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

2020, №5, Том 12 / 2020, No 5, Vol 12 https://esj.today/issue-5-2020.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/71SAVN520.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:
Ситников Г.А., Быков А.А., Шибаева Г.Н., Портнягин Д.Г. Расчет и анализ сезонного хода температуры в контактной зоне облицовочного слоя и забутовки после восстановления ограждающей конструкции // Вестник Евразийской науки, 2020 №5, https://esj.today/PDF/71SAVN520.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:
Sitnikov G.A., Bykov A.A., Shibaeva G.N., Portnyagin D.G. (2020). Analysis of the temperature seasonal variation in the contact zone of the facing layer after restoration of the enclosing structure. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(12). Available at: https://esj.today/PDF/71SAVN520.pdf (in Russian)

УДК 692

ГРНТИ 67.29.29

Ситников Глеб Андреевич[1]
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Хакасский технический институт, Абакан, Россия
Студент кафедры «Строительство»
E-mail: glebstandreevich@gmail.com

Быков Андрей Аркадьевич[2]
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Хакасский технический институт, Абакан, Россия
Студент
E-mail: andrei_bikov98@mail.ru

Шибаева Галина Николаевна
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Хакасский технический институт, Абакан, Россия
Заведующий кафедрой «Строительство»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: shibaevagn@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=481067

Портнягин Денис Геннадьевич
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Филиал в г. Абакан, Абакан, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: my4455@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=655501

Расчет и анализ сезонного хода температуры в контактной зоне облицовочного слоя и забутовки после восстановления ограждающей конструкции

[1] https://vk.com/gleban_uragan

[2] https://vk.com/bikov_andrei98

Аннотация. В статье проанализированы возможные дефекты наружных кирпичных стен зданий, построенных по технологии многослойной кладки; рассмотрены причины их возникновения и способы устранения дефектов. Научная работа построена на материалах обследования здания, расположенного в городе Абакан Республики Хакасия. В ходе сплошного визуального обследования выявлено, что участок облицовочной версты на южном фасаде площадью 25 м^2 получил деформации выпучивания. Вследствие чего произошло обрушение аварийного участка версты вследствие ее «отставания» от основной кладки стен. В рамках проведения обследования были выполнены работы по закреплению облицовочной версты – аварийное состояние конструкции устранено.

В статье приведен расчет методом конечных элементов (МКЭ) в программных комплексах ElCUT и SCAD Office деформированной части наружной стены здания, подтверждающий причины образования дефектов кладки. Проведена тепловизионная съемка обследуемого здания с целью определения отрицательного влияния металлических анкеров на поверхность стены. Анализ полученных результатов расчета МКЭ в программном комплексе ElCUT свидетельствует о том, что наличие металлического анкера приводит к существенному изменению температуры и влажности.

Результаты проведенного обследования позволяют нам сделать вывод, что проектирование ограждающих конструкций по существующим нормам не является безусловной гарантией их эксплуатационной надежности, а отсутствие на стадии проектирования моделирования стационарных и нестационарных тепло-влажностных процессов, протекающих в конструкциях во время эксплуатации с учётом климатических особенностей района строительства, приводит к уменьшению долговечности, увеличению теплопотерь и к преждевременному старению конструкций.

Ключевые слова: ограждающие конструкции; теплопотери; градиент температуры; деформации; облицовочная верста; армирование; кирпичные стены

Введение

Повышение энергоэффективности, долговечности и качества строительных конструкций зданий и сооружений различного назначения – вопрос, требующий комплексного решения. В Республике Хакасия особенно актуален вопрос долговечности наружных ограждающих конструкций в связи с особенностями климатических условий [1]. На многих объектах, возведенных с использованием технологии многослойных кладок с облицовкой кирпичом, уже через 3–5 лет могут проявляться дефекты и повреждения: вертикальные трещины в лицевом слое кладки, разрушения кирпичей лицевого слоя в уровне плит перекрытий и даже обрушения участков кирпичной облицовки [2]. К возникновению аварийных ситуаций могут привести различные факторы: накопление влаги в ограждающих конструкциях, неправильная перевязка облицовки с несущей частью стены, нарушение технологии каменных работ.

