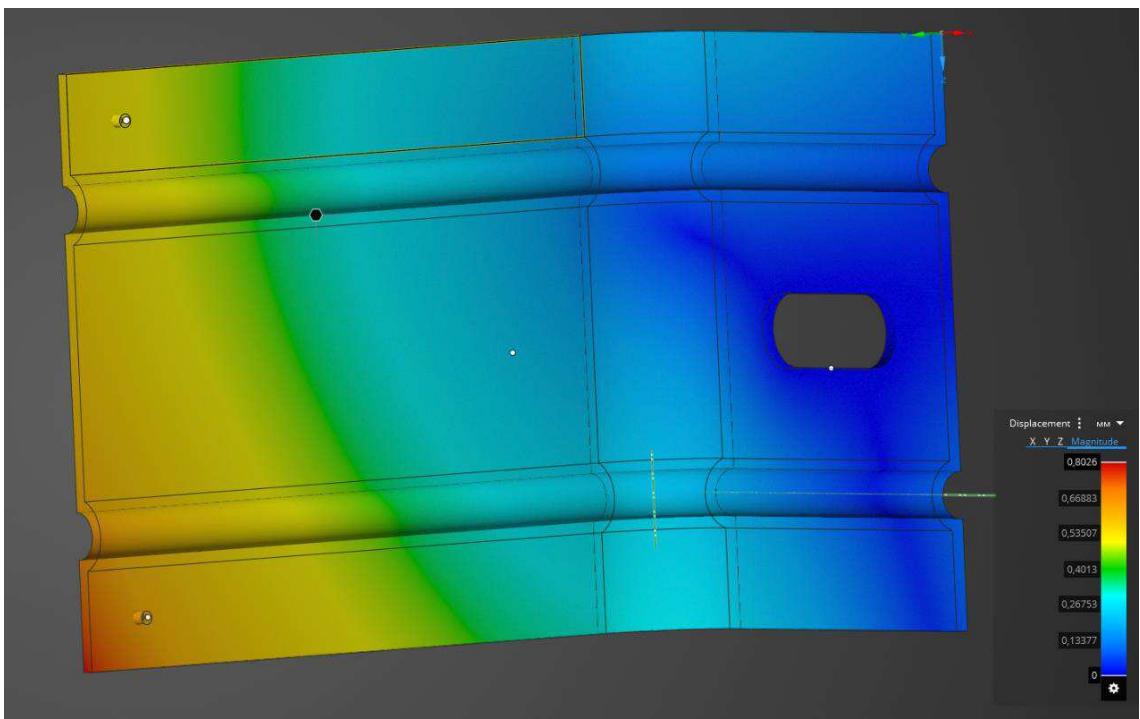


Рисунок 43 — Перемещения 0,326мм в детали из АД0

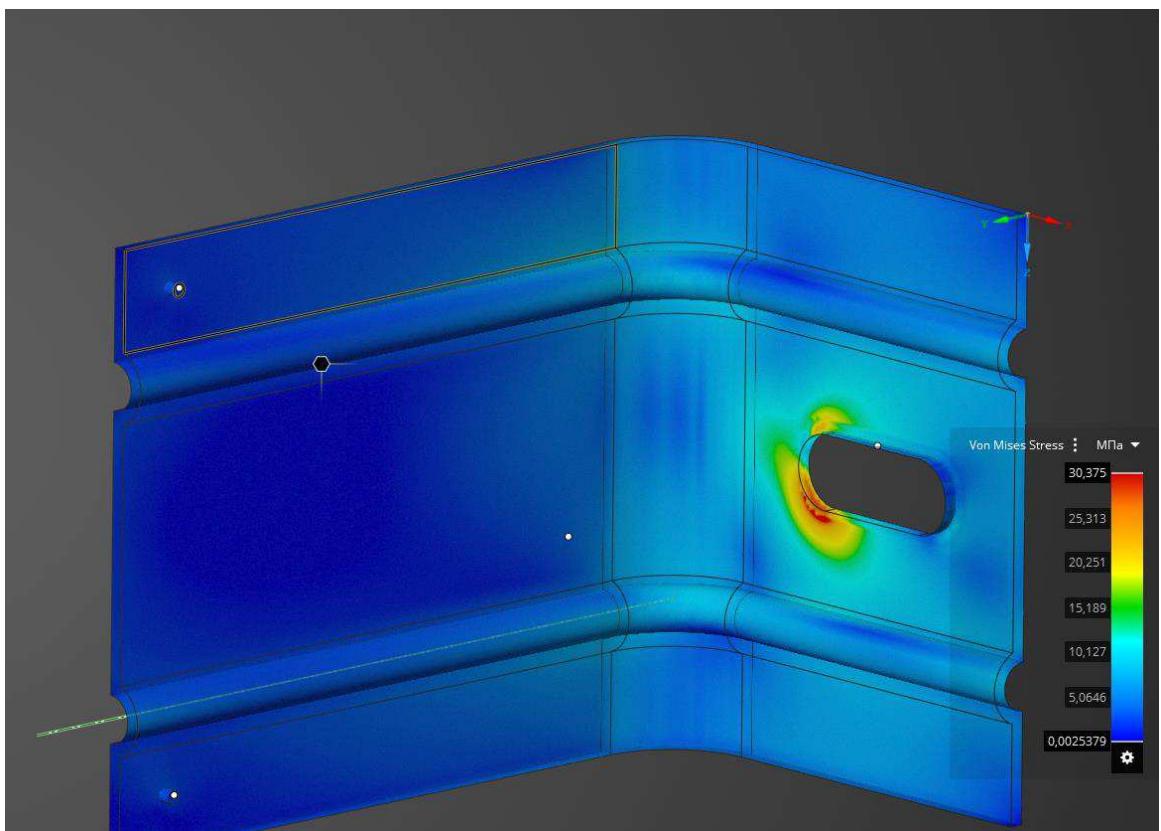


Рисунок 44 — Напряжение 30,375МПа в детали из АД31

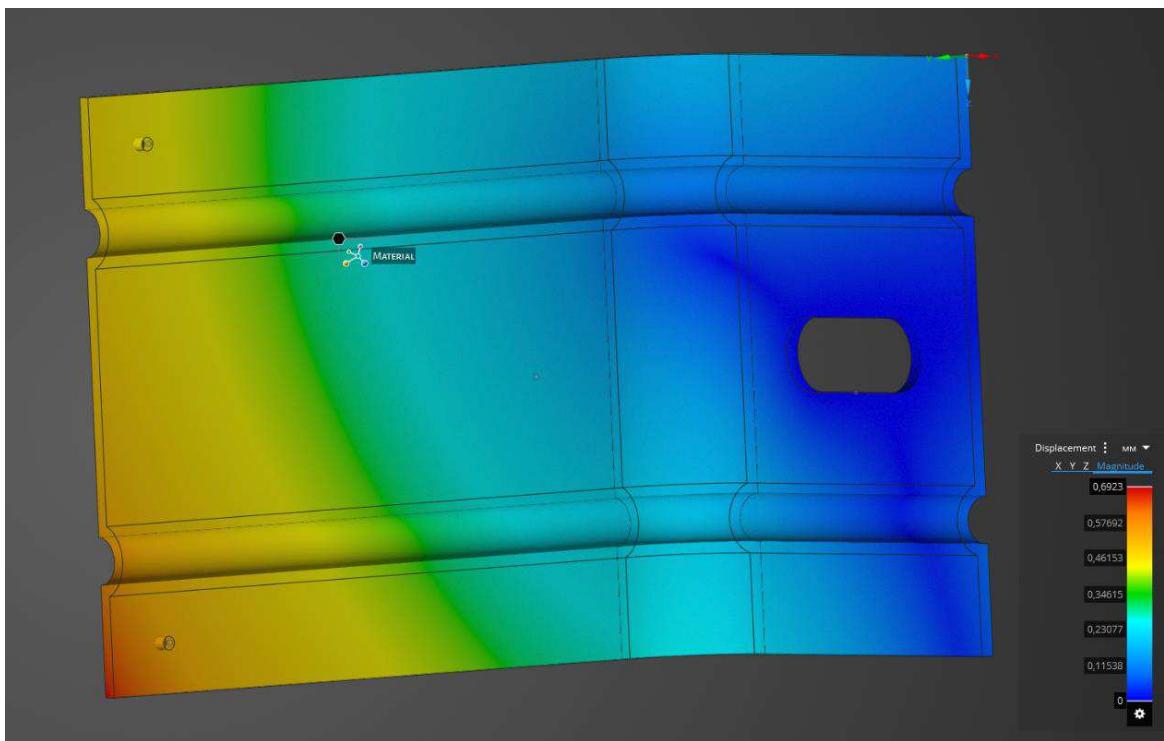


Рисунок 45 —Перемещения 0,6923мм в детали из АД31

После выполнения топологической оптимизации была уменьшена толщина до 0,2мм, полученные результаты показаны на рисунке 46.

