Московский государственный строительный университет

На правах рукописи

ntirn !■ B4/S9A

ЛУШИН Кирилл Игоревич

ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ В ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ПРОСЛОЙКАХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТЫ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ ЭМИССИЕЙ ВОЛОКОН ИЗ МИНЕРАЛОВАТНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ

Специальность: 05.23.03 - Теплоснабжение, вентиляция, кондициониро¬вание воздуха, газоснабжение и освещение

ДИССЕРТАЦИЯ диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

В.Г. Гагарин

Москва-2013 г.

Оглавление.

ВВЕДЕНИЕ

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ИССЛЕДОВАНИЯ

ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ (НФС) С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

1.1. Роль и значение наружных ограждающих конструкций здания в процессах создания и поддержания параметров внутреннего микроклимата в помещениях здания.

1.2. Влияние технических характеристик наружных огражда¬ющих конструкций здания на показатели энергоэффек¬тивности при эксплуатации здания.

1.3. Современные технологии устройства наружных огражда¬ющих конструкций зданий со слоями эффективного утеп¬лителя.

1.4. Опыт применения навесных фасадных систем.

1.4.1. Общие принципы работы навесных фасадных си¬стем.

1.4.2. Основные виды навесных фасадных систем с вен¬тилируемой прослойкой.

1.5. Применение ветрозащитных мембран в навесных фасад¬ных системах с вентилируемой воздушной прослойкой.

1.5.1. Отрицательное влияние ветрозащитных мембран на эксплуатационные свойства навесных фасадных систем.

1.5.2. Положительное влияние ветрозащитных мембран на эксплуатационные свойства навесных фасадных систем.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЗДУШНОГО

РЕЖИМА В ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ПРОСЛОЙКЕ НФС.

2.1. Вывод уравнения изменения температуры по высоте при известной скорости движения воздуха в воздушной про¬слойке.

2.2. Оценка максимального значения средней скорости движе¬ния воздуха в прослойке НФС.

2.3. Совместный расчет температуры и скорости движения воз¬духа в воздушной прослойке.

2.4. Инженерный расчет скорости движения воздуха и темпе¬ратуры в воздушной прослойке.

2.5. Расчеты параметров температурно-воздушного режима в вентилируемой прослойке НФС.

2.5.1. Исходные данные для расчетов.

2.5.2. Сравнение результатов расчета скорости движения воздуха итерационным и инженерным методами.

2.5.3. Результаты расчетов скорости движения воздуха с учетом интенсивности солнечной радиации.

2.5.4. Влияние толщины воздушной прослойки на ско¬рость движения воздуха в ней.

2.5.5. Влияние высоты прослойки фасада на скорость движения воздуха в ней.

2.5.6. Расчет распределения температуры по высоте фаса¬да при различных скоростях движения воздуха в прослойке НФС.

2.5.7 Данные об измеренных значениях скорости воздуха в вентилируемых прослойках НФС.

Выводы по главе 2 51

3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ 53 ТЕПЛОЗАЩИТЫ НФС ВСЛЕДСТВИЕ ЭМИССИИ ВОЛОКОН С ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛОВАТНОЙ ПЛИТЫ В ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ПРОСЛОЙКЕ.

3.1. Исходное уравнение математической модели эмиссии во- 53

локон из минеральной ваты при ее обдуве струей воздуха.

3.2. Вывод уравнения эмиссии волокон из минеральной ваты. 55

3.3. Оценка снижения сопротивления теплопередаче стены с 59

НФС, обусловленного эмиссией волокон из минеральной ваты утеплителя.

Выводы по главе 3 62

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭМИССИИ 63 ВОЛОКОН С ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ В НФС.

4.1. Экспериментальный стенд для определения эмиссии во- 63

локна из утеплителя фасадной системы при воздействии потока воздуха.

4.2. Методика проведения эксперимента по исследованию 70

эмиссии волокон.

4.3. Экспериментальные исследования эмиссии волокон мине- 72

раловатных плит производства ЗАО «СПП «Термостепс».

4.3.1. Образцы и их подготовка к проведению испытаний. 72

4.3.2. Измеренные значения изменения массы образцов 73 вследствие эмиссии волокон.

4.3.3. Расчет скоростей эмиссии волокон из образцов. 75

4.3.4. Расчет коэффициентов эмиссии волокон из образ- 77 цов.

4.3.5. Расчет изменения массы минераловатных плит 78

вследствие эмиссии волокон.

4.3.6. Расчет изменения сопротивления теплопередаче 79

НФС обусловленного эмиссией волокон.

Выводы по главе 4 82

Заключение 83

Библиографический список 85

Приложения 100

ВВЕДЕНИЕ.

В последние десятилетия в отечественном строительстве в качестве ограждающих конструкций жилых и общественных зданий применяются стены с навесными фасадными системами (НФС) с вентилируемой воз¬душной прослойкой, которые способны обеспечить требуемый современ¬ными нормами уровень теплозащиты зданий. В России НФС известны дав¬но, однако ранее они применялись в зданиях с мокрым или влажным ре¬жимами. С начала 1990-х годов их начали применять для многоэтажных зданий с нормальным режимом эксплуатации. К настоящему времени накоплен значительный опыт практического применения НФС. Выполнены исследования их тепло физических свойств. Установлено, что скорость воз¬душного потока в вентилируемой прослойке НФС влияет на теплопередачу и интенсивность влагопереноса. Эта скорость сложным образом зависит от внутренних параметров прослойки. Движение воздуха в прослойке вызы¬вает эмиссию волокон из минеральной ваты. Для предохранения минера¬ловатного утеплителя в воздушной прослойке применяют ветрозащитные мембраны. Однако применение этих мембран обладает отрицательными свойствами. Они препятствуют выходу влаги из утеплителя, большинство мембран являются горючими. Поэтому актуальным является вопрос о воз¬можности устройства НФС без ветрозащитных мембран. Одним из глав¬ных препятствий для внедрения этого предложения является эмиссия воло¬кон из минераловатного утеплителя в НФС без ветрозащитной мембраны. Эмиссия волокон в значительной степени определяется воздушным режи¬мом в вентилируемой прослойке, в то же время она зависит и от - свойств минераловатного утеплителя. Эмиссия волокон, накопленная в течение многих лет, может привести к существенному снижению сопротивления теплопередаче стены с НФС. В свою очередь это поведет к увеличению нагрузки на систему отопления здания. Таким образом, разработка методов прогнозирования возможной эмиссии волокон из минераловатного утепли-теля и ее влияния на теплозащитные свойства НФС без ветрозащитной мембраны являются актуальными.

Цель и задачи исследования.

Цель диссертации - Определение влияния воздушного режима в вен-тилируемых прослойках теплоизоляционных навесных фасадных систем на изменение теплозащиты обусловленное эмиссией волокон из минерало¬ватного утеплителя.

Исходя из поставленной цели, решались следующие задачи:

- выполнить математическое моделирование и разработать методы расчета воздушно-теплового режима воздушной прослойки НФС в услови¬ях естественной вентиляции;

- выполнить математическое моделирование эмиссии волокон из ми-нераловатного утеплителя вследствие их отрыва при турбулентной пуль¬сации в обтекающем потоке воздуха;

- провести экспериментальные исследования параметров минерало¬ватного утеплителя, позволяющих прогнозировать эмиссию волокон при воздействии воздушного режима в прослойке;

- разработать методику расчета снижения теплозащиты НФС вслед¬ствие эмиссии волокон под воздействием воздушного режима в вентили¬руемой прослойке и выполнить расчеты для исследованных материалов.

Научная новизна.

1) На основе математической модели воздушно - теплового режима вентилируемой прослойки разработан инженерный метод совмест¬ного расчета температуры и скорости движения воздуха при есте¬ственной вентиляции;

2) Получен метод определения максимальной скорости движения воз¬духа в вентилируемой прослойке НФС с учетом воздействия интен¬сивности солнечной радиации в годовом цикле эксплуатации;

3) На основе математической модели турбулентной пульсации потока воздуха в вентилируемой прослойке НФС получено уравнение эмис¬сии волокон из минераловатного утеплителя, введено понятие коэф¬фициента эмиссии волокон и предложен экспериментальный метод его определения;

4) На основании уравнения эмиссии волокон предложена методика расчета изменения сопротивления теплопередачи ограждающих кон¬струкций с НФС при многолетней эксплуатации.

Практическая значимость работы.

1) Разработана методика расчета воздушно-теплового режима в венти¬лируемой прослойке НФС, которая может применяться при проекти¬ровании НФС;

2) Разработана методика прогнозирования сохранности и определения изменения теплозащитных свойств НФС при многолетней эксплуа¬тации с учетом эмиссии волокон которая может использоваться при расчетах сопротивления теплопередаче конструкций, для определе¬ния нагрузки на систему отопления здания;

3) Предложен критерий необходимости использования ветрозащитной мембраны по условию ограничения эмиссии волокон из минерало¬ватного утеплителя.

Достоверность полученных результатов.

В диссертации используются обоснованные экспериментальные ме¬тодики исследований с применением поверенных приборов и общеприня¬тые научные подходы к математическому моделированию движения газо¬вых сред, а также обоснованные методы решения соответствующих урав¬нений.

Внедрение результатов работы.

Основные результаты работы использованы при испытаниях мине-раловатных плит для применения в НФС с вентилируемой прослойкой для ряда зданий в Москве и других городах России. Результаты диссертации использованы в ФГБОУ ВПО «МГСУ» при выполнении работы по теме 2011-5.2-552-002-084 «Обеспечение центром коллективного пользования научным оборудованием МГСУ комплексных исследований в области энергоэффективности зданий и сооружений» и при выполнении работ по договору № К. 387 - 13 от 18.06.2013 по теме «Определение эмиссии воло¬кон теплоизоляционных плит из каменной ваты BASWOOL ВЕНТ ФАСАД 80, BASWOOL ВЕНТ ФАСАД 90 производства ООО «Агидель»». Ряд ре¬зультатов работы получен при финансовой поддержке гранта РФФИ про¬ект 13-08-90468 «Сопряженные задачи внешней и внутренней аэродинами¬ки и теплофизики энергоэффективных зданий».

Апробация работы и публикации.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на следую¬щих научных конференциях:

1) Третья и четвертая международные научно-технические конферен¬ции "Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции", Москва, МГСУ, 2009 и 2011 гг.;

2) 8th International Conference on Environmental Engineering, MAY 19-20, 2011 Vilnius, LITHUANIA;

3) XI Международная научная конференция. Качество внутреннего

воздуха и окружающей среды. 23 марта - 5 апреля 2013 г., Ханой,

Вьетнам;

По теме диссертации опубликовано 7 работ, из которых 5 статей - в журналах, рекомендованных ВАК.

Объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заклю¬чения, списка литературы (120 наименований), 19 рисунков и 11 таблиц. Общий объем диссертации — 102 страницы.

Краткое изложение содержания диссертации.

В первой главе диссертации изложено состояние вопроса по приме¬нению и эксплуатационным свойствам навесных фасадных систем (НФС) с вентилируемой воздушной прослойкой.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям воздушного режима вентилируемой прослойки. Выведено и решено дифференциальное уравнение изменения температуры по высоте фасада. На основании полу¬ченного решения выведена формула для приближенного вычисления ско¬рости движения воздуха в прослойке. Получено выражение для оценки максимальной скорости движения воздуха в прослойке. Проведены расче¬ты скоростей воздуха в прослойке при различных конструктивных пара¬метрах НФС.

В третьей главе описана математическая модель эмиссии волокон из слоя минераловатного утеплителя. Выведено уравнение для потока эмис¬сии волокон из слоя утеплителя, при этом введен новый параметр - коэф¬фициент эмиссии волокон. На основании этого уравнения предложены вы¬ражения для расчета суммарной эмиссии волокон из утеплителя и для оценки снижения сопротивления теплопередаче ограждающей конструк¬ции с НФС. Предложен критерий для допустимого снижения сопротивле¬ния теплопередаче ограждающей конструкции за срок эксплуатации. Раз¬работанные уравнения позволяют проводить оценку допустимой эмиссии волокон из слоя минераловатного утеплителя НФС по критерию снижения теплозащитных свойств.