Авторами [3] отмечено, что вероятность образования вертикальных трещин может быть снижена путем устройства вертикальных температурных деформационных швов, а также дополнительного усиления кладки облицовки на углах зданий и в зоне оконных проемов путем установки дополнительных элементов армирования и гибких связей. Однако, при этом досконально не изучен вопрос образования мостиков холода через элементы армирования и гибкие связи.

Основной целью работы является математическое моделирование распределения теплового поля в наружной кирпичной стене с металлической анкеровкой облицовочной версты в зависимости от изменения температурных параметров наружного воздуха.

Методика исследования

С целью подтверждения основных и часто встречающихся дефектов наружных стен с облицовкой из кирпича, было проведено обследование [3] и оценка технического состояния строительных конструкций жилого дома, расположенного в г. Абакане Республики Хакасия.

По причине того, что обследуемое здание построено до 2000 года, когда Республика Хакасия официально пополнила список регионов, находящихся в зоне с повышенной сейсмической активностью до 7 баллов и более по шкале Рихтера, оно не соответствует требованиям для строительства в сейсмических районах.

Объект обследования представляет собой многоэтажный жилой дом сложной формы в плане. Строительство велось в период с 1994 по 1996 гг. Здание имеет стеновую конструктивную схему, материал стен – кирпич керамический на цементно-песчаном растворе. Конструкция стены в разрезе: кладка из кирпича рядового 510 мм; наружная облицовочная верста – керамический одинарный кирпич. Тип перевязки – цепная.

В ходе сплошного визуального обследования выявлено, что участок облицовочной версты на южном фасаде площадью 25 м^2 получил деформации выпучивания (рисунок 1), вследствие чего произошло обрушение аварийного участка версты вследствие ее «отставания» от основной кладки стен (рисунок 2).

Рисунок 1. *Выпучивание облицовочной версты [3]*

Рисунок 2. *Обрушение облицовочной версты [3]*

Авторами [3] было проведено обследование указанного здания на предмет выявления причины обрушения облицовочной версты.

Подобного рода деформации наружная верста может получить по ряду причин [3]: недостаточная перевязка (либо ее отсутствие) с основной кладкой; неполное заполнение швов раствором; величина свесов превышает допустимые значения; отсутствие армирования сетками (в случае, если предусмотрено проектом); замачивание стен; использование бракованных изделий (кирпичей) и материалов (раствора). На объекте обследования имели место быть три фактора, которые в совокупности привели к деформированию.

Во-первых, **нарушены правила перевязки**. Фактически на объекте обследования применена однорядная (цепная) перевязка. Такой способ перевязки более эффективный (по отношению к многорядной) и является обязательным требованием для кладки стен в сейсмических районах [4]. Однако фактически, при производстве работ, допущен брак: перевязка выполнена в 19–22 % случаях, в остальных случаях тычковые кирпичи являются муляжом (рисунок 3). Под термином «муляж», применительно к объекту экспертизы, понимается, что тычок представляет собой половину кирпича, которая не имеет связи с основной кладкой.

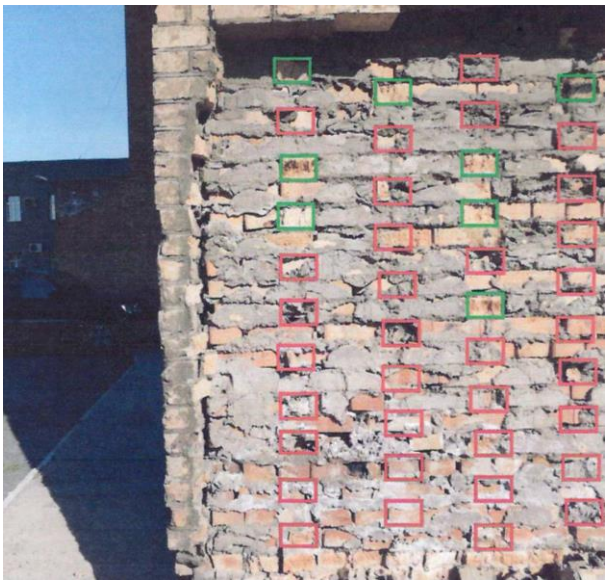


Рисунок 3. *Перевязка наружной версты с нарушениями (перевязка в 19–22 % случаях – зеленый квадрат; в остальных случаях «кирпичи-муляжи» – красным) [3]*