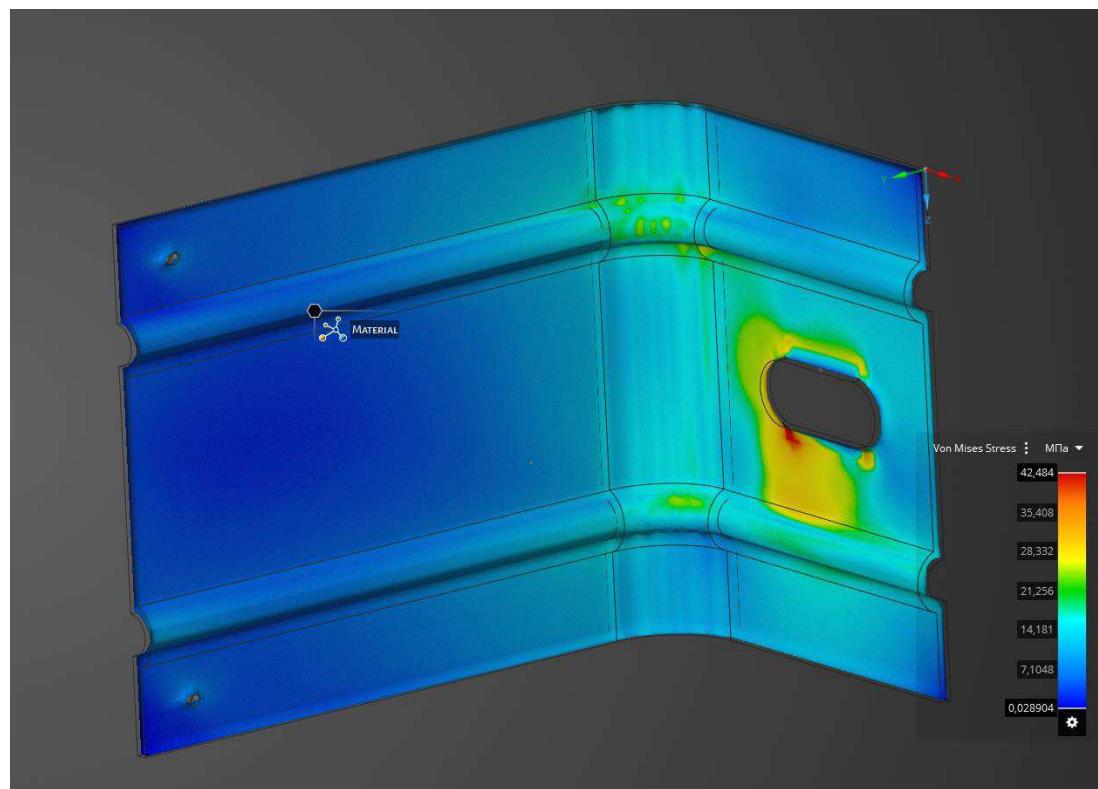


Рисунок 46 — Изменение толщины на 0,2мм детали из сплава АД31 без потери жёсткости, напряжения 42,484МПа

После внесения в самые опасные места детали всех экспериментальных данных в значениях для 7 лет эксплуатации были получены следующие значения (рисунок 47-50).

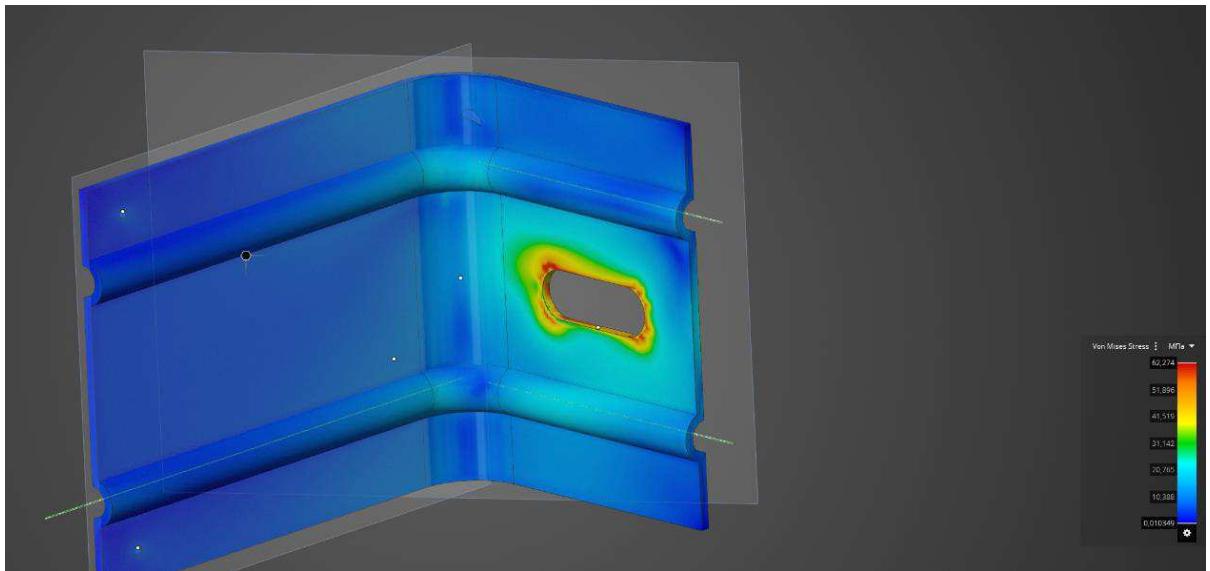


Рисунок 47—АД0 после 7 лет эксплуатации, напряжения 62,224МПа

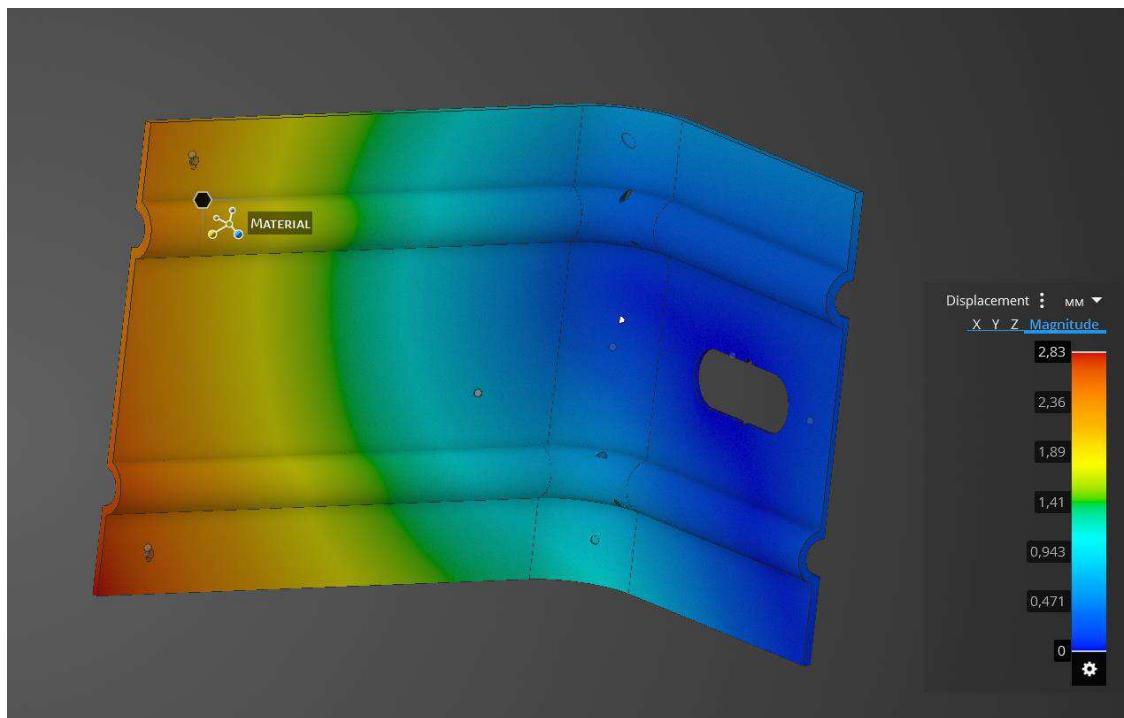


Рисунок 48 —Перемещения 2,83мм в детали из АД0 после 7 лет эксплуатации

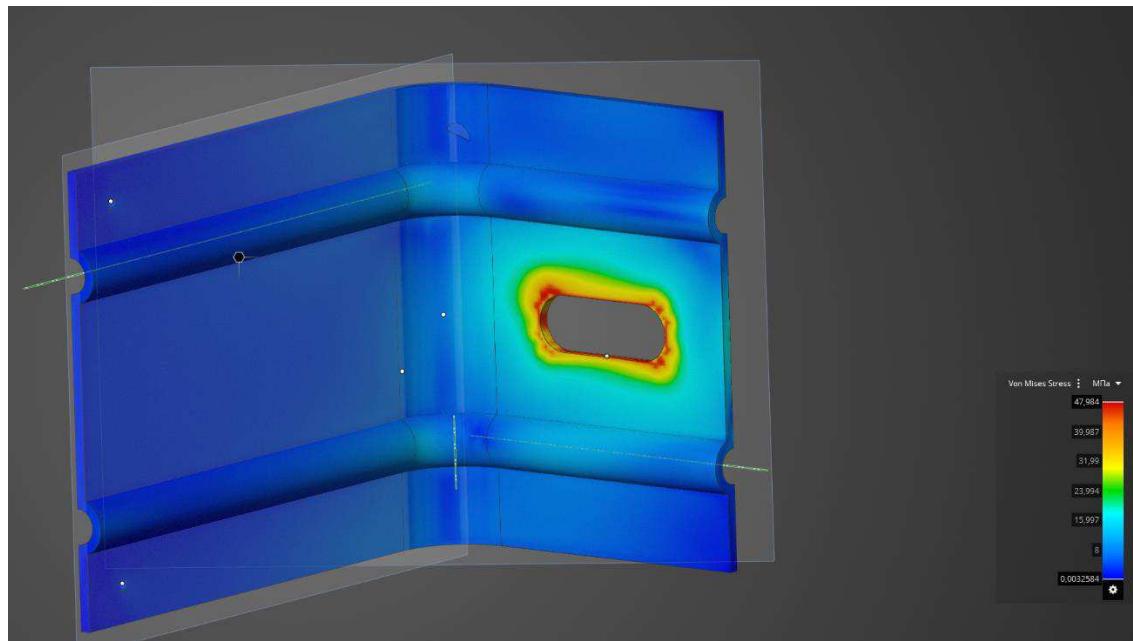


Рисунок 49 — АД31 после 7 лет эксплуатации, напряжения 47,984МПа

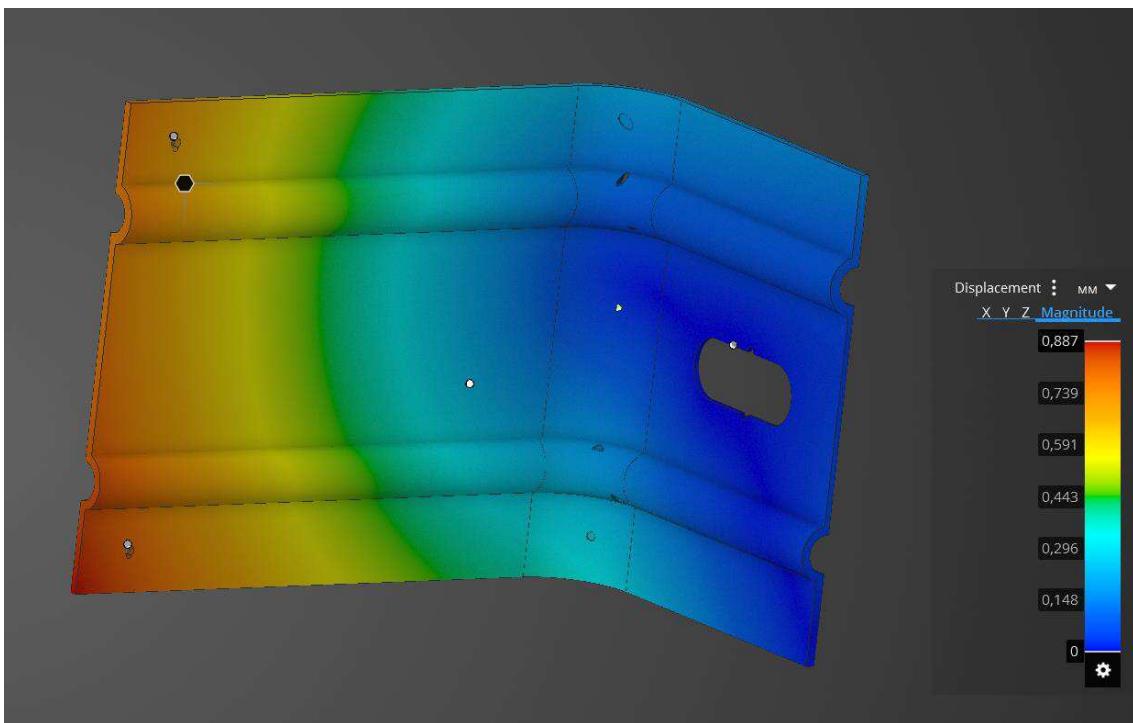


Рисунок 50 — Перемещения 0,887мм в детали из сплава АД31 через 7 лет эксплуатации

Расчет с применением сплава АД0 наглядно показывает, как важно применять качественные метизы с надежной защитой от создания гальванической пары алюминий/сталь. При исключении из расчета влияния контактной коррозии прочность детали из алюминия АД0 изменяется не

более чем на 5% от прочности новой детали, что является погрешностью расчета и ничтожно мало по сравнению с проблемами при монтаже и неточностями при изготовлении. Запас прочности детали из АД0 составил 1,3 раза, однако это неприемлемый запас для строительной конструкции, соответственно деталь требует увеличения толщины минимум в 1,5 раза.

Деталь, изготовленная из сплава АД31 демонстрирует запас прочности в 8,3 раза в состоянии новой и 5,2 раза через 7 лет эксплуатации, однако стоит заметить, что процесс образования коррозии является вероятностным, и образование коррозии в самых напряженных частях детали маловероятно, а контактную коррозию можно избежать используя качественные метизы.

2.3. Вывод по главе 2

1. Выполнен расчет элементов навесной фасадной системы из алюминиевых сплавов АД0 и АД31 на воздействие низких температур.

Полученные данные расчета показали, что при понижении температуры у элементов НФС обеих сплавов уменьшаются значения перемещений и значения напряжений.

2. Выполнен расчет на воздействие коррозии в суровых климатических условиях с применением всех действующих на элемент нагрузок.

Данный расчет позволяет сделать вывод, что использование сплава АД31 в условиях крайнего севера является наиболее оправданным решением, как с точки зрения сопротивления коррозии, так и с точки зрения изменения прочностных свойств материала в условиях экстремальных морозов.

Глава 3. Оценка степени влияния климатических воздействий на напряженно-деформированное состояние и долговечность НФС с учетом климатических воздействий

3.1. Описание эксперимента, испытания и анализ полученных данных

Методика лабораторных исследований (испытания) алюминиевых профилей на температурные воздействия

Цель лабораторных исследований (испытания):

Оценить влияние низкой температуры на деформативность несущих элементов (профилей) навесных фасадных систем Краспан из алюминиевых сплавов.

Задачи:

- определить влияние низких температур на деформативность (напряженно-деформированное состояние) тонкостенных профилей навесных фасадных систем;
- сопоставить результаты, полученные путем лабораторных исследований, с результатами численных исследований.

Место испытания: Лаборатория Инженерно-строительного института.

Предмет испытаний:

Профиль навесного вентилируемого фасада Г-образный, НК-16А из алюминиевого сплава длиной 0,8м. (рисунок 51)

Оборудование: Корпус прямоугольного сечения для испытания будет выполнен из пластика 150x150x1000 мм.

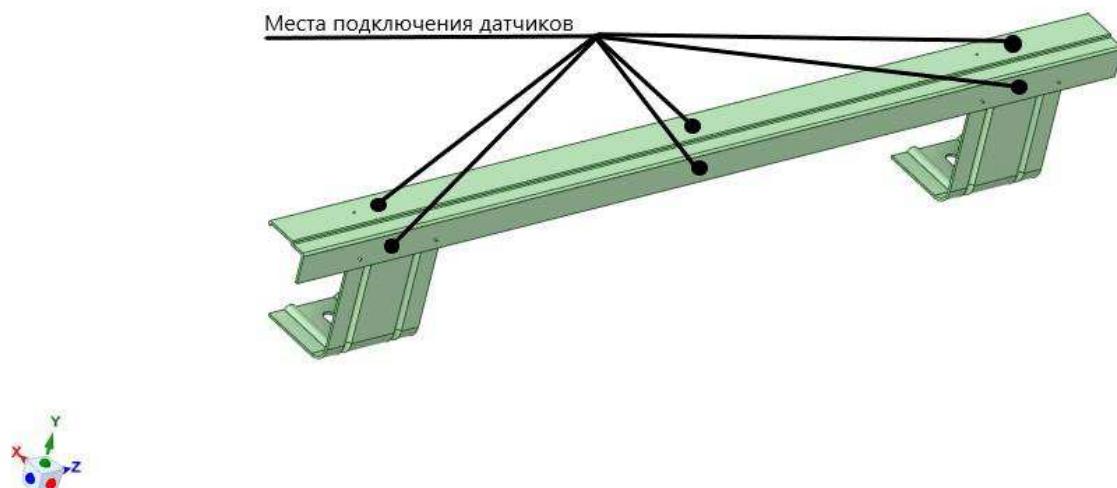


Рисунок 51 - Схема расстановки датчиков

Ход проведения лабораторных испытаний:

1. Проверяем измерением размеры объекта исследования (рисунки 52, 53).



Рисунок 52 - Элемент навесного вентилируемого фасада



Рисунок 53 – Замеры профиля и кронштейнов

2. Закрепляем профиль НК-16А к кронштейнам на заклепки, помещаем в оборудованный контейнер, выполняем жесткое закрепление кронштейнов к дну контейнера (рисунок 54).



Рисунок 54 –Жесткое закрепление кронштейнов

3. Подвергаем воздействию низкой температуры способом засыпки сухим льдом. Температура сухого льда минус 78°C (рисунок 55).

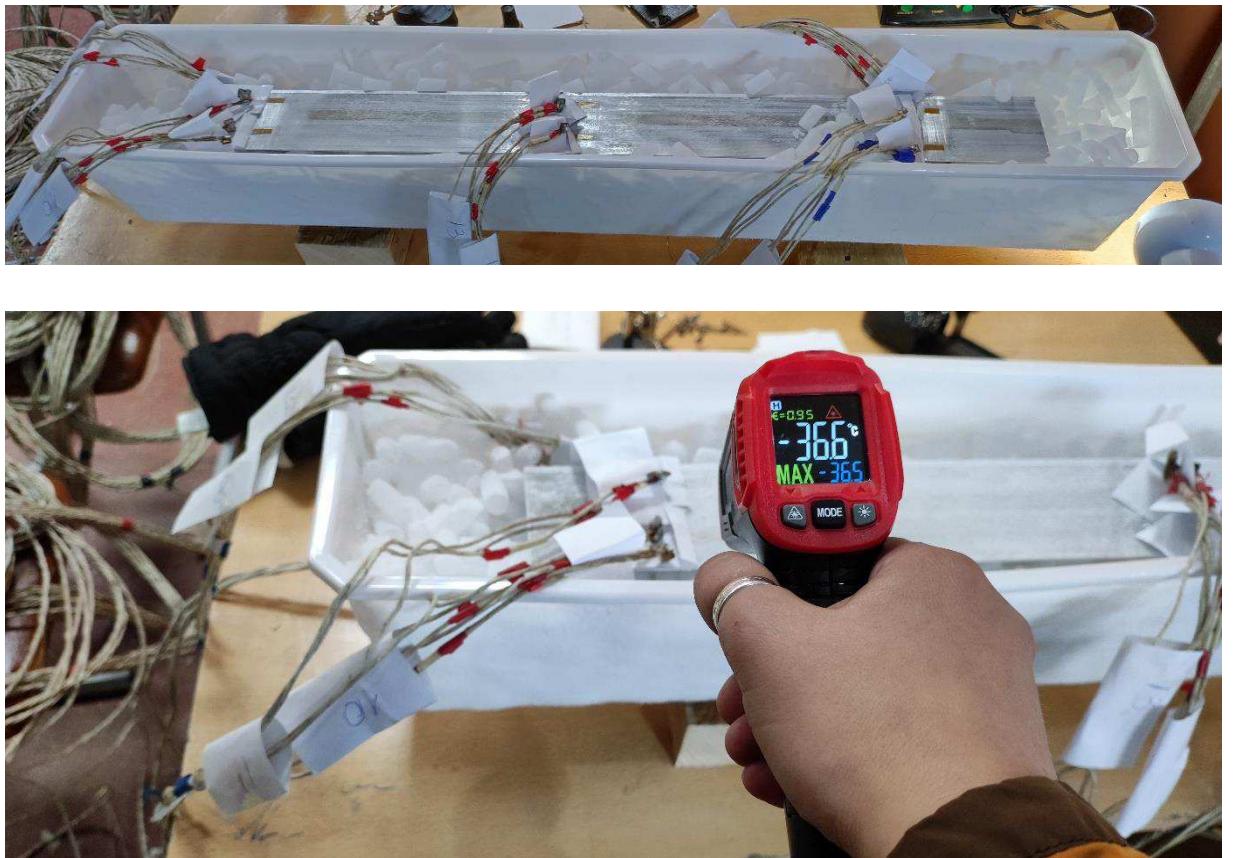


Рисунок 55- Элемент НФС помещен в сухой лед

4. Подключаем тензодатчики (рисунок 56).



Рисунок 56- Подключенная многоканальная микропроцессорная тензометрическая система ММТС-64.01

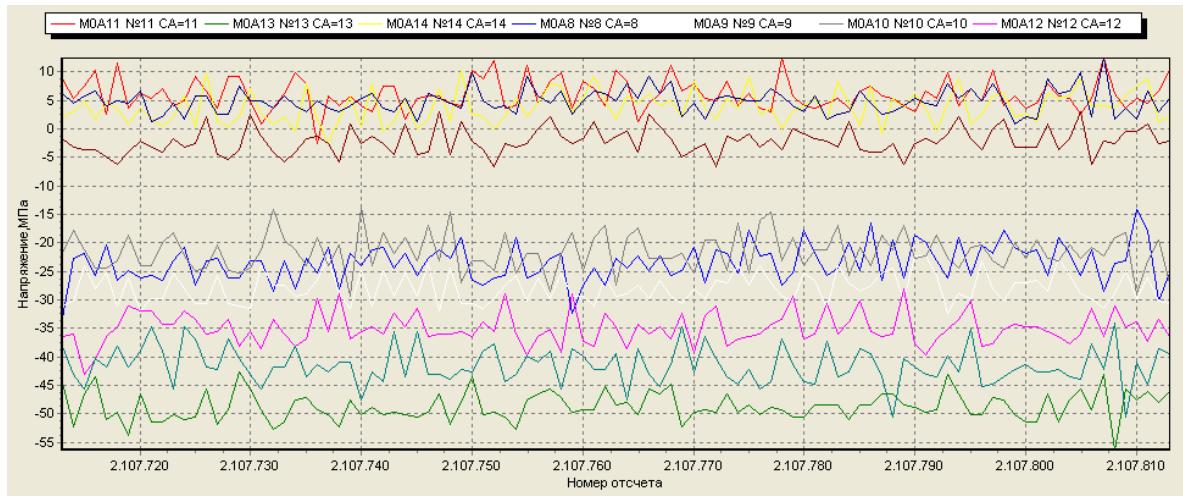
5. Выполняем замер напряжений в конструкции.

