



Моделирование стены жилого здания с цоколем, утеплённой тепло- изоляционным материалом

Рецензия эксперта на статью получена
24.06.2025 [The expert review of the article
was received on June 24, 2025]

Многие жилые дома и общественные здания в Луганске и Луганской области, унаследованные от советской эпохи, строились по унифицированным проектам, отвечавшим тогдашним стандартам. Однако современные требования к энергоэффективности значительно возросли, что ставит вопрос об их модернизации, в частности, об утеплении. Это особенно актуально для районов с типовой застройкой. Чтобы повысить энергосбережение этих зданий, необходимо тщательно изучить процессы теплообмена в их конструкциях, учитывая переменчивость климата. Важно анализировать движение воздуха и водяного пара, выявлять участки, где возможно образование конденсата и наледи.

Правильный выбор утеплителей поможет избежать сырости и плесени, что, в свою очередь, продлит срок службы зданий и создаст комфортные условия для проживания. В конечном итоге это приведёт к снижению расходов на содержание и эксплуатацию.

Таким образом, комплексный подход к модернизации тепловой защиты зданий советской постройки в Луганске и Луганской области должен состоять из нескольких ключевых этапов.

Первым этапом является тщательное и детальное обследование зданий, включающее в себя тепловизионную съёмку, анализ конструктивных особенностей и выявление проблемных зон, подверженных наибольшим теплотериям и риску образования конденсата. Важно учитывать ориентацию здания по сторонам света, преобладающие ветровые нагрузки и другие климатические факторы, характерные для региона.

Вторым этапом является разработка проекта утепления, основанного на результатах обследования. При этом необходимо учитывать не только теплотехнические характеристики материалов, но и их паропроницаемость, долговечность и экологичность. Важно выбирать материалы, которые не будут препятствовать естественному выходу влаги из конструк-

УДК 69.05. Научная специальность: 2.1.3.

Моделирование стены жилого здания с цоколем, утеплённой теплоизоляционным материалом

Оксана Александровна Малыгина, старший преподаватель, Луганский государственный университет имени Владимира Даля (г. Луганск)

Представлены результаты имитационного моделирования тепловлажностного состояния ограждающих конструкций стен с утеплителями «Пеноплекс Комфорт» и «Технофас Проф» в нестационарном режиме работы на примере фрагмента существующей стены реконструированного жилого дома из кирпича в городе Луганске. Рассмотрены варианты устройства утепления ограждающей конструкции. Программное обеспечение позволило провести комплексный анализ тепло- и влагообменных процессов, что дало возможность глубже понять поведение ограждающих конструкций под воздействием изменяющихся климатических условий. Результаты исследования показали, что утепление здания с помощью системы вентилируемого фасада позволяет уменьшить величину влажности в слое утеплителя, но в местах установки металлических анкеров возможны появления зон конденсации. При утеплении наружных ограждающих конструкций с помощью слоя утеплителя с нанесением слоя штукатурки, теплоизоляционный материал «Пеноплекс Комфорт» показывает меньшую влажность. Несмотря на выявленные особенности, исследование подтвердило, что все варианты утепления оказывают положительное влияние на энергоэффективность существующих зданий, что, в свою очередь, способствует созданию более комфортных условий для проживания.

Ключевые слова: теплозащита зданий; тепловлажностный режим; «Пеноплекс Комфорт», «Технофас Про», современные утеплители, COMSOL Multiphysics, вентилируемый фасад, штукатурный слой.

UDC 69.05. Scientific specialty number: 2.1.3.