Во-вторых, **нарушены допуски по величине свесов**. Свес каждого ряда кирпичной кладки в карнизах не должен превышать 1/3 длины кирпича [5]. Длина примененных на объекте кирпичей составляет 250 мм, т. е. предельно допустимый свес 250/3 = 83,3 мм. Фактически на объекте обследования в месте, где произошло обрушение версты, свес составлял 110 мм.

В-третьих, **нарушены требования по заполнению швов раствором**. Горизонтальные и поперечные вертикальные швы кирпичной кладки стен, а также швы (горизонтальные, поперечные и продольные вертикальные) в перемычках, простенках и столбах следует заполнять раствором согласно СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции». После демонтажа облицовочной версты стало очевидно, что 35–40 % вертикальных швов не заполнены раствором.

Стоит отметить, что в республике Хакасия, отличающейся резко континентальным климатом, ограждающие конструкции в течение года (особенно в межсезонные периоды) подвергаются воздействию резко изменяющихся суточных температур и параметров

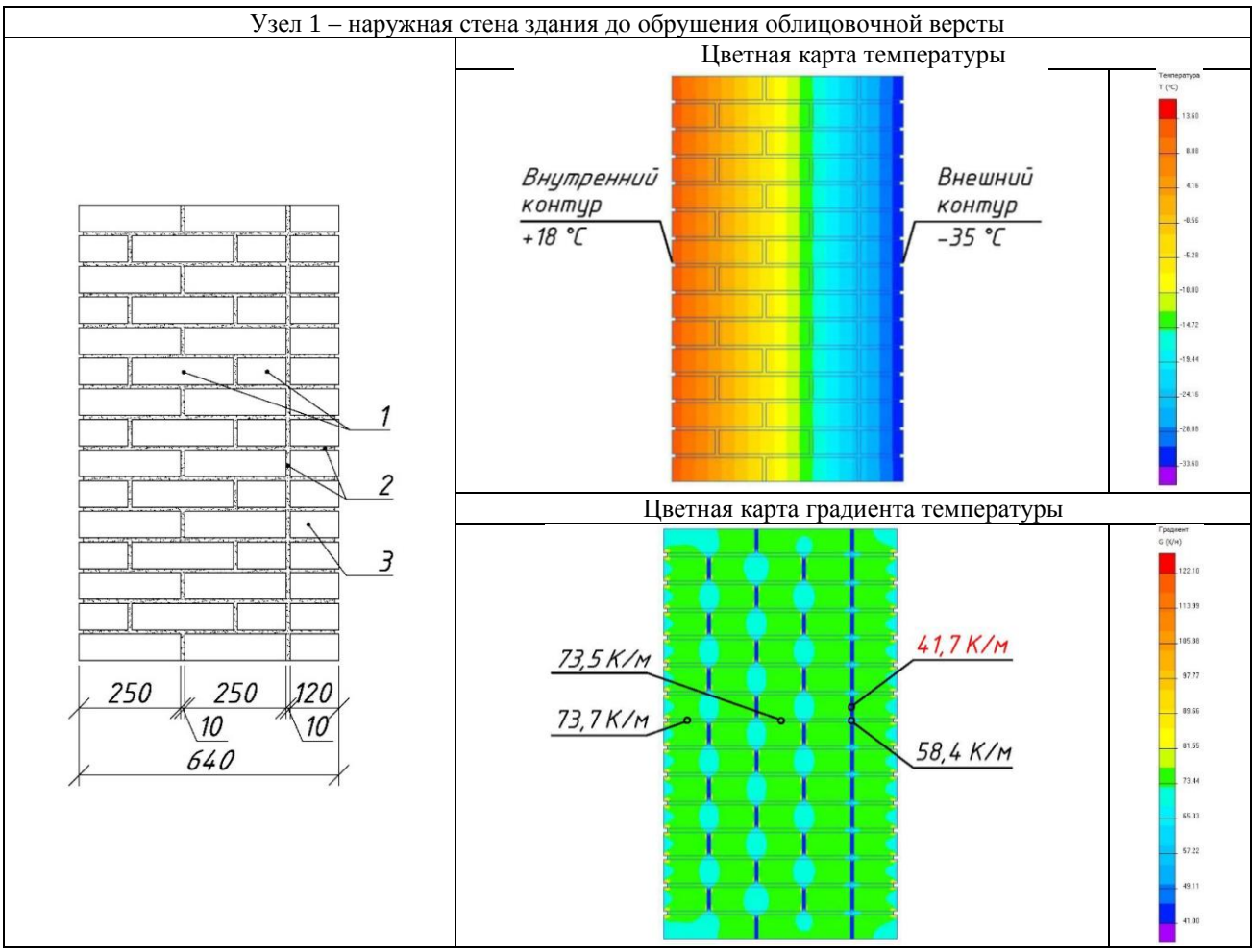
влажности. Действующими нормами практически не учитываются колебания температуры и влажности в толще ограждения вследствие особенностей климатических условий эксплуатации, а также влияние других субъективных факторов, возникающих при эксплуатации зданий (неисправности вентиляции, аварии тепло- и водоснабжающих сетей, нестационарность процессов тепломассопереноса в ограждающих, конструкциях и т. д.) [6]. С повышением влажности строительных материалов происходит увеличение их коэффициента теплопроводности, связанное с замещением воздуха в порах жидкой влагой, имеющей, более высокий, по сравнению с воздухом, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0{,}569$ Вт/(м·ч·ºС). При отрицательных температурах, когда вода в порах материала превращается в лед с $\lambda = 2{,}34$ Вт/(м·ч·ºС), коэффициент теплопроводности увеличивается еще больше, что в дальнейшем сказывается на долговечности материалов [7].