Данную процедуру повторяем 3 раза, длительность одного этапа 1 час, после каждой процедуры проверяем результаты изменения геометрических характеристик профиля, а также напряжений, возникающих в нем.

Измерительные приборы:

Тензо-датчики КФ5П1-15-200 номинальное электрическое сопротивление 200Ом, многоканальная микропроцессорная тензометрическая система ММТС-64.01, штангенциркуль, рулетка индикаторы (для измерения перемещений), пирометр (для замера температуры в теле профиля).

Полученные результаты:



Максимальные напряжения возникали в правой части профиля около 10МПа.

Малые перемещения, при понижении температуры воздействующей на профиль и кронштейны алюминиевый сплав набирает прочность, снижая напряжения и перемещения в элементах НФС к минимуму. Чем ниже воздействующая температура, тем ниже деформативность.

3.2. Вывод по главе 3

Проанализировав полученные экспериментальные данные, можно четко сделать вывод, что алюминиевые сплавы при воздействии низкой температуры не теряет свои прочностные свойства, а наоборот приобретает их. Применение алюминиевых сплавов в суровых климатических условиях наиболее оптимально по сравнению со стальными конструкциями.

Глава 4. Рекомендации по применению фасадных систем в суровых климатических условиях

Анализ технической документации производителей, заключений по несущей способности навесных фасадных систем.

4.1. Требования к навесным фасадным системам, применяемым в суровых климатических условиях

4.1.1. при проектировании

В настоящее время выполнение требований по тепловой защите ограждающих конструкций зданий является необходимым направлением. Установление важного значения уровня класса энергетической эффективности и увеличение тепловой защиты гарантирует сокращение затрат на отопление, обеспечивает увеличение качества эксплуатации строений, собственно, что приводит к увеличению срока жизненного цикла строительных конструкций. Фасадным системам приходится выдерживать температуру от минус 60 °С до плюс 50 °С, работать в условиях высоких концентраций химически интенсивных агентов, увеличение влаги и инсоляции.

При верном подборе утепляющего слоя помещения получают улучшенные теплоизоляционные свойства, дает вероятность снизить толщину основных несущих стен. Благодаря воздушному зазору, предусмотренному системой фасада гарантируется вентиляция воздуха и испарение возникающей влажности на поверхности фасадов.

Монтаж должен быть выполнен таким образом, чтобы защитить помещения от не очень благоприятных влияний окружающей среды, чтобы

при перепаде сезонных температур расширяющиеся материалы не деформировались и не повреждались.

НФС, ее подконструкция должна быть устойчивой и прочной к воздействующим на нее нагрузкам (собственный вес, вес облицовочного материала, ветровой нагрузки, снеговой нагрузки, обледенения фасада, сейсмических нагрузок). Материалы для НФС должны обладать соответствующими физико-механическими характеристиками, сопротивлением действию агрессивной окружающей среды, выносливостью.

Все конструкции НФС должны включать проверку на прочность и деформации профилей, стыковых соединений, всех креплений. Нагрузки и воздействия рассчитывается для каждого конкретного здания отдельно.

Подконструкция НФС подразделяется на:

- Кронштейны, профили;
- крепежи для крепления профилей и кронштейнами;
- крепежи для крепления НФС к стене здания (шайбы, гайки, прокладки)

Серьезным фактором, оказывающим влияние на срок эксплуатации навесных фасадных систем – коррозия. В атмосфере содержаться водные пары, а также срои, сероводород, двуокись серы и другие вещества, воздействующие на металлическую поверхность и оказывающие разрушающее действие.

4.1.2. к материалам

Кронштейны и направляющие

Устройство кронштейнов выполняется в соответствии с проектной схемой, а также принятого проекта производства работ. Под кронштейном может образовываться мостик холода, поэтому вместе с кронштейном устанавливают паронитовую прокладку. Кронштейны монтируются фасадными дюбелями, рекомендуется применять дюбеля с бортиками, чтобы кронштейн и головка шурупа не контактировали.

В подсистему навесной фасадной системы входят кронштейны несущие и опорные. На несущие кронштейны воздействует вертикальная и горизонтальная нагрузка, на опорные воздействует горизонтальная нагрузка.

Крепежные изделия

Количество крепежей для крепления кронштейнов рассчитывается исходя из конкретных условий строительства. Расчет ведется в угловой и рядовой зонах здания, где ветровая нагрузка принимается с повышенным динамическим коэффициентом.

Дюбеля подвергаются испытаниям, выполняют их нагружение специальным прибором до полного их разрушения. Выбирая фасадные дюбеля следует обращать внимание на их коррозионную устойчивость.

Рассчитывать нагрузки, возникающие в кронштейнах необходимо производить на всех участках НФС.

Испытания анкеров должны быть проведены испытательной лабораторией, аккредитованной в государственной системе аккредитации

Результаты испытаний фасадных дюбелей показаны на рисунке 57.

Вид дюбеля	Типо-размер	Разрушающая нагрузка анкерного крепления (показание прибора), кгс	Несущая способность с учетом коэф-та безопасности 0,14 (кгс)
Образец № 1	10 x 80	610	85
Образец № 2	10 x 100	290	41
Образец № 3	10 x 100	2200	308
Образец № 4	10 x 100	1200	168

Рисунок 57 - Результаты испытаний фасадных дюбелей

Стальные крепежные элементы подвержены коррозии, следует смотреть рекомендации производителей, какие дюбеля более подходят для окружающей среды в которой будет монтироваться НФС.