Modeling of the wall of a residential building with a basement insulated with thermal insulation material

Oksana A. Malygina, senior lecturer, Luhansk State University named after Vladimir Dahl (Lugansk city)

The article presents the results of simulation modeling of the heat and moisture condition of enclosing wall structures with "Penoplex Comfort" and "Technoface Prof" insulation materials in an unsteady operation mode using the example of a fragment of an existing wall of a reconstructed brick residential building in the city of Lugansk. The variants of the insulation device of the enclosing structure are considered. The software allowed for a comprehensive analysis of heat and moisture exchange processes, which made it possible to better understand the behavior of enclosing structures under the influence of changing climatic conditions. The results of the study showed that building insulation using a ventilated facade system reduces the amount of humidity in the insulation layer, but condensation zones may appear in places where metal anchors are installed. When insulating external enclosing structures with a layer of insulation with a layer of plaster, the thermal insulation material "Penoplex Comfort" shows lower humidity. Despite the identified features, the study confirmed that all insulation options have a positive impact on the energy efficiency of existing buildings, which, in turn, contributes to the creation of more comfortable living conditions.

Key words: thermal protection of buildings, heat and humidity regime, "Penoplex Comfort", "Technoface Pro", modern insulation materials, COMSOL Multiphysics, ventilated facade, plaster layer.

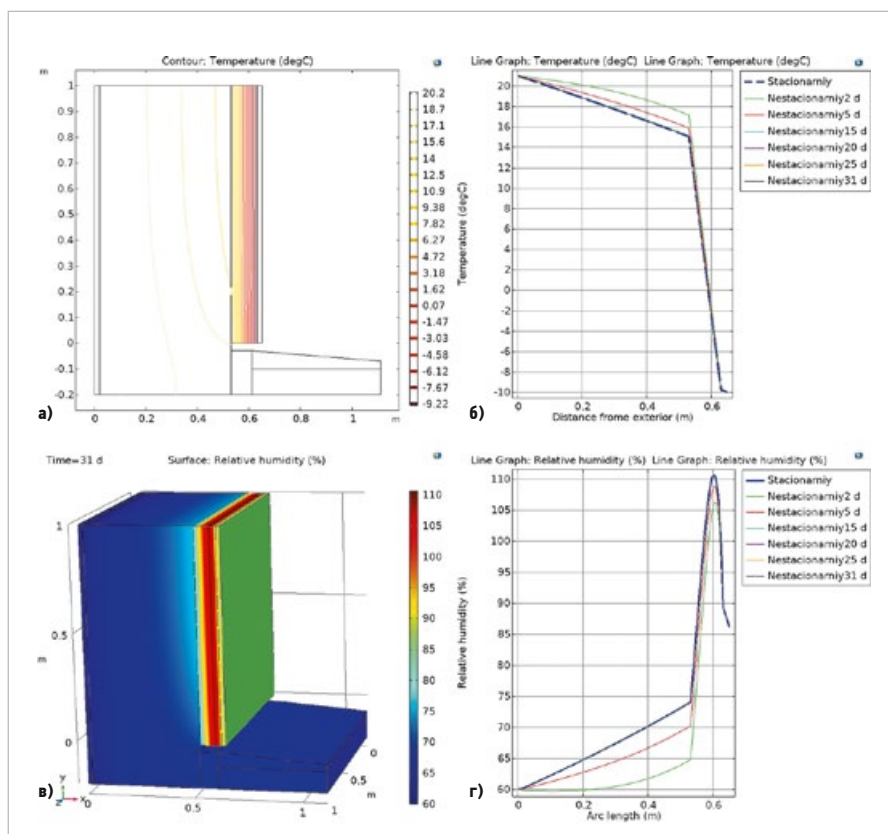


Рис. 1. Характеристики энергозащищённости ограждающей конструкции со штукатурным фасадом с утеплителем «Пеноплекс Комфорт» (а — изополя изменения температуры в слоях; б — графики изменения температуры по толщине стены; в — изополя изменения влажности в слоях стены; г — графики изменения относительной влажности)

ций, предотвращая тем самым накопление конденсата внутри стен. Особое внимание следует уделить утеплению углов, оконных и дверных проёмов, а также мест сопряжения различных конструктивных элементов, где чаще всего возникают «мостики холода».

Третий этап — это непосредственно выполнение работ по утеплению. Важно, чтобы работы выполнялись квалифицированными специалистами с соблюдением всех технологических требований и рекомендаций производителей материалов. Некачественный монтаж может свести на нет все преимущества выбранных материалов и даже привести к ухудшению ситуации, например, к накоплению влаги внутри утеплителя и разрушению конструкций.

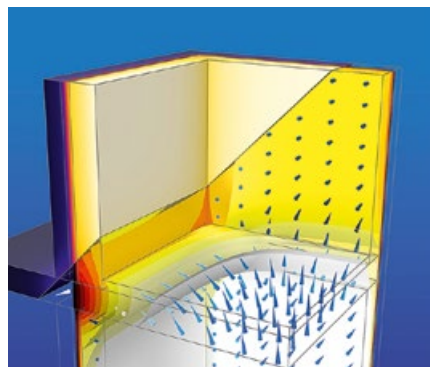
Четвёртый этап — это контроль качества выполненных работ и мониторинг эффективности утепления. После завершения работ необходимо провести повторную тепловизионную съёмку, чтобы убедиться в отсутствии теплопотерь и устранить возможные дефекты. В дальнейшем необходимо регулярно проводить мониторинг состояния конструкций и микроклимата внутри помещений, чтобы своевременно выявлять и устранять возникающие проблемы.

Внедрение современных технологий и материалов в процесс утепления зданий советской постройки в Луганске и Луган-

ской области позволит не только значительно повысить их энергоэффективность и снизить затраты на отопление, но и улучшить условия проживания людей, продлить срок службы зданий и внести вклад в сохранение окружающей среды. Это важная задача, требующая комплексного и ответственного подхода.

Предложенная методика определения тепло- и влагосостояния ограждающих конструкций реализована через программный комплекс MATLAB Simulink в COMSOL Multiphysics [1]. Программное обеспечение COMSOL Multiphysics успешно реализует модель теплового моста с созданием точных моделей узлов, генерацией расчётной сетки и достижением заданной точности результатов [2–6].

С помощью COMSOL Multiphysics создана имитационная модель фрагмента стены жилого кирпичного здания с цоко-



лем, утеплённой с помощью теплоизоляционных материалов в виде штукатурно-го и вентилируемого фасадов.

Результатом проведённого компьютерного моделирования являются характеристики энергозащищённости в зависимости от условий эксплуатации, полученные при одновременном действии тепла и влаги внутри стены при нестационарном режиме работы ограждающей конструкции.

Модель конструкции стены состоит из слоёв ограждающей конструкции и из фрагмента цоколя. Граничными условиями являлась температура внутри и снаружи конструкции. Задача решалась в стационарной и нестационарной постановках.

Рассмотрим результаты расчёта исследуемой конструкции в феврале месяце при $t_{in} = 21^\circ\text{C}$, $\phi_{in} = 54\%$, $t_{out} = -10^\circ\text{C}$, $\phi_{out} = 87\%$.

Предложенная методика определения тепло- и влагосостояния ограждающих конструкций реализована через программный комплекс MATLAB Simulink в COMSOL Multiphysics. Данное ПО успешно реализует модель теплового моста с созданием точных моделей узлов, генерацией расчётной сетки и достижением заданной точности результатов

С помощью COMSOL Multiphysics 6.2 получены представленные на рис. 1–4 функциональные характеристики энергозащищённости ограждающей конструкции здания с цоколем с утеплителями «Пеноплекс Комфорт» и «Технофас Проф» для фасадов с штукатуркой и с вентилируемой прослойкой. Расчёт выполнен при 31 дне эксплуатации.

На рис. 1 рассмотрен вариант утепления ограждающей конструкции со штукатурным слоем и с утеплителем «Пеноплекс Комфорт». Так, на рис. 1а и 1б показано распределение температуры на поверхностях слоёв ограждающей конструкции. Как видно из значений изополей и графика изменения температуры по толщине стены, температура в сечении кирпичной кладки изменяется от $+21$ до $+14,8^\circ\text{C}$, а в слое утеплителя скорость уменьшения температуры возрастает и опускается до значения -10°C . На рис. 1в и 1г приведено распределение относительной влажности по толщине стены. Как видно из рис. 1, в слое утеплителя происходит резкий скачок значений влажности до максимального числа.

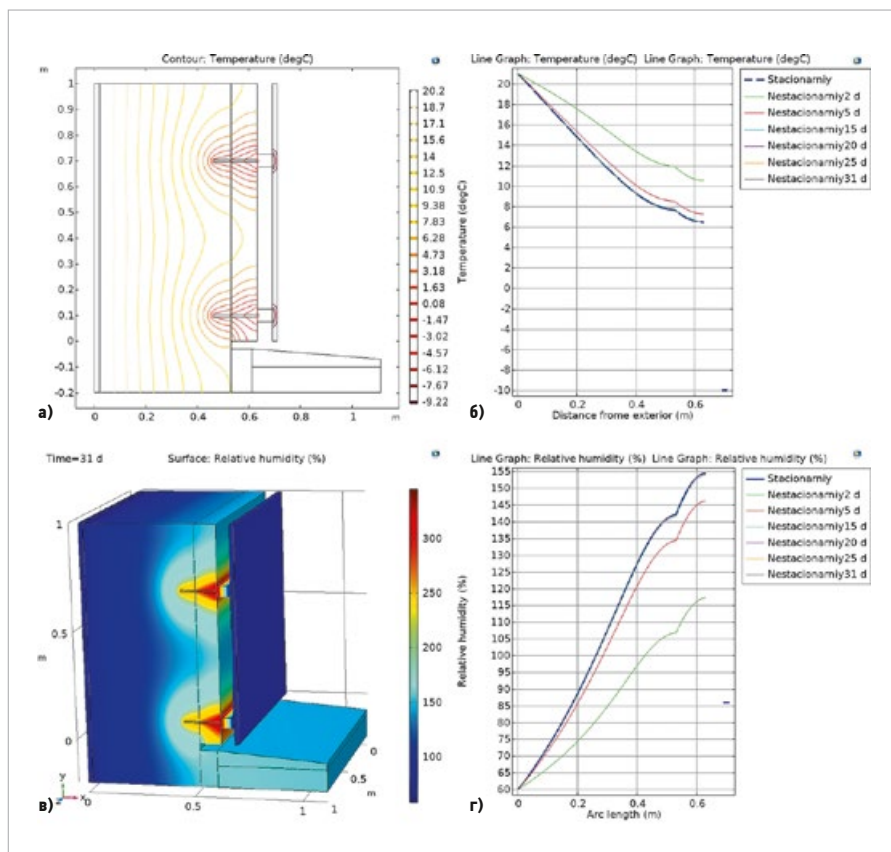


Рис. 2. Распределение температуры по толщине стены до утепления стены и после (а — изополя изменения температуры в слоях; б — графики изменения температуры по толщине стены; в — изополя изменения влажности в слоях стены; г — графики изменения относительной влажности)

На рис. 2 рассмотрен вариант утепления ограждающей конструкции с системой вентилируемый фасад и с утеплителем «Пеноплекс Комфорт». Так, на рис. 2а и 2б показано распределение температуры на поверхностях слоёв ограждающей конструкции. Как видно из значений изополей и графика изменения температуры по толщине стены, температура в сечении кирпичной кладки изменяется от +21 до +6,2°C, а в слое утеплителя скорость уменьшения температуры возрастает и опускается до значения -10°C. В местах установки анкеров значения температуры достигает -9,22°C.

На рис. 2в и 2г приведено распределение относительной влажности по толщине стены. Как видно из рис. 2, влажность увеличивается постепенно, а в местах металлических элементов наблюдается большое значение влажности, достигающее 350%.

На рис. 3 рассмотрен вариант утепления ограждающей конструкции со штукатурным слоем и с утеплителем «Технофас Проф». Так, на рис. 3а и 3б показано распределение температуры на поверхностях слоёв ограждающей конструкции. Как видно из значений изополей и графика изменения температуры по толщине стены, температура в сечении кирпичной кладки изменяется от +21 до +10,2°C, а в слое утеплителя скорость уменьшения температуры возрастает и опускается до значения -10°C.

В местах установки анкеров значения температуры достигает -9,22°C.

На рис. 4 рассмотрен вариант утепления ограждающей конструкции с системой вентилируемый фасад и с утеