Academia. Архитектура и строительство, № 3, стр. 110–116.
Academia. Architecture and Construction, № 3, стр. 110–116.

Исследования и теория
Научная статья
УДК 697.1:697.132
doi: 10.22337/2077-9038-2022-3-110-116

Желдаков Дмитрий Юрьевич (Москва). Кандидат технических наук. Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21. НИИСФ РААСН). Эл. почта: djeld@mail.ru. https://orcid.org/0000-0002-4629-5583.

Zheldakov Dmitry Yu. (Moscow). Candidate of Technical Sciences. The Research Institute of Building Physics of RAACS (21 Lokomotivny proezd, Moscow, 127238. NIISF RAASN). E-mail: djeld@mail.ru.

Проектирование внутреннего утепления ограждающих конструкций при приспособлении исторических зданий с учетом долговечности

Аннотация. В процессе проектирования работ по реконструкции, приспособлению и реновации первостепенное значение уделяется обеспечению долговечности конструкций. В результате протекания процессов деструкции изменяется структура материала наружных стен исторических зданий, снижается сопротивление теплопередаче. При соблюдении требований к сохранности фасадов зданий применяются ограждения с теплоизоляционным проницаемым слоем со стороны помещения (внутреннее утепление). В статье приводится методика оценки циклической нагрузки с учётом параметра температурной нагрузки на материал, который позволяет связать климатические характеристики наружного воздуха – изменение температуры в связи с изменением климата и изменение количества циклов перехода температуры через ноль с характеристиками ограждающей конструкции: толщиной, теплофизическими и физико-химическими параметрами материала конструкции. Данная методика включена в СП 345.1325800.2017.

Ключевые слова: изменение климата, приспособление исторических зданий, ограждающие конструкции, политермическая нагрузка

Design of Internal Insulation of Enclosing Structures in the Adaptation of Historical Buildings Taking into Account Durability

In the process of designing works on reconstruction, adaptation and renovation, paramount importance is given to ensuring the durability of structures. As a result of the processes of destruction, the structure of the material of the exterior walls of historical buildings changes, the resistance to heat transfer decreases. In these conditions, it is necessary to provide thermal protection taking into account the durability of the enclosing structures. For this purpose, fences with a heat-insulating permeablelayer are used from the side of the room (internal insulation). At the same time, the alternating load on the material of the outer (historical) layer of the enclosing structure changes significantly. The article presents a method for assessing the cyclicload taking into account the parameter of the temperatureload on the material, which allows you tolink the climatic characteristics of the outdoor air - the temperature change due to climate change and the change in the number of cycles of temperature transition through zero with the characteristics of the enclosing structure: thickness, thermophysical and physicochemical parameters of the construction material. This technique is included in SP 345.1325800.2017 "Residential and public buildings. Rules for the design of thermal protection".

Keywords: climate change, adaptation of historical buildings, enclosing structures, polythermalload

Введение

Внутреннее утепление ограждающих конструкций в основном применяется для исторических зданий, где сохранности фасадов при проведении работ по реконструкции, приспособлению и реновации уделяется первостепенное значение.

На ограждающую конструкцию с внутренним утеплением действуют два разнонаправленных с точки зрения долговечности конструкции процесса: увеличение глубины промерзания конструкции и снижение температуры замерзания влаги в материале за счёт активного протекания химических реакций. Целью настоящей работы является разработка методики, позволяющей проводить проверку конструкции

© Желдаков Д.Ю., 2022.

по температурной знакопеременной нагрузке, что, в свою очередь, даёт возможность проектирования внутреннего утепления ограждающих конструкций исторических зданий без увеличения циклической температурной нагрузки.

Внутреннее утепление может приводить к повышенному увлажнению ограждающей конструкции на границе «кирпичная кладка – утеплитель». Этот вопрос решается разработанными технологическими приёмами, обеспечивающими удаление влаги из утеплителя. В настоящей статье данные технологические и конструктивные мероприятия не рассматриваются.

Методика проектирования тепловой защиты зданий с внутренним утеплением с учётом долговечности многослойных ограждающих конструкций, разработанная автором на основании теории долговечности материалов, вошла отдельным пунктом (п. 5.11) в СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»[1].