В четвертой главе описаны экспериментальные исследования эмис¬сии волокон из минераловатных плит. Создана установка, на которой про¬ведены экспериментальные исследования для шести марок минераловат¬ных плит. Получены значения скоростей эмиссии волокон, по которым рассчитаны значения коэффициентов эмиссии волокон. Для максимальных значений скорости воздуха в прослойке НФС рассчитаны значения сум¬марной эмиссии волокон за срок эксплуатации НФС. Проведена оценка снижения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции и вы¬полнена проверка по введенному критерию допустимого снижения сопро¬тивления теплопередаче. Из четырех марок исследованных минераловат¬ных плит удовлетворили критерию минераловатные плиты только одной марки.

В выводах отмечены основные результаты, полученные при выпол¬нении диссертации

 Выполненноекомплексноеисследованиевоздушногорежимаиэмиссииволоконизминераловатногоутеплителяввентилируемойпрослойкепозволяетоценитьвозможностиухудшенияэксплуатационныхсвойствнавесныхфасадныхсистемвслучаенеиспользованияветрозащитныхмембран

 УсовершенствованметодрасчетавоздушногорежимавпрослойкенавесныхфасадныхсистемМетодосуществляетсяввидеитерационногорасчетаиввидеинженерногорасчетаМетодпозволилрассчитыватьвоздушныйрежимвпрослойкекаквхолодныйтакивтеплыйсезоныгодаприучетесолнечнойрадиацииПоказаночтоучетсолнечнойрадиацииповысилдостоверностьрасчетовПриведеныпримерыпримененияразработанногометодадлярасчетаиоценкискоростидвижениявоздухавпрослойкеНФС

 Разработанныйметодоценкимаксимальнойскоростидвижениявоздухаввентилируемойпрослойкепозволилпоказатьчтомаксимальнаяскоростьдостигаетсяпримаксимальномзначенииразноститемпературывнутреннегоинаружноговоздухаиодновременнопримаксимальнойинтенсивностисолнечнойрадиации

 РазработанатеорияэмиссииволоконоснованнаянааэродинамическомвоздействиипотокавоздухапроходящегонадповерхностьюминераловатногоутеплителяНаоснованииматематическоймоделиполученоуравнениеэмиссииволоконизминераловатногоутеплителяКоличественноэмиссияволоконизматериалахарактеризуетсякоэффициентомэмиссииволоконПолученныевыраженияпозволилиустановитьчтопотокэмиссииволоконописываетсястепеннойзависимостьюотскорости

 РазработанаэкспериментальнаяустановкаисозданаметодикаопределениякоэффициентаэмиссииволоконизминераловатныхизделийприихобдувепотокомвоздухаПроведеныисследованиядляминеральнойватычетырехмарокиданаколичественнаяоценкакоэффициентамэмиссииволоконизних

 ПредложеныметодырасчетапотериэксплуатационныхсвойствминеральнойватывНФСвследствиеэмиссииволоконВкачествепараметровпредложенысуммарнаяпотерямассыутеплителязасрокэксплуатациииснижениесопротивлениятеплопередачеслояутеплителявНФСПредложеныуравнениядлярасчетаэтихпараметровПриведенырасчетыэтихпараметровдлячетырехмарокутеплителейВкачествекритериядопустимостиснижениясопротивлениятеплопередачепредложеноиспользоватьпринимаемыйвпрактикепроектированиясистемотоплениязапаснаавторегулированиеравныйПоказаночтовнекоторыхслучаяхвозможнаяпотеряэксплуатационныхсвойствутеплителемможетпотребоватьустановкиветрозащитноймембраны

 ПроведенныйкомплексэкспериментальныхитеоретическихисследованийпозволилсформулироватькомплекснуюрасчетноэкспериментальнуюметодикуобеспечениятеплозащитныхсвойствминераловатногоутеплителявНФСпокритериюэмиссииволокон