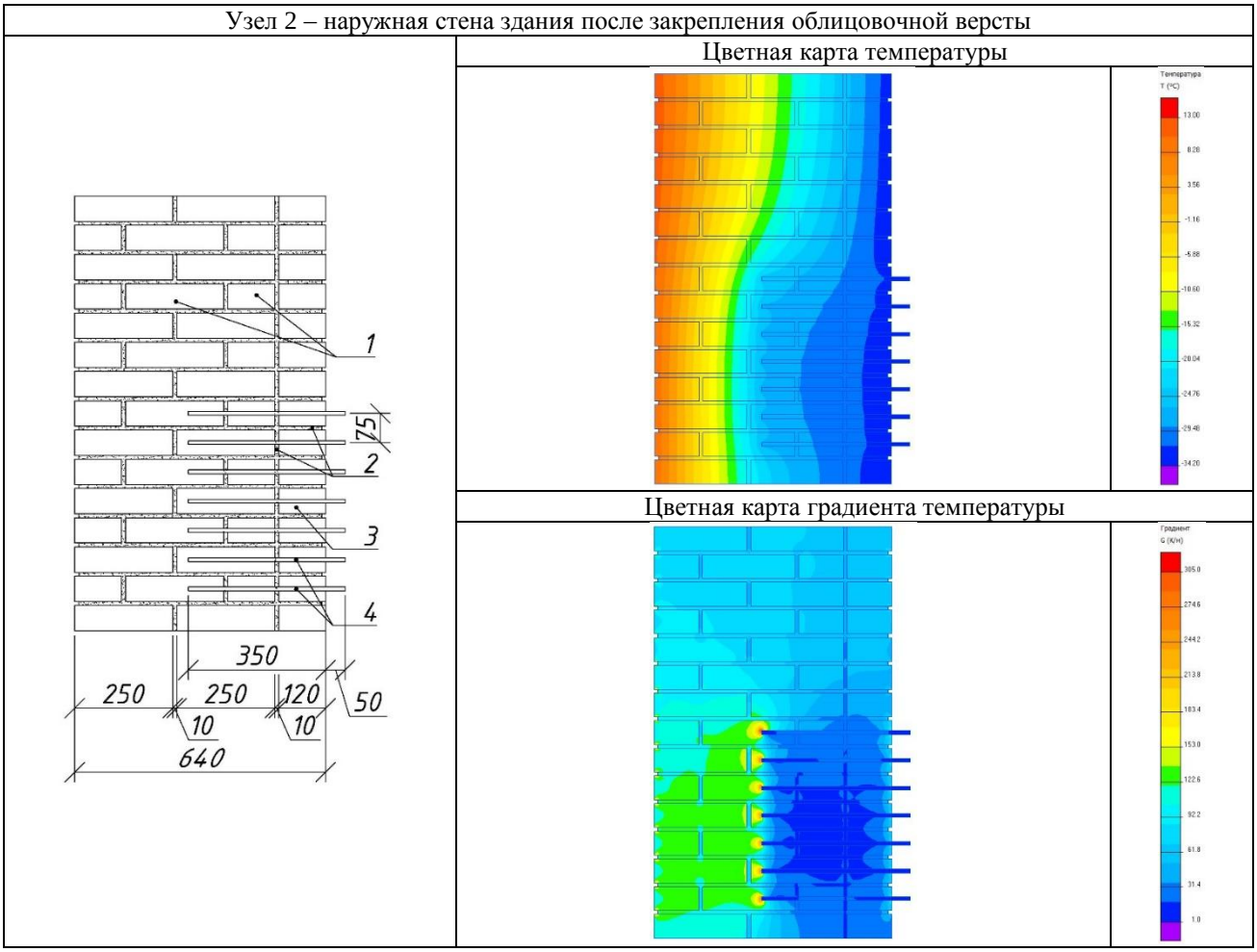
Изменение влажности строительных материалов сопровождается изменением объема, что могло привести к расшатыванию их структуры и снижению долговечности конструкции стены обследуемого здания в целом. Кроме того, повышенная влажность ограждения оказывает влияние на влажностный режим воздушной среды в помещении (повышает влажность), что является нежелательным с гигиенической точки зрения [8].

Мощности потоков теплоты через каждое теплопроводное включение определяется с помощью расчета температурных полей в программном комплексе Elcut (таблица 1). Расчетные характеристики материалов стеновых конструкций приведены в таблице 2. Граничные условия заданы для г. Абакана республики Хакасия.

Таблица 1

Результаты расчета кирпичной стены в программном комплексе Elcut





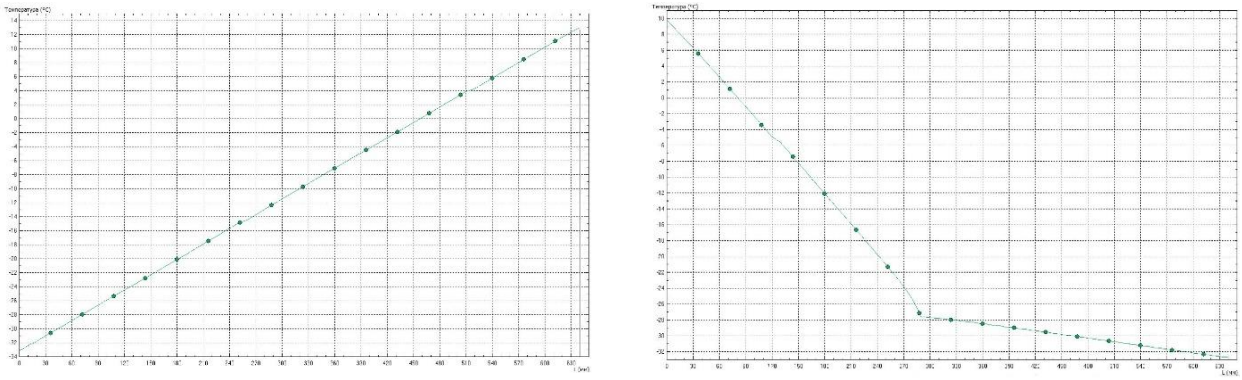
Разработано автором

Таблица 2

Расчетные характеристики материалов ограждающей конструкции

№ поз.*	Наименование	Плотность материала, кг/м^3	Расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/К*м
1	Кирпич керамический полнотелый	1800	0,67
2	Цементно-песчаный раствор	1800	1,2
3	Облицовочный кирпич керамический полнотелый	1800	0,67
4	Анкера класса AIII d10	7850	46