Исследования снижения температуры замерзания влаги в материале

Вода, поступающая в материал кирпича, запускает целый ряд химических реакций, описывающих основной процесс химической деструкции материала кирпича строительной керамики [1; 2].

На первой стадии происходит образование щелочных и, в значительно меньшей степени, щёлочноземельных гидроксидов в процессе гидратации оксидов данных металлов, присутствующих в аморфной части материала.

На второй стадии процесса химической деструкции протекают реакции взаимодействия образовавшихся на первой стадии гидроксидов с оксидами кремния и алюминия материала кирпича, приводящие к его разрушению.

Для проведения исследований температуры замерзания влаги в материале кирпича был отобран кирпич марки М100. Исследования проводились на кубике с размерами граней 67×57×68 мм. Водонасыщение образца составило 15,96%.

Измерение температуры образца проводилось цифровым термометром ТЦ3-МГ4.03. Один из двух температурных датчиков с помощью специальной контактной смазки закреплялся на поверхности образца. Температурное поле в объёме морозильной камеры фиксировалось вторым датчиком, который при проведении процесса замораживания располагается на расстоянии 50–70 мм от образца. Процесс замораживания влаги протекал в морозильной камере с возможностью достижения температуры менее минус 22 °С.

В процессе эксперимента исследовался образец в сухом и стопроцентно влагонасыщенном состояниях. После процесса влагонасыщения образец оборачивался полиэтиленовой плёнкой и выдерживался в течение одного часа, 24 и 120 часов. Время выдержки необходимо для равномерного распределения влаги внутри образца и для обеспечения времени протекания реакций образования щелочей. После четырёх часов замораживания образец и датчики температуры переносились из морозильной камеры в помещение с комнатной температурой. В помещении обеспечивалось минимальное движение воздуха. В процессе эксперимента температура образца и среды фиксировались с интервалом одна минута.

Результаты исследований представлены в виде графиков зависимости температуры образца и среды от времени замораживания (рис. 1) и оттаивания (рис. 2).

Для влажного образца сплошная экспоненциальная кривая, характерная для графика сухого образца, разделяется на три участка. Два участка – экспоненциальные и более пологие, чем для графика сухого образца. Это связано с тем, что показатель экспоненты уменьшается за счёт добавочной теплоёмкости воды на участке положительных температур или льда на участке отрицательных температур. Третий участок пологий, соответствующий времени замерзания воды в материале. Замерзание раствора начинается не при 0 °С. Образец сначала охлаждается до –1,3…–1,6 °С, а затем происходит отскок температуры до –0,6…–1,0 °С. Негоризон-

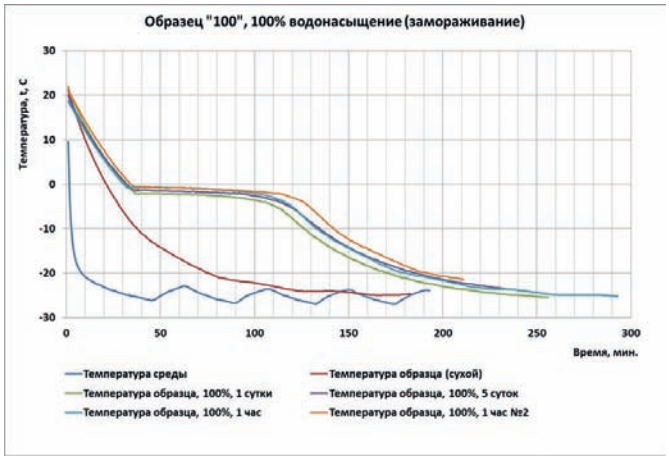

Рис. 1. График процесса замерзания образца кирпича с 100-процентным водонасыщением

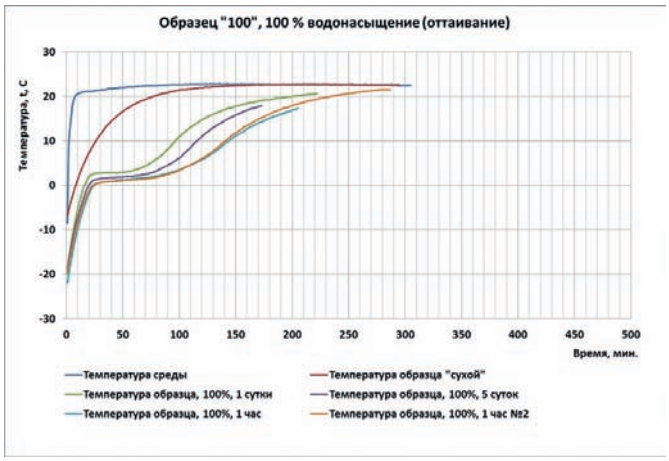

Рис. 2. График процесса оттаивания образца кирпича с 100-процентным водонасыщением

[1] СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» (https://docs.cntd.ru/document/557662914).

тальный участок замерзания, плавно переходящий во вторую экспоненту, полученный в ходе эксперимента, указывает на наличие растворённых веществ в воде. Если бы вода при увлажнении материала не превращалась в раствор, график имел бы горизонтальный участок.

Процесс замерзания химических растворов может быть описан законом Рауля. Закон Рауля к концентрированным растворам и растворам электролитов применим с ограничениями [3]. Кроме того, неизвестен состав растворённых веществ, который в процессе химических реакций, протекающих в материале кирпича, постоянно меняется. Однако проведённые испытания даже без дополнительной обработки дают материал для определения концентрации раствора с погрешностью в 10–20% от истинной концентрации. В настоящее время концентрация раствора в порах материала неизвестна даже с точностью в разы.

Проведённые экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Для всех водонасыщеных образцов температуры замерзания и оттаивания отличны от нуля градусов, участки графиков, характеризующих замерзание раствора, не горизонтальны, что подтверждает ранее сделанные выводы о том, что в материале кирпича при насыщении его водой происходят химические реакции с образованием электролитов.

2. Физико-химический процесс замерзания раствора электролита предполагает постепенное вымораживание растворителя с переходом его в твёрдую фазу и, соответственно, увеличение концентрации раствора при охлаждении его до эвтектической температуры. Только полная кристаллизация воды в растворе сможет оказать механическое воздействие на материал кирпича. До этого момента влага в материале кирпича будет представлять собой смесь кристаллов льда и раствора электролита с концентрацией, увеличивающейся при снижении температуры. В таком состоянии данная двухфазная система не способна оказывать механического воздействия на стенки материала.

Расчёт распределения температуры по сечению ограждающей конструкции

Для оценки количества циклов замерзания–оттаивания в различных сечениях, расположенных параллельно наружной поверхности ограждающей конструкции, необходимо решить вопрос прохождения тепловых волн сквозь стену при температурных колебаниях наружного воздуха, то есть рассчитать распределение температуры по толще стены при нестационарном режиме. При проведении расчёта наружный слой конструкции представляется в виде совокупности слоёв равной толщины (в миллиметрах), расположенных параллельно наружной поверхности конструкции.

В основе расчёта распределения температуры по сечению кладки лежит предложенное О.Е. Власовым [4] и К.Ф. Фокиным [5] математическое решение одномерной задачи нестационарного процесса, когда теплота передаётся через плоскую стену неограниченной протяжённости. Для расчёта распределения температуры по сечению наружной ограждающей конструкции необходимо решить дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье, определяющее одномерную теплопередачу при нестационарных условиях:

$$\frac{\partial t}{\partial z} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности среды, м^2/с;

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м^2 °С); c – удельная теплоёмкость материала, кДж/(кг °С); γ – плотность материала, кг/м^3; t – температура, °С; z – время, с; x – координата по оси движения теплоты, м.

В конечных разностях уравнение (1) запишется:

$$\frac{\Delta t}{\Delta z} = a\frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2}, \quad (3)$$

где Δt – конечные приращения температур, °С; Δz – конечные приращения времени, с; a – коэффициент температуропроводности среды, м^2/с; Δx – толщины элементарных слоёв по оси движения теплоты, м.

