

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №5, Том 10 / 2018, No 5, Vol 10 <https://esj.today/issue-5-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/46SAVN518.pdf>

Статья поступила в редакцию 27.08.2018; опубликована 15.10.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Шибаета Г.Н., Ибе Е.Е., Баев М.В., Редина Е.В. Анализ тепловой защиты зданий, построенных с применением вентилируемых фасадных систем // Вестник Евразийской науки, 2018 №5, <https://esj.today/PDF/46SAVN518.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Shibaeva G.N., Ibe E.E., Baev M.V., Redina E.V. (2018). Analysis of thermal protection of buildings constructed with of ventilated facade systems. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(10). Available at: <https://esj.today/PDF/46SAVN518.pdf> (in Russian)

УДК 692

ГРНТИ 67.29.29

Шибаета Галина Николаевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Россия
Зав. кафедрой «Строительство»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: shibaevagn@mail.ru

Ибе Екатерина Евгеньевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Россия
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: f-eibe@sfu-kras.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=649187

Google Академия: <https://scholar.google.ru/citations?user=vN6KIQ4AAAAJ&hl=ru>

Баев Михаил Владимирович

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Россия
Магистрант, группа 37-3
E-mail: f-eibe@sfu-kras.ru

Редина Елена Витальевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Россия
Магистрант, группа 37-3
E-mail: f-eibe@sfu-kras.ru

Анализ тепловой защиты зданий, построенных с применением вентилируемых фасадных систем

Аннотация. Актуальность работы обусловлена необходимостью экономии топливно-энергетических ресурсов, достигаемая сокращением тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий и сооружений. Решая проблему экономии энергоресурсов посредством улучшения теплозащиты зданий следует учитывать затраты энергии на получение самой теплоизоляционной конструкции. Применение фасадных систем с вентилируемым воздушным

зазором делает возможным создание ограждающих конструкций, отвечающих современным требованиям архитектуры и строительства, а также позволяет сократить эксплуатационные затраты зданий за счет снижения теплопотерь через наружные ограждения.

Фасадные системы с вентилируемым воздушным зазором, развитие которых началось несколько лет назад в условиях климата Сибири, к сожалению, имеют слабые места, требующие детальной и качественной проработки. Копирование конструктивных решений, используемых в европейской зоне, без учета особенностей климата, не подкрепленное методиками исследования изменения их свойств в условиях частых изменений температуры, влажности, ветровых нагрузок и других воздействий, может привести к негативным проявлениям.

Конструктивные схемы фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором должны с минимальными эксплуатационными затратами обеспечивать возможность мониторинга работоспособности всех элементов системы и в необходимых случаях проведения ремонтно-реконструкционных работ.

Приведены расчёты тепловой защиты наружных ограждающих конструкций с применением системы навесных вентилируемых фасадов.

Ключевые слова: тепловая защита; теплотехническая неоднородность; вентилируемый фасад; паропроницаемость; мембрана; температурное поле; теплопроводные включения

Введение

Вопросы теплосбережения при эксплуатации зданий в настоящее время играют важную роль, т. к. требования теплозащиты постепенно повышаются.

В табл. 1 для городов Абакан, Новосибирск Российской Федерации приведены требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче R_0^{np} наружных стен гражданских зданий, которые установлены исходя из обеспечения санитарно-гигиенических условий и условий энергосбережения.

Таблица 1
Требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен зданий

Город	$R_0^{np}, (m^2 \cdot ^\circ C) / Wm$		
	СНиП	СНиП (первый этап)	СНиП (второй этап)
Абакан	1,67	2,30	3,66
Новосибирск	1,13	2,12	3,71

Составлено авторами

После 2000 годов при строительстве многоквартирных домов начали активно использоваться различные теплозащитные строительные материалы, появилась технология строительства многослойных кирпичных стен.

В настоящее время в области строительства активно внедряются новые, прогрессивные технические и технологические решения. Одним из них является система навесного фасада с воздушным вентилируемым зазором. Данная система позволяет придать зданию современный архитектурно-выразительный вид и обеспечить надежность фасадов за счет использования новых, устойчивых к атмосферным воздействиям и температурным перепадам материалов.