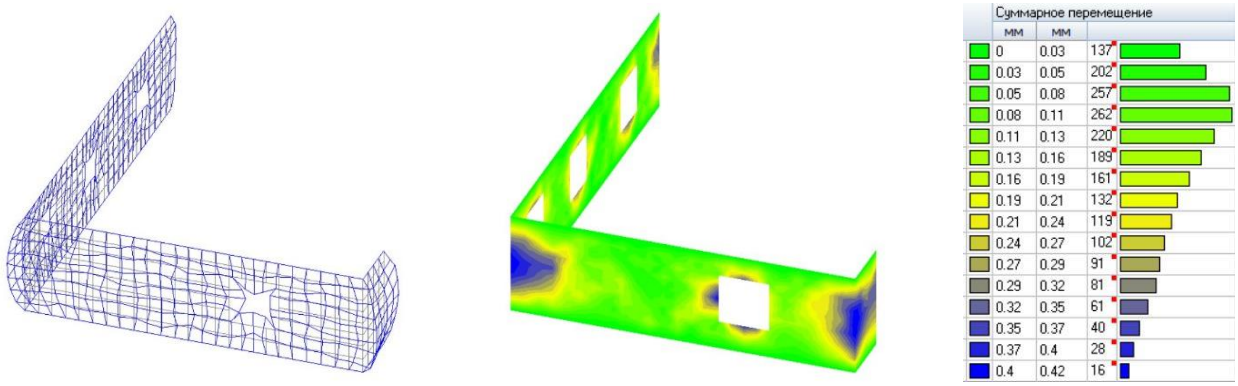
**№ позиции смотреть совместно с табл. 1 (разработано автором)*



а б

Рисунок 4. *Кривая распределения температуры по контуру узла 1 (а) и узла 2 (б) (разработаны автором)*

Параллельно произведен расчет температурных полей в программном комплексе SCAD Office. Построение стены осуществлено методом конечных элементов (МКЭ) (рисунок 5).



а б в

Рисунок 5. *Результаты расчета температурных нагрузок на угол стены: деформированная схема (а), изображение изополей перемещений (б), таблица значений перемещения (в) (разработаны автором)*

Анализируя полученные результаты, установлено что тепловой поток идет по растворному шву, а вместе с ним миграция капиллярной влаги (особенно характерно для особо влажных помещений) и в области примыкания облицовочной версты к несущей части распределяется по раствору. При этом с капиллярной влагой выносятся и минеральные соли раствора. Соответственно если цементный камень теряет эти водорастворимые минеральные соли, у него начинает происходить коррозия цементного камня и раствор в данном месте постепенно разрушается, что и произошло в обследуемой стене.

В рамках проведения обследования были выполнены работы по закреплению облицовочной версты – аварийное состояние конструкции устранено. Закрепление наружного слоя выполнено в виде поясов с помощью стальных анкеров из арматуры периодического профиля Ø10 мм, класс AIII (рисунок 6). Длина каждого стержня составляет 400 мм. Анкера забиваются в шахматном порядке на глубину 350–370 мм, т. е. образуя консоль 30–50 мм. Места устройства поясов определены на основе геодезической съемки [3].

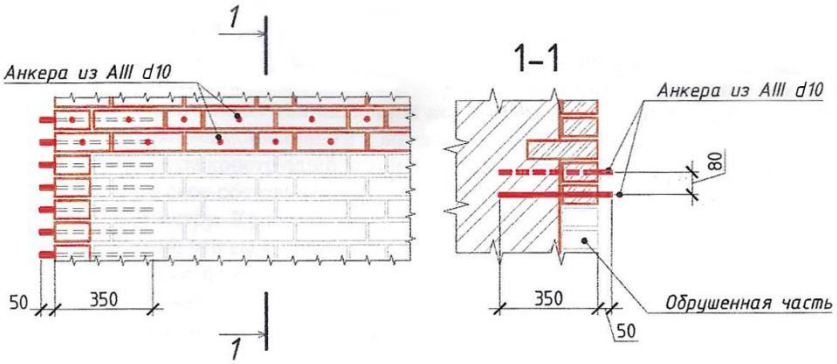


Рисунок 6. *Принципиальная схема устройства поясов, закрепления кладки [3]*

31.01.2020 года нами проведена тепловизионная съемка обследуемого здания с целью определения отрицательного влияния металлических анкеров на поверхность стены. Съемка велась ночью, в связи с установлением максимальной отрицательной температуры. Результаты показаны на рисунке 7.

Рисунок 7. *Результаты тепловизионной съемки обследуемого объекта (съемка от 31.01.2020 г.) (разработаны автором)*

Отмечено, что присутствие металлического анкера влечет к существенным изменениям влажности и температуры. Основанием выявленного факта является тепловое сопротивление, которое понижается в зоне закрепления металлического анкера. В свою очередь, тепловое сопротивление приводит к повышению теплового потока и, тем самым, к понижению температуры внутренней поверхности ограждающего элемента [9]. Кроме того, понижение теплового сопротивления приводит к снижение парциального давления насыщенного водяного пара и, соответственно, влечет к увеличению относительной влажности. Данное следствие было выявлено для идеальных условий. На самом же деле климатические параметры все время меняются, что обуславливает колебания влажностных и температурных полей [4]. В свой черед, характерные периоды релаксации для температурных полей выше на порядок, чем для влажностных полей [10]. Таким образом, при быстром снижении температуры случится смещение изотерм в направлении к внутренней поверхности стены, тогда как поля влажности будут запаздывать, что ведет к увеличению вероятности появления конденсата.

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что проектирование ограждающих конструкций по существующим нормам не является безусловной гарантией их эксплуатационной надежности, а отсутствие на стадии проектирования моделирования стационарных и нестационарных тепло-влажностных процессов, протекающих в конструкциях во время эксплуатации, с учётом климатических особенностей района строительства приводит к сокращению долговечности, повышению теплопотерь и к преждевременному старению конструкций. Повышение влажности в области облицовочной версты, т. е. на поверхности раздела фаз «облицовочная верста-забутовка» происходит при понижении температуры окружающей среды. Наличие металлических анкеров усугубляют этот процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кисельман А.П. и др. Повышение теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с заменой стальной арматуры на стеклокомпозитный материал в кирпичной стене / А.П. Кисельман, Д.Г. Портнягин, Г.Н. Шибаева, Е.Е. Ибе. – Текст: непосредственный // Перспективы науки. – 2019. – №. 2. – С. 43–51.
2. Кулешов И.В. и др. Проблемы трехслойной кирпичной кладки / И.В. Кулешов, Д.А. Ермолаев, Д.В. Борисов. – Текст: непосредственный // Шаг в науку. – 2018. – №. 2. – С. 143–147.

3. Халимов О.З. и др. Заключение по обследованию и оценке технического состояния строительных конструкций части жилого дома с южной стороны: заключение ООО «Экспертиза Недвижимости» / О.З. Халимов, А.В. Житенев, П.М. Плинта. – Текст: непосредственный // Абакан, 2017. Св-во № 0794-2017-1901095666-04 от 14.02.2017.

4. Корниенко С.В. Оценка влияния температурно-влажностного режима в краевых зонах ограждающих конструкций на теплозащиту зданий / С.В. Корниенко. – Текст: электронный // Вестник волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. – 2012. – № 26 (45). – С. 148–154. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18000525 (дата обращения 18.09.2020).