Представив Δt в одной плоскости, но в разные промежутки времени как

$$\Delta t = t_{n,z+1} - t_{n,z}, \quad (4)$$

где $t_{n,z+1}$ – температура в плоскости n в момент времени $z+\Delta z$, и соответствующее Δt в ближайших плоскостях как

$$\Delta^2 t = (t_{n+1,z} - t_{n,z}) - (t_{n,z} - t_{n-1,z}) = t_{n+1,z} + t_{n-1,z} - 2t_{n,z}, \quad (5)$$

получим общую формулу для определения температуры в любой плоскости через интервал времени Δz по температурам в той же плоскости и в двух соседних плоскостях в предыдущий момент времени z.

$$t_{n,z+1} = t_{n,z} + a\frac{\Delta z}{\Delta x^2}(t_{n+1,z} + t_{n-1,z} - 2t_{n,z}). \quad (6)$$

Если подобрать значения Δz и Δx таким образом, чтобы

$$a\frac{\Delta z}{\Delta x^2} = 0{,}5, \quad (7)$$

получим частный случай формулы (6):

$$t_{n,z+1} = \frac{tn+1,z + tn-1,z}{2}. \quad (8)$$

Формула (8) справедлива лишь при условии (7) и алгебраически описывает графический способ решения уравнения (1) методом Е. Шмидта [6]. Физический смысл формулы (7) состоит в том, что для любой стенки с коэффициентом

температуропроводности равном a, существует некоторый интервал времени Δz в течении которого между слоями, находящимися друг от друга на расстоянии $2\Delta x$ устанавливается стационарное состояние теплопередачи. То есть величина Δz, найденная по формуле (7), является максимальным значением интервала времени для определения расстояния между ближайшими слоями при решении задачи затухания температурных колебаний в плоской стене.

При увеличении Δz_{max} расчётные изменения температуры носят беспорядочный характер. Физически это объясняется тем, что наружная температура за время большее, чем Δz_{max} изменилась на большее значение, чем это изменение восприняла наружная стена. Тем самым расчётные условия задачи перестали соответствовать начальным условиям, принятым при выводе уравнения (6).

Тепловая волна, проходящая через стену, имеет фазу затухания колебаний температуры и теплового потока, а значения экспериментальных данных должны приниматься в расчётах с учётом фазы запаздывания прохождения тепловой волны через толщу ограждающей конструкции.

А.М. Шкловер представил затухание колебаний температуры и теплового потока как уменьшение гармонических колебаний температуры и теплового потока при прохождении волны через толщу стены [7]. Затухание колебаний температуры на протяжении от плоскости с координатой x до границы стены β для частного случая, когда обе плоскости (начальная и конечная по движению волны) расположены на участке регулярных колебаний, запишется в следующем виде:

$$\beta = e^{Rs\sqrt{i}}, \qquad (9)$$

где s – коэффициент теплоусвоения материала, введенный в практику О.Е. Власовым, рассчитывается по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{2\pi\lambda c\gamma}{z}}, \qquad (10)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м² К); с – удельная теплоёмкость материала, кДж/(кг К); γ – плотность материала, кг/м³; z – период колебаний, ч.

На участке регулярных колебаний фаза запаздывания в часах вычисляется по формуле

$$\beta'_{\varphi} = \frac{\beta_{\varphi} Z}{2\pi} \text{ [час]}. \qquad (11)$$

Для подтверждения точности метода расчёта распределения температуры по сечению наружной стены здания был проведён натурный эксперимент. Для чего было выбрано здание постройки 1905 года с наружными стенами толщиной 950 мм из полнотелого глиняного кирпича [8].

Для измерения температуры и плотности теплового потока использовался прибор ИТП-МГ 4.03/10(1) «Поток». Датчики температуры были установлены для измерения наружной (t_1) и внутренней (t_7) температуры на расстоянии 300 мм от поверхности стены, температуры наружной (t_2) и внутренней (t_6) поверхностей стенки, а также три датчика температуры были установлены в толще наружной стены на расстоянии 85(t_3), 185(t_4) и 280(t_5) мм от наружной поверхности стены здания. Схема расположения датчиков показана на рисунке 3.

Вычисления по формуле (11) позволили определить время запаздывания температурной волны: при прохождении всей стены оно равно 25,4 часа; от точки измерения температуры t_3 до внутренней поверхности стены – 22,6 часа; между точками измерения температуры t_3 и t_5 – 5,1 часа.

Во время проведения натурного эксперимента в автоматическом режиме через каждые двадцать минут проводились замеры наружной (t_1) и внутренней (t_7) температур, температур наружной (t_2) и внутренней (t_6) поверхностей стены.

С учётом промежуточных вычислений, приведённых выше, был произведён расчёт значений температуры в сечениях наружной стены здания, расположенных на расстоянии 85, 185 и 280 мм от наружной поверхности, по разработанной методике по методу конечных разностей и сопоставлен с реальными температурами в данных сечениях, замеренных в эксперименте. Эксперимент проводился в течение 2,5 месяцев. На рисунке 4 приводятся расчётные и эксперименталь-

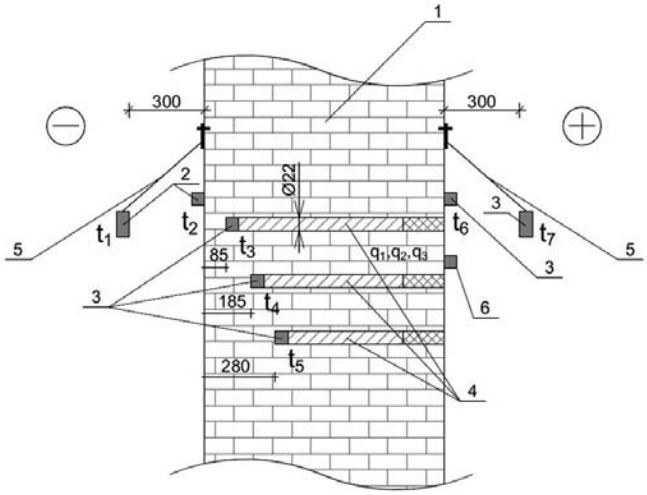

Рис. 3. Схема расположения датчиков натурном эксперименте

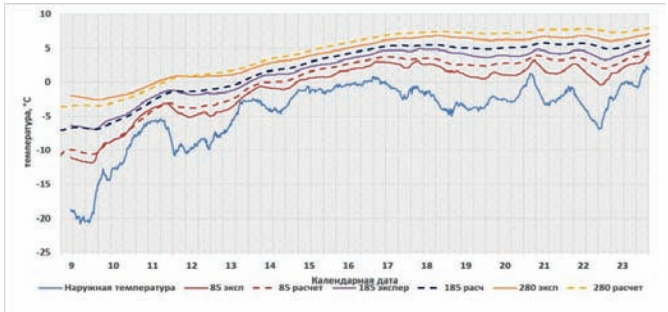

Рис. 4. Сравнение результатов натурного и расчётного распределения температуры по сечению наружной стены

ные графики на небольшом временном интервале 12 дней. На этом временном интервале наружная температура после достижения минимума резко возросла, затем изменялась более плавно. При этом расчётные значения с хорошей сходимостью повторяли движение экспериментальных кривых во всех сечениях.

Результаты

Задача разработки методики определения количества циклов «замораживания–оттаивания» была поставлена и решена более широко. При расчётах учитывалось глобальное изменение климата, и, соответственно, в методику расчёта наряду с теплотехнической составляющей была введена характеристика наружного воздуха.

Для оценки климатического влияния на ограждающую конструкцию вводится параметр температурной нагрузки на материал ограждающей конструкции. При этом наружный слой конструкции представляется в виде совокупности слоёв равной толщины *j* (мм), расположенных параллельно наружной поверхности конструкции. Параметр температурной нагрузки на материал ограждающей конструкции N_i^j численно равен количеству циклов замораживания–оттаивания во всех сечениях слоёв толщиной *j* (мм) стены здания в течение *i*-го года (циклов/год). Данный показатель позволяет связать

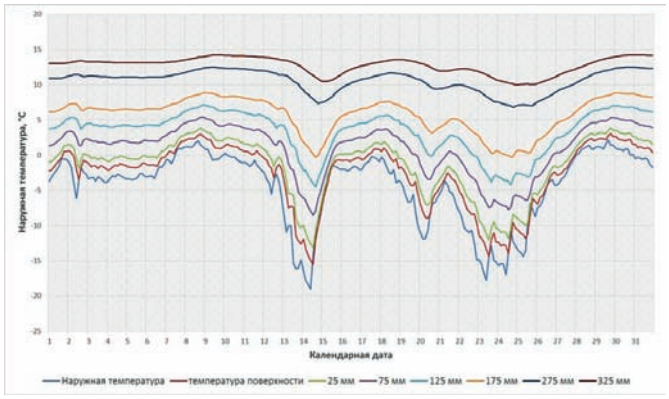

Рис. 5. Распределение температуры по сечению наружной стены здания (полнотелый кирпич 510 мм) при нестационарном режиме в январе 2001 года

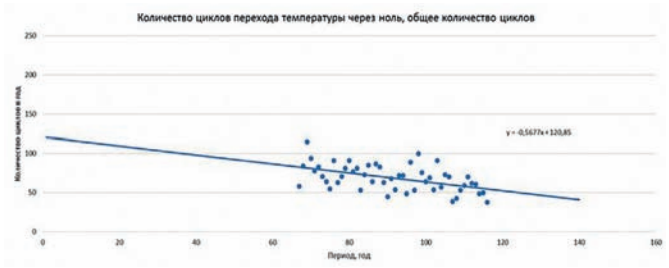

Рис. 6. Температурная нагрузка на материал ограждающей конструкции N_i для наружной стены из полнотелого красного кирпича толщиной 510 мм (температура замерзания–оттаивания влаги принята t = 0 °С, j = 50 мм)

климатические характеристики наружного воздуха – изменение температуры в связи с изменением климата и изменение количества циклов перехода температуры через ноль; технические характеристики – толщину и плотность материала ограждающей конструкции; теплофизические параметры – теплопроводность и теплоёмкость материала конструкции; химические характеристики – температуру замерзания влаги в материале.

Численное значение показателя температурной нагрузки на материал ограждающей конструкции равно сумме количества циклов замораживания–оттаивания в каждом сечении в течение года.

Для достоверной выборки были построены графики распределения температур в заданных сечениях с октября 1966 года по апрель 2011 года. За рассматриваемый период было получено около 600 000 расчётных точек на основании которых построено 2450 графиков распределения температуры по сечению кладки.

На рисунке 5 в качестве примера приведены результаты расчёта распределения температуры по сечению ограждающей конструкции, выполненной из полнотелого кирпича толщиной 510 мм. На рисунке представлены графики наружной температуры, температуры наружной поверхности и температуры в выбранных для расчёта сечениях кладки. Количество циклов замерзания–оттаивания влаги в материале кирпича рассчитывается при известных на основании лабораторных экспериментов (рисунки 1 и 2) температурах замерзания и оттаивания влаги.

Учёт влияния изменения климата проводится на основании расчётов показателя температурной нагрузки на материал за весь базовый период, которые представляются в виде линейного графика. График аппроксимируется формулой:

$$N_i^j = k(D - 1900) + b \qquad (12)$$

где D – расчётный год базового периода (например, 1963 год).

График температурной нагрузки на материал для наружных стен из полнотелого красного кирпича толщиной 510 мм (N_i), построенный на основании результатов анализа графиков распределения температуры, показан на рисунке 6. По оси абсцисс за ноль взят 1900 год.

График на рисунке 6 показывает, что распределение величины N_i – температурной нагрузки на материал ограждающей конструкции, подчиняется простой отрицательной линейной регрессии.

Правильность применения линейной регрессии для описания показателя N_i доказана с помощью статистического метода анализа остатков – графического метода, позволяющего оценить точность регрессионной модели.

Рассмотрим применение показателя температурной нагрузки на материал ограждающей конструкции для анализа часто встречающейся конструктивной задачи:

здание 1895 года постройки, имеющее архитектурную ценность, переоборудуется под лофты. В соответствии с современными стандартами требуется утепление наружных стен, однако размещать утеплитель возможно только с внутренней стороны здания, так как изменение архитектурного облика фасада невозможно. Необходимо определить, как изменится температурная нагрузка на ограждающую конструкцию при данном конструктивном решении.

Наружная стена из полнотелого глиняного кирпича имеет толщину 510 мм, утеплитель с коэффициентом теплопроводности 0,05 Вт/м °С, толщиной 100 мм уложен с внутренней стороны наружной стены. На рисунке 7 приведены графики температурной нагрузки для конструкции наружной стены с и без утеплителя. Видно, что для стены без утеплителя политермическая нагрузка на стену со временем будет уменьшаться, для конструкции с внутреннем утеплением увеличиваться. Для конструкции наружной стены без утеплителя уменьшение циклов замораживания–оттаивания объясняется тем, что увеличение температуры вследствие глобального потепления сказывается на конструкции наружной стены сильнее, чем происходящее в то же время незначительное увеличение циклов перехода наружной температуры через ноль.

Разработанный метод оценки позволяет рассмотреть температурное воздействие на ограждающую конструкцию не только для всей конструкции в целом, но и для каждого сечения в отдельности.

По разработанной методике для ограждающих конструкций из красного глиняного кирпича с разным сопротивлением теплопередаче и условием разной температуры замерзания влаги в материале конструкции были рассчитаны графики температурной нагрузки года.

На рисунке 8 представлены графики зависимости коэффициента k в линейном уравнении (12), характеризующим показатель температурной нагрузки, от сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с учётом разной температуры замерзания влаги в материале. Графики для температур замерзания 0 °С , минус 1, 2, 3 и 5 °С построены по расчётным точкам, на основании расчётов, выполненных по методике, приведённой в данной статье. Графиками, показанными на рисунке 8, определены максимальные значения сопротивления теплопередаче при утеплении ограждающих конструкций с внутренней стороны.

Коэффициент k в уравнении (12) определяет, будет ли в дальнейшем, после проведения проектных мероприятий по внутреннему утеплению стены, увеличиваться или уменьшаться количество циклов замораживания–оттаивания по сечению проектируемой ограждающей конструкции. Проверку конструкции по температурной знакопеременной нагрузке на материал проводят по условию сохранности:

$$k \leq 0 \qquad (13)$$

Выполнение условия (13) очень важно, так как точка пересечения линейного уравнения значения коэффициента k с осью абсцисс ($k = 0$) соответствует максимальному значению сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с внутреннем утеплением, с увеличением которого нагрузка на материал ограждающей конструкции будет возрастать с течением времени.

Заключение

Введение показателя «температурной нагрузки на материал ограждающей конструкции» позволяет связать климатические характеристики наружного воздуха – изменение температуры в связи с изменением климата и изменение количества циклов перехода температуры через ноль; технические характеристики – толщину и плотность материала ограждающей конструкции; теплофизические параметры – теплопроводность и теплоёмкость материала конструкции; химические характеристики – температуру замерзания влаги в материале. Разработанная методика даёт широкие возможности для численного анализа долговечности различных ограждающих конструкций с учётом адаптации к глобальному изменению климата.

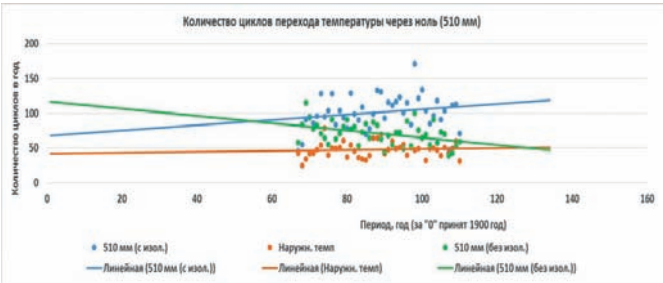

Рис. 7. Графики температурной нагрузки на материал ограждающей конструкции для наружной кирпичной стены 510 мм с и без утеплителя

Рис. 8. Зависимость коэффициента k в линейном уравнении, характеризующем показатель температурной нагрузки, от сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с учётом разной температуры замерзания влаги в материале

Список источников

1. *Желдаков, Д.Ю.* Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание процесса / Д.Ю. Желдаков. – Текст: непосредственный // Строительные материалы. – 2019. – № 4. – С. 36–43.

2. Исследование процесса кристаллизации влаги в кирпиче / Д.Ю. Желдаков, В.В. Козлов, Д.В. Кузнецов, Д.А. Синицин. – Текст: электронный // Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал. – 2020. – Том 12, № 6. – С. 305–312. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44430303_98413522.pdf (дата обращения 15.07.2022). DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-305-312.

3. *Карякин, Ю.В.* Чистые химические вещества : Руководство по приготовлению неорганических реактивов и препаратов в лабораторных условиях / Ю.В. Карякин, И.И. Ангелов; 4-е изд. – Текст: непосредственный. – М. : Химия, 1974. – 406 с.

4. *Власов, О.Е.* Плоские тепловые волны / О.Е. Власов. – Текст: непосредственный // Известия теплотехнического института. – 1927. – Вып. 3 (26).

5. *Фокин, К.Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – Текст: непосредственный. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 252 с.

6. *Schmidt E.* Lösuru von Differentialgleichungen für nicht stationäre Wärmeleitung mittels Differenzenrechnungen / E. Schmidt. – Danzig, 1928.

7. *Шкловер, А.М.* Теплопередача при периодических тепловых воздей-ствиях / А.М. Шкловер. – Текст: непосредственный. – М. : Госэнергоиздат, 1952. – 80 с.

8. *Желдаков, Д.Ю.* Методы исследования кинетики процесса химической коррозии материалов кирпичной кладки / Д.Ю. Желдаков. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 11 (731). – С. 74–86.

9. *Гагарин, В.Г.* Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, К.П. Зубарев. – Текст: непосредственный // Жилищное строительство. – 2016. – № 6. – С. 8–12.

References

1. Zheldakov D.Yu. Khimicheskaya korroziya kirpichnoi kladki. Protekanie protsessa [Chemical Corrosion of Brick Masonry. Process Running]. In: *Stroitel'nye materialy* [*Construction Materials*], 2019, no. 4, pp. 36–43. (In Russ., abstr. in Engl.)

2. Zheldakov D.Yu., Kozlov V.V., Kuznetsov D.V., Sinitsin D.A. Issledovanie protsessa kristallizatsii vlagi v kirpiche [Moisture Crystallization in Bricks]. In: *Nanotekhnologii v stroitel'stve* [*Nanotechnologies in Construction*], a scientific internet-journal, 2020, Vol. 12, no. 6, pp. 305–312. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44430303_98413522.pdf (Accessed 07/15/2022). DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-6-305-312. (In Russ., abstr. in Engl.)

3. Karyakin Yu.V., Angelov I.I. Chistye khimicheskie veshchestva. Rukovodstvo po prigotovleniyu neorganicheskikh reaktivov i preparatov v laboratornykh usloviyakh [Pure chemicals. Guidelines for the preparation of inorganic reagents and preparations in the laboratory]. Moscow, Khimiya Publ., 1974, 406 p. (In Russ.)

4. Vlasov O.E. Ploskie teplovye volny [Plane heat waves]. In: *Izvestiya teplotekhnicheskogo institute* [*Izvestia of the Thermal Engineering Institute*], 1927, Iss. 3 (26). (In Russ.)

5. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastei zdanii [Construction heat engineering of enclosing parts of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2006, 252 p. (In Russ.)

6. Schmidt E. Lösuru von Differentialgleichungen für nicht stationäre Wärmeleitung mittels Differenzenrechnungen, Danzig. (In Germ.)

7. Shklover A.M. Teploperedacha pri periodicheskikh teplovykh vozdei-stviyakh [Heat transfer under periodic thermal effects]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1952. (In Russ.)

8. Zheldakov D.Yu. Metody issledovaniya kinetiki protsessa khimicheskoi korrozii materialov kirpichnoi kladki [Methods of Investigation of Kinetics of Chemical Corrosion Process of Materials of Masonry]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo* [*News of higher educational institutions. Construction*], 2019, no. 11 (731), pp. 74–86. (In Russ., abstr. In Engl.)

9. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Zubarev K.P. Analiz raspolozheniya zony naibol'shego uvlazhneniya v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh s razlichnoi tolshchinoi teploizolyatsionnogo sloya [Analysis of the Zone Location of Maximum Moistering in the Wall Systemwith Different Thickness of Insulation Layer]. In: *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [*Housing Construction*], 2016, no. 6, pp. 8–12. (In Russ., abstr. In Engl.)