Обеспечение такого уровня теплоизоляции наружных стен зданий, строящихся в резко-континентальном климате, возможно лишь с обязательным применением эффективных утеплителей, долговечность которых неизвестна, но явно ниже долговечности материалов на основе керамики и бетона. Трудности, возникающие при проектировании стеновых

конструкций при обеспечении новых нормативных требований, устраняются за счет разработки качественно новых технических решений [1, 2].

В работах [3, 4] описаны исследования состояния минераловатных плит в трехслойных ограждающих конструкциях зданий. Как отмечают авторы физико-механические свойства минераловатных плит и пенополистирола практически не изменились. Долговечность фасадной системы зависит от материалов конкретной системы.

Продолжительность службы минватных фасадов – до 25 лет, пенополистрольных несколько меньше – до 20 лет, за счет отсутствия паропроницаемости утеплителя и совместимых с ним конструкций. При сезонном замерзании и оттаивании материал постепенно разрушается, что приводит к увеличению коэффициента теплопроводности.

Поскольку система навесных фасадных систем подразумевает крепление минераловатного утеплителя и отделки к несущей стене с помощью различных дюбелей и металлических кронштейнов, то технология производства работ требует наличие высококвалифицированных специалистов. Однако, на сегодняшний день многие строители данной квалификацией не обладают, в связи с чем при строительстве вентилируемых фасадных систем образуется большое количество дефектов, которые влияют на долговечности наружных стен зданий.

В ходе проведенного обследования существующих объектов выявлены следующие дефекты:

- смещение облицовочных панелей по вертикали и горизонтали;
- неправильное или некачественное крепление облицовки;
- неправильная установка утеплителя (большие зазоры, нарушение сплошности, несоблюдение шахматного порядка);
- коррозия элементов системы крепления;
- образование термодформации из-за недостаточного зазора для механических и термических деформаций.

Поскольку основную долю навесной фасадной системы занимает утеплитель, то проблемы качественного монтажа утеплителя оказывают наибольшее влияние на работоспособность тепловой оболочки здания.

Методика исследования

Объектами исследования являются гражданские здания в г. Абакане с навесными вентилируемыми фасадами.

Методика исследования – экспериментально-теоретическая: в работе реализован комплексный подход к проблеме тепловой защиты зданий, построенных с применением навесных вентилируемых фасадных систем.

Первый этап – визуальный осмотр здания.

Вторым этапом является расчет конструкции наружной стены с вентилируемым навесным фасадом на влагонакопление.

Третьим этапом является расчет узлов ограждающей конструкции в программном комплексе Elcut и выявление наиболее рационального способа усиления теплозащиты.

Результаты исследования

Теплофизические свойства вентилируемых воздушных прослоек и их влияние на температурно-влажностный режим ограждающих конструкций многократно исследовались в указанных направлениях [5-17].

На теплозащитные свойства конструкций навесных вентилируемых фасадных систем оказывают влияние многие составляющие, но основная теплозащита приходится на теплоизоляционный слой.

Условия эксплуатации утеплителя в конструкциях навесных вентилируемых фасадов в большинстве городов России достаточно сложные, особенно в условиях резко-континентального климата Республики Хакасия. Теплоизоляционный материал конструкций вентилируемых фасадов подвергается различным атмосферным воздействиям. В воздушную вентилируемую прослойку вместе с атмосферным воздухом поступают загрязняющие вещества в виде пыли, сажи, которые оседают на поверхности минераловатного утеплителя и могут проникать в его толщу, вызывая деструкцию волокон и ухудшение эксплуатационных характеристик утеплителя.

Для увеличения срока службы минераловатного утеплителя применяют ветрогидрозащитную мембрану. Однако ветрогидрозащитная мембрана снижает удаление влаги из утеплителя, поскольку мембрана имеет большое сопротивление паропроонианию. Помимо это в настоящее время ветрогидрозащитную мембрану также часто монтирую с нарушением строительной технологии, что приводит к образованию полостей и нарушения целостности.

В работе выполнен теплотехнический расчет наружного ограждения с применением навесных фасадных систем с применением (рис. 1) и без применения влаго-ветрозащитной мембраны (рис. 2). Свойства используемых материалов в наружной стене представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики используемых материалов

Слой, материал	Толщина слоя, м	Плотность материала, кг/м ³	Расчётный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
Кладка из керамического кирпича	0,38	1800	0,7
Минераловатная плита П-125	0,12	120-170	0,064
Цементно-песчаный раствор	0,02	1800	0,72

Составлено авторами

Граничные условия:

1. Температуры внутреннего и наружного воздуха $t_e = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_n = -37 \text{ }^\circ\text{C}$
2. Коэффициенты теплоотдачи:

для внутренней поверхности $\alpha_{\text{стены}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$

для наружной поверхности $\alpha_{\text{стены}} = 23 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$

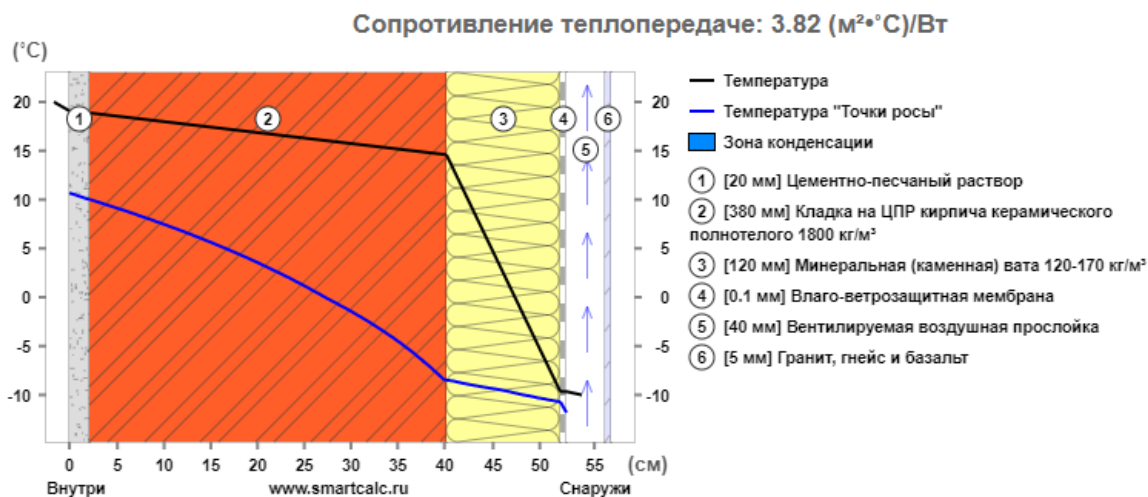


Рисунок 1. Теплотехнический расчет наружного ограждения с навесным вентилируемым фасадом с применением влаго-ветрозащитной мембраны (разработано авторами)