5. Оленников А.А. Тепловизионная съемка для поиска скрытых дефектов в тепловой защите зданий / А.А. Оленников, Е.В. Осокин, П.П. Кирилов, Е.Л. Гуща, В.В. Николенко. – Текст: электронный // Вестник сибирского государственного индустриального университета. – 2015. – № 4 (14). – С. 36–40. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26224580 (дата обращения 01.09.2020).

6. Аттетков А.В. Температурное поле конструкции с активной системой теплозащиты, содержащей анизотропное покрытие / А.В. Аттетков, И.К. Волков. – Текст: электронный // Известия российской академии наук. Энергетика. – 2013. – № 6. – С. 125–136. http://naukarus.com/temperaturnoe-pole-konstruktsii-s-aktivnoy-sistemoy-teplozaschity-soderzhaschey-anizotropnoe-pokrytie (дата обращения 16.09.2020).

7. Рубашкина Т.И. Нестационарный расчет тепловой защиты, ограждающий конструкций зданий / Т.И. Рубашкина. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – №. 2 (42). – С. 188–195.

8. Горшков Л.С. Сравнительный анализ потерь тепловой энергий через наружные ограждающие конструкции в зависимости от минимальных требований к уровню теплоизоляции наружных ограждающих конструкций здания / Л.С. Горшков, Д.В. Немова, П.П. Рымкевич. – Текст: электронный // Кровельные и изоляционные материалы. – 2013. – № 1 – С. 24–30. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22505279 (дата обращения 18.09.2020).

9. Добросмыслов С.С. и др. Исследование влияния металлических креплений на температурно-влажностный режим наружных ограждающих конструкций / С.С. Добросмыслов, Р.А. Назиров, М.А. Перькова, М.М. Пылаева, Н.А. Огорельцева. – Текст: непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2017. – №. 8–1. – С. 32–37.

10. Куприянов В.Н. Совершенствование метода расчета по защите от переувлажнения ограждающих конструкций / В.Н. Куприянов. – Текст: электронный // Жилищное строительство. – 2017. – № 5. – С. 38–43. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29304926 (дата обращения 29.09.2020).

Sitnikov Gleb Andreevich
Siberian federal university
Khakass technical institute, Abakan, Russia
E-mail: glebstandreevich@gmail.com

Bykov Andrey Arkadyevich
Siberian federal university
Khakass technical institute, Abakan, Russia
E-mail: andrei_bikov98@mail.ru

Shibaeva Galina Nikolaevna
Siberian federal university
Khakass technical institute, Abakan, Russia
E-mail: shibaevagn@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=481067

Portnyagin Denis Gennadievich
Siberian federal university
Abakan branch, Russia, Abakan
E-mail: my4455@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=655501

Analysis of the temperature seasonal variation in the contact zone of the facing layer after restoration of the enclosing structure

Abstract. The article analyzes the possible defects of the external brick walls of buildings using multilayer masonry technology; the reasons for their occurrence and ways of eliminating defects are considered. The work is based on materials from a survey of a building located in the city of Abakan, Republic of Khakasia. In the course of a continuous visual examination, it was revealed that a section of the facing verst on the southern facade with an area of 25 m^2 received deformations. As a result, the emergency section of a mile collapsed due to its gap from the main masonry of the walls. As part of the study, work was carried out to secure the facing verst – the emergency state of the structure was eliminated.

The article presents the calculation by the finite element method (FEM) in the software complexes ElCUT and SCAD Office of the deformed part of the outer wall of the building, confirming the reasons for the formation of masonry defects. A thermal imaging survey of the building under study was carried out in order to determine the negative effect of metal anchors on the wall surface. An analysis of the results obtained for calculating the FEM in the ElCUT software package indicates that the presence of a metal anchor leads to a significant change in temperature and humidity.

The results of the study allow us to conclude that the design of enclosing structures according to existing standards is not an unconditional guarantee of their operational reliability, and the absence at the design stage of modeling stationary and non-stationary heat and humidity processes occurring in structures during operation, taking into account the climatic features of the construction area, leads to a decrease in durability, an increase in heat loss and premature aging of structures.

Keywords: envelope structures; heat loss; temperature gradient; deformation; facing verst; reinforcement; brick walls