4.1.3. в период эксплуатации

Не следует крепить на НФС рекламные щиты, разнообразные вывески, оборудование кондиционеров, так как это дополнительная нагрузка на фасад. Для крепления данного оборудования необходимо применять закладные детали.

Необходимо следить за тем, чтобы вода не попадала в теплоизоляционный слой НФС. При помывке НФС не допускается, полив со шлангов, мыть необходимо только вручную. Так же следить за системой водостоков, чтоб дождевая вода не лилась по фасаду здания. Нельзя чтобы происходило закупоривание подцокольных щелей, в подоблицовочной системе воздух должен циркулировать.

Рекомендуется проверять техническое состояние несущих конструкций НФС хотя бы раз в пять лет.

4.2. Выводы по главе 4

Исследование показало, алюминиевые системы не восприимчивы к воздействию низких температур. При воздействии температуры ниже нуля, вплоть до минус 270 °С алюминий имеет свойство повышать собственную прочность, что хорошо сказывается на долговечности конструкции.

Сравнив два вида алюминиевых сплава АД0 и АД31 можно прийти к выводу, что использование сплава АД31 более целесообразно, нежели сплава АД0, потому как данный сплав более прочен и устойчив к суровым климатическим условиям, более коррозионноустойчив. Подконструкция из алюминиевого сплава АД31 учитывая его свойства долговечен, может служить до 50 лет и более. При численных исследованиях сплава АД31 на воздействие низких температур, коррозии по стечению 7 лет, сплав показал себя как устойчивый к подобным условиям материал с большим запасом прочности.

Стальные конструкции не так устойчивы к подобным условиям. Численно испытав стальную конструкцию по стечению 7 лет, потеряла свою прочность и устойчивость, разрушилась.

Заключение

Объектом исследования в данной работе выступает навесная фасадная система в условиях г. Норильск из алюминиевого вертикального и горизонтального каркасов, установленных на алюминиевых кронштейнах, закрепленных на стеновом ограждении здания с помощью анкерных крепителей, скрепленных между собой алюминиевыми заклепками. Для выполнения поставленной задачи были выполнены численные исследования.

По результатам исследований было установлено:

1. На основе технического отчета об оценке конструкции навесных фасадных систем в городе Норильск выполнен анализ дефектов и разработана модель НФС из стальных и алюминиевых сплавов для дальнейшего сравнения долговечности разного вида подконструкций НФС по материалам.
2. Численные исследования показали, кронштейны самый подверженный элемент к разрушению НФС. Кронштейны из алюминиевых сплавов АД31 показали большую устойчивость, запас прочности материалов по прошествии 7 лет эксплуатации составил 5,2 раза к коррозии, когда как стальные элементы разрушились за тот же промежуток времени.
3. Разработана модель элементов НФС из алюминиевых сплавов и выполнен численный расчет в программном комплексе ANSYS на воздействие низких температур, что показала хорошую устойчивость к такому воздействию алюминиевых сплавов АД0 и АД31.
4. На основе выполненных исследований описаны рекомендации по применению НФС.

Список использованных источников

1. Отчет по обследованию здания с навесной фасадной системой АО «Норильский никель»
2. В. С. Синявский, В. Д. Калинин ОАО «ВИЛС» Коррозионная долговечность алюминиевых сплавов и коррозионностойких сталей в подконструкциях вентилируемых фасадов [Электронный ресурс]: статья - Режим доступа: <http://www.kraspan.ru/upload/iblock/76c/korroziya.pdf>
3. ГОСТ Р58154-2018 Материалы подконструкций навесных вентилируемых фасадных систем
4. Колесова, Е. Н. Навесной вентилируемый фасад: классификация элементов, входящих в его состав, и проблемы, связанные с проектированием воздушного зазора [Электронный ресурс] / Е. Н. Колесова // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. - 2016. - №2. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/navesnoy-ventiliruemyy-fasad-klassifikatsiya-elementov-vhodyaschih-v-ego-sostav-i-problemy-svyazaimye-s-proektirovaniem-vozdushnogo>.
5. Обрушение вентилируемого фасада. Проблемы проектирования и ошибки монтажа [Электронный ресурс]: статья / Альянс - фасадные конструкции. - Режим доступа: <https://afkon.ru/posts/1755103>.
6. Павлушкина, Ю. Е. Навесной вентилируемый фасад и его характеристики [Электронный ресурс] / Ю. Е. Павлушкина, М. Е. Павлушкин // Молодой ученый. - 2016. №28. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/132/37104>.
7. СТО НОСТРОЙ 2.14.67-2012 Навесные фасадные системы с воздушным зазором. Работы по устройству. Общие требования к производству и контролю работ. - Введ. 25.05.2012. - Москва: ООО Издательство «БСТ», 2013.-53 с.

8. ТС №3056-10 навесной вентилируемый фасад с применением системы «Волна-2к» - Введ. 01.04.2010. - Красноярск, 2010. - 20 с.

9. Экспертное заключение №5-112 1ДНИИСК им. В.А. Кучеренко на навесную фасадную систему с воздушным зазором «ВФ МП ФЦ НК КП» ООО «Компания Металл Профиль». - Москва, 2018.

10. Экспертное заключение №5-424 1ДНИИСК им. В.А. Кучеренко на систему навесных вентилируемых фасадов «СИАЛ». - Красноярск, 2018.

11. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений от 30.12.2009г. №384-ФЗ.

12. Журнал Ирискулов, А. Р. Классификация дефектов фасадов [Электронный ресурс] /А. Р. Ирискулов, С. С. Чистоплясов, ГУ центр «ЭНЛАКОМ», «СтройПРОФИЛЬ». - 2006. №6. Режим доступа: http://www.kraspan.ru/upload/iblock/91b/19_Zhurnal_StroyProfil_n6_52_2006g_Klassifikaciya_defektov_fasadov_GU_Centr_Enlakom.pdf.

13. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. - Введ. 01.01.2014. - Москва: Стандартинформ, 2014. - 59 с. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200100941>.

14. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. - Введ. 21.08.2003. - Москва: ФГУП "КТБ ЖБ", 2003. -31 с.

15. Горчаков, А. О. Проведение экспертизы фасадов зданий [Электронный ресурс] / А. О. Горчаков // Научное сообщество студентов ХХI столетия. - 2016. - № 11. - Режим доступа: [https://sibac.info/archieve/technic/11\(47\).pdf](https://sibac.info/archieve/technic/11(47).pdf).

16. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. - Введ. 01.07.2013. - Москва: Стандартинформ, 2013. - 139 с.

17. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. - Введ. 01.07.2015. - Москва: Стандартинформ, 2015. - 16 с.
18. ТР 161-05 Технические рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации навесных фасадных систем. - Введ. 09.03.2005. - Москва: ГУ Центр «Энлаком». - 2005. - 15 с.
19. Воробьев, В. С. Оценка долговечности многослойных ограждающих конструкций / В. С. Воробьев, Н. П. Запащикова // Современная наука: теоретический и практический взгляд / Аэтерна. - Уфа, 2014. - 102 с
20. Запащикова, Н.П. Основные подходы к исследованию надежности навесных вентилируемых фасадов в домостроении в условиях Сибири / Н.П. Запащикова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2014.-№ 1-2.-с. 153-155.
21. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия, актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. - Введ. 04.06.2017. - Москва: Стандартинформ, 2017. - 104 с.
22. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции, актуализированная редакция СНиП П-23-81. - Введ. 28.08.2017. - Москва: Стандартинформ, 2008. - 148 с.
23. СТО 36554501-015-2008 Нагрузки и воздействия - Введ. 15.01.2009. - Москва: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008. - 64 с.
24. Рязанов А. В., Вигдорович В. И., Завершинский А. Н. Биокоррозия металлов. Теоретические представления, методы подавления // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2003. №5. Режим доступа: <https://cyberleninrLka.ru/article/rPbiokorozziya-metallov-teoreticheskie-predstavleniya-metody-podavleniya>.
25. СТО 35305799-003-2008 Подсистема стальных крепежных изделий

"АТОН-С" для навесных фасадных систем. Технические условия. - Введ. 01.04.2008. - Малоярославец: Стандартинформ, 2008. - 74 с.

26. Воробьев, В. Н. Навесные фасадные системы. Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации / В. Н. Воробьев. - Владивосток: ООО «ПортАктивСтрой», 2019. - 124 с.

27. Фасады России [Электронный ресурс] / - Электрон, текстовые дан. - 2016. - Режим доступа: <http://fasad-rus.ru>.

28. Трайв комплект [Электронный ресурс] / - Электрон, текстовые дан. - Санкт-Петербург: 2016. - Режим доступа: <https://traiv-komplekt.ru>.

29. Дефекты навесных фасадных систем [Электронный ресурс] / - Электрон. текстовые дан. -2016. Режим доступа: <http://enlacom.ru/defects/defekty-navesnyh-fasadnyh-sistem>.

30. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий - 2002. - Режим доступа: <https://snip.ruscable.ru/Datal/9/9931/>.

31. Основные положения метода конечных элементов [Электронный ресурс] / - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: https://studwood.ru/821899/informatika/osnovnye_polozheniya_metoda_konechnykh_elementov.

32. ANSYS club [Электронный ресурс] / - Электрон, текстовые дан. - Режим доступа: <https://cae-club.ru/content/raschety-na-ustalostnyu-prochnost>

33. ANSYS club Моделирование процесса окисления металла [Электронный ресурс] - Электрон, текстовые дан. - Режим доступа: <https://cae-club.ru/publications/modelirovaniye-processa-okisleniya-metalla-prirazlivke>

34. Компьютерное моделирование процесса стресс-коррозионного

разрушения [Электронный ресурс] - Электрон, текстовые дан. - Режим доступа: <https://pandia.ru/text/80/446/6306.php>

35. Сандыбаева, А. А. Конструктивные особенности и обоснования различных видов систем навесных вентилируемых фасадов: дис. маг. техн. и технолог. строительства: 270800 / Сандыбаева Айнур Амуназаровна. - СПб., 2015. -79 с.

36. Галямичев, А. В. Специфика определения нагрузок на ограждающие конструкции и её влияние на результаты их статического расчёта [Электронный ресурс] / А. В. Галямичев // Интернет-журнал Науковедение. - 2015. - Т. 7, № 2. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-opredeleniya-nagruzok-na-ograzhdayuschie-konstruktsii-i-eyo-vliyanie-na-rezulatty-ih-staticheskogo-raschyota>

37. Альбом технических решений для применения в строительстве // Навесные фасадные системы с воздушным зазором «Каптехнострой» типа КТС-КХ-XX-ВХ с облицовкой элементами кассетного типа и утеплением наружных стен зданий и сооружений различного назначения. - Москва, 2011. 97 с.

38. Воробьев, В. С. Оценка технического состояния навесных фасадных систем как инструмент энергосбережения и повышения энергетической эффективности зданий [Электронный ресурс] / В. С. Воробьев, Запашикова Н. П. // Интернет-журнал Науковедение. - 2015. - № 3. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-tehnicheskogo-sostoyaniya-navesnyh-fasadnyh-sistem-kak-instrument-energosberezheniya-i-povysheniya-energeticheskoy>

39. Воробьев, В.Н. Навесные фасадные системы. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности / В.Н. Воробьев. - Владивосток: ООО «ПортАктивСтрой», 2017. - 44 с.

40. Воробьев, В.Н. Навесные фасадные системы. Рекомендации по проектированию и устройству тепловой защиты ограждающих конструкций зданий / В.Н. Воробьев. - Владивосток: ООО «ПортАктивСтрой», 2017. - 52 с.

41. Воробьев, В.Н. Навесные фасадные системы. Рекомендации по проектированию и монтажу анкерных креплений / В.Н. Воробьев. - Владивосток: ООО «ПортАктивСтрой», 2017. - 44 с.

42. ГОСТ Р 58154-2018. Материалы подконструкций навесных вентилируемых фасадных систем. Общие технические требования - Введ. 01.01.2019. - Москва: Стандартинформ, 2018. - 15 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Строительные конструкции и управляемые системы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
С.В. Деордиев
подпись
инициалы, фамилия
«20» 06 2022г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Особенности применения навесных фасадных систем
в суровых климатических условиях

Тема

Несущих элементов навесных фасадных систем

08.04.01 Строительство

код и наименование направления

08.04.03.01 Теория и проектирование зданий и сооружений
код и направление магистерской программы

Научный руководитель	<u>Фроловская</u> доцент кафедры канд.техн.наук подпись, дата, должность, ученая степень	<u>А.В. Фроловская</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>Широкова</u> 21.06.22 412048114 подпись, дата	<u>Е.Э Широкова</u> инициалы, фамилия
Рецензент	<u>Матыскин</u> 22.06.22 Ч. инж. подпись, дата	<u>А. Г. Матыскин</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2022