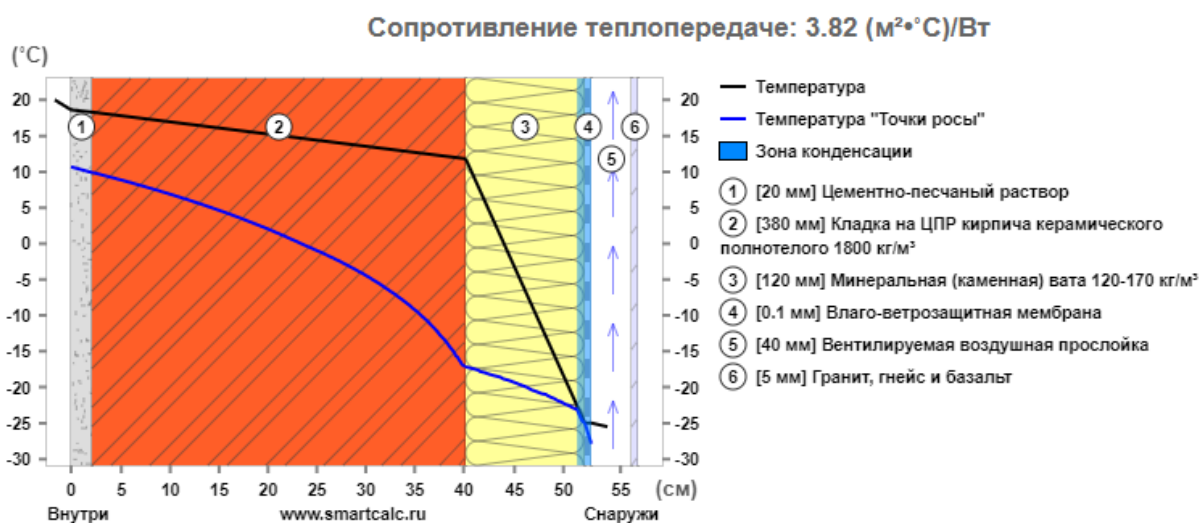


Рисунок 2. Теплотехнический расчет наружного ограждения с навесным вентилируемым фасадом без применения влаго-ветрозащитной мембраны (разработано авторами)

Как показывает расчет, с позиции влагонакопления влаго-ветрозащитная мембрана позволяет исключить возможность образования плоскости конденсации водяного пара в утеплителе. В случае отсутствия влаго-ветрозащитной мембраны в составе слоев наружного ограждения плоскость конденсации образуется (рис. 2), однако она смещена к воздушной прослойке, поэтому не представляет опасности с точки зрения влагонакопления.

В связи с тем, что Республика Хакасия относится к климатическому району с сухим климатом, то плоскость конденсации в непосредственной близости в вентилируемой воздушной прослойке не будет отрицательно влиять на теплотехнические свойства утеплителя.

При этом в процессе эксплуатации паропроницаемость мембраны будет снижаться вследствие ее загрязнения (рис. 3).



Рисунок 3. Загрязнение влаго-ветрозащитной мембраны в процессе эксплуатации (разработано авторами)

Проблемы обеспечения теплозащитных свойств рассматриваемых конструкций обусловлены, прежде всего, наличием теплопроводных включений в виде металлических кронштейнов. Кроме того, теплопроводными включениями являются дюбеля для крепления утеплителя, оконные откосы, балконные плиты, выпуски арматуры для крепления лесов и т. д.

В большинстве фасадных систем присутствуют металлические связи. Наличие стальных и алюминиевых связей с теплопроводностью в 1500 и 5500 раз превышающей теплопроводность теплоизоляционных материалов, приводит к значительному изменению теплотехнической однородности, снижению теплозащитных качеств, ухудшению влажностного режима стен и концентрации напряжения в узлах фасадной системы [18].

Влияние теплотехнической однородности на теплозащитные качества стеновых систем учитывается введением в формулу для расчёта приведённого сопротивления теплопередаче ($R_{0пр}$) в качестве поправочного коэффициента (γ) к условному сопротивлению теплопередаче.

Однако анализ проектной документации показал, что при разработке архитектурного раздела проектной документации ряда объектов г. Абакана данная отличительная особенность не была учтена. В стандартных случаях проектировщики закладывают в расчет коэффициент однородности 0,95-0,99. При этом нарушаются нормы тепловой защиты для наружного ограждения, в связи с этим тепловая защита зданий не соответствует нормативным требованиям по уровню приведенного сопротивления теплопередаче.

Зона примыкания двух ограждающих конструкций влияет на изменение теплового потока, проходящего через наружное ограждение (стык между соседними панелями, угол, образованный из двух наружных ограждений или наружного ограждения с внутренним, откос проема, соединительное ребро внутри ограждения и др.). При наличии теплопроводных включений картина температурного поля наружного ограждения значительно изменяется. В частности появляется точечная теплотехническая неоднородность.

Расчет температурных полей наружных ограждений с применением навесных фасадных систем с воздушным зазором для климатических условий г. Абакана приведен на рис. 4, 5.

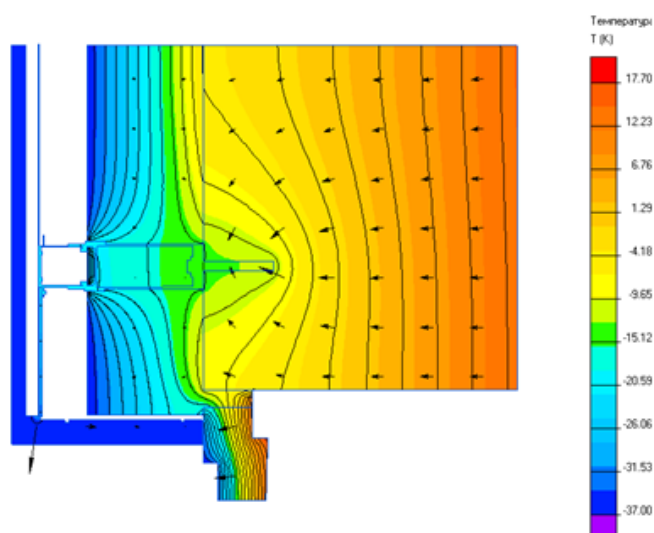


Рисунок 4. Температурное поле примыкания оконной рамы к наружной стене с навесным вентилируемым фасадом (горизонтальный разрез) (разработано авторами)

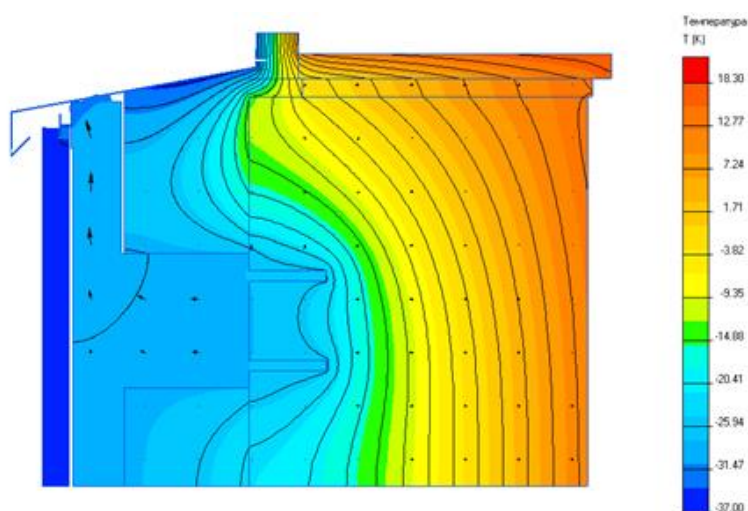


Рисунок 5. Температурное поле примыкания оконной рамы к наружной стене с навесным вентилируемым фасадом (вертикальный разрез) (разработано авторами)

Анализ температурных полей показывает, что средняя температура теплопроводных включений в зимний период составляет -15°C , при этом температура точки росы смещается внутрь стены, что приводит к смещению плоскости конденсации, поскольку коэффициент теплопроводности утеплителя и металлического кронштейна отличается в сотни раз.

Анализ температурных полей с учетом теплопроводных включений показывает, что наличие деталей крепления навесных фасадных систем полностью изменяет картину температурного поля. Следовательно, в расчет необходимо вводить коэффициент теплотехнической неоднородности.

Однако необходимо отметить, что теплотехническая неоднородность наружного ограждения образуется не только за счет теплопроводных включений от деталей крепления, но и от дефектов (рис. 6), образующихся при выполнении монтажа навесных фасадных систем неквалифицированными работниками.



Рисунок 6. Дефекты монтажа навесных фасадных систем (разработано авторами)

На рисунках отмечены дефекты монтажа – зазоры при креплении утеплителя к наружным стенам. Как видно по рис. 6, утеплитель крепится с большими зазорами, в некоторых местах строители допускают брак в виде разорванной влаго-ветрозащитной мембраны.

Картина температурного поля наружного ограждения с учетом дефектов монтажа представлена на рис. 7.

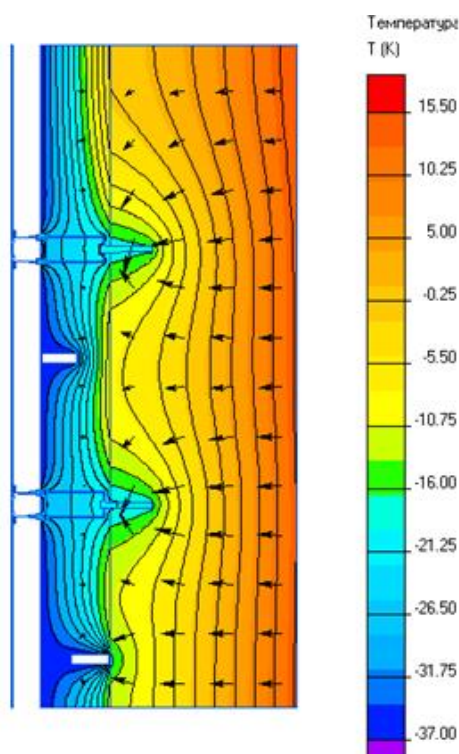


Рисунок 7. Температурное поле наружной стены с навесным вентилируемым фасадом с дефектами монтажа (вертикальный разрез) (разработано авторами)

По рис. 7 можно увидеть смещение температурных изолиний при наличии пустот и щелей на стыках утеплителей.

В целях уточнения тепловой защиты наружного ограждения был выполнен расчет сопротивления теплопередаче наружного ограждения с учетом коэффициента теплотехнической однородности утеплителя 0,98; 0,95; 0,92. Анализ расчетов показывает, что при коэффициенте теплотехнической однородности утеплителя 0,92 конструкция наружного ограждения перестает удовлетворять требованиям тепловой защиты.

В случае, если проводить расчет согласно ГОСТ Р 54851-2011 и учитывать коэффициент теплотехнической однородности для навесного вентилируемого фасада 0,65-0,75, то в результате требуемая толщина утеплителя увеличивается в 1,5 раза. Однако увеличение толщины утеплителя не приведет изменению температурного поля, поскольку детали крепления при этом не меняются. Увеличение толщины утеплителя приведет только к перерасходу материала утеплителя и повышению стоимости строительства. Необходимо отметить, что при соблюдении технологии монтажа теплотехническая однородность непосредственно теплоизоляционного слоя будет обеспечиваться. Температурное поле будет иметь неоднородность только в местах крепления кронштейнов.

Вопрос устранения мостиков холода через детали крепления теоретически можно решить, используя герметизирующий материал между каменной стеной и стальным анкером для постепенной теплопередачи.

Выводы

Вопрос долговечности навесных фасадных систем до конца не изучен, т. к. на сегодняшний день отсутствует накопленный опыт эксплуатации фасадных систем в условиях агрессивной окружающей среды. Исходя из этих условий, необходимо уже на стадии проектирования закладывать мероприятия, сводящие к минимуму, возможные ошибки при монтаже вентилируемых фасадов.

Установлено, влаго-ветрозащитная мембрана не приводит к повышению долговечности утеплителя в наружном ограждении. Влаго-ветрозащитная мембрана в связи с условиями эксплуатации быстро теряет защитные свойства и работает как непроницаемая пленка, что приводит к ухудшению свойств утеплителя.

Наличие теплопроводных включений в виде деталей крепления полностью изменяет картину температурного поля наружного ограждения. Учет коэффициента теплотехнической неоднородности при проектировании позволит улучшить теплозащитные свойства ограждения, однако приведет к увеличению стоимости строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1428826 (СССР). Трехслойная стеновая панель / В.Р. Хлевчук, В.Г. Гагарин, А.М. Крохин, А.А. Андреев, З.С. Канышкина. – Оpubл. в Б.И., 1988. – №37.
2. Александровский С.В. Метод прогнозирования долговечности наружных ограждающих конструкций // В кн.: Исследования по строительной теплофизике. – М., НИИСФ, 1984. – С. 81-95.
3. Сальников В.Б. Свойства минеральной ваты после длительной эксплуатации в стенах зданий на Среднем Урале // Строительные материалы. 2003, №9, С. 42-43.

4. Пономарев О.И., Маслов А.В., Мартынов О.М. О техническом состоянии наружных стеновых панелей // Жилищное строительство. 2004, №1, С. 10-12.
5. Trabelsi A. et al. Assessment of temperature gradient effects on moisture transfer through thermogradient coefficient // Building Simulation. – Tsinghua Press, 2012. – Т. 5. – №. 2. – С. 107-115.
6. Kornienko S.V. et al. Evaluation humidity conditions multilayer wall structure in the annual cycle // Construction of unique buildings and structures. – 2015. – №. 6. – С. 19-33.
7. Фокин К.Ф. Сорбция водяного пара строительными материалами. // В кн.: Вопросы строительной физики и проектирования. – М.-Л., 1939. – С. 24-37.
8. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.-Л., 1933.
9. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. 3-е изд. – М., 1953. – 320 с.
10. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М., 1982. – 416 с.
11. Бутовский И.Н., Рыбалов Е.И., Табунщиков Ю.А. Оптимизация теплозащиты зданий. – Обзор, информ. Строительство и архитектура. – 1983. – Вып. 2.
12. Гагарин В.Г. Теория состояния переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Дис. ... докт. техн. наук. – М., 2000. – 323 с.
13. Гагарин В.Г. Совершенствование методик определения влажностных характеристик строительных материалов и метода расчета влажностного режима ограждающих конструкций. Дис. канд. техн. наук. – М., 1984. – 206 с.
14. Гагарин В.Г. О модификации t-метода для определения удельной поверхности макро- и мезопористых адсорбентов // Журн. физ. химии. – 1985. – Т. 59. – № 5. – С. 1838-1839.
15. Лукьянов В.И. Снижение потерь тепла через наружные стены за счет оптимизации их влажностного режима // В кн.: Исследования по вопросам экономии энергии при строительстве и эксплуатации зданий. – М., НИИСФ, 1982. – С. 140-145.
16. Лукьянов В.И. Нестационарный массоперенос в строительных материалах и конструкциях при решении проблемы повышения защитных качеств ограждающих конструкций зданий с влажным и мокрым режимом. Дис. докт. техн. наук. – М., МИИТ, 1994.
17. Руководство по теплотехническому расчету и проектированию ограждающих конструкций зданий / Г.Г. Булычев, Ю.А. Табунщиков, М.А. Гуревич и др. – М., 1985. – 144 с.
18. Козлов В.В. Влияние тарельчатого дюбеля на теплофизические свойства фасадной теплоизоляционной системы с наружным штукатурным слоем // Стройпрофиль. 2009, №3, стр. 20-24.

Shibaeva Galina Nikolaevna

Siberian federal university
Abakan branch, Russia
E-mail: shibaevagn@mail.ru

Ibe Ekaterina Evgenievna

Siberian federal university
Abakan branch, Russia
E-mail: f-eibe@sfu-kras.ru

Baev Mikhail Vladimirovich

Siberian federal university
Abakan branch, Russia
E-mail: f-eibe@sfu-kras.ru

Redina Elena Vital'evna

Siberian federal university
Abakan branch, Russia
E-mail: f-eibe@sfu-kras.ru

Analysis of thermal protection of buildings constructed with of ventilated facade systems

Abstract. The relevance of the work is due to the need to save fuel and energy resources, achieved by reducing heat losses through the enclosing structures of buildings and structures. It is possible to create enclosing structures that meet the modern requirements of architecture and construction, and also reduces operating costs of buildings by reducing heat loss through external fencing.

Unfortunately, facade systems with a ventilated air gap have weak points that require detailed and high-quality study. Copying design solutions used in the European zone, without taking into account climatic features, not supported by methods for studying changes in their properties under conditions of frequent changes in temperature, humidity, wind loads and other influences, can lead to negative manifestations.

Structural diagrams of facade systems with a ventilated air gap should provide, with minimal operating costs, the ability to monitor the performance of all system elements and, if necessary, repair and reconstruction works.

In the explanatory note calculations of thermal protection of external enclosing constructions with application of system of hinged ventilated facades are resulted.

Keywords: thermal protection; heat engineering heterogeneity; ventilated facade; vapor permeability; membrane; temperature field; heat-conducting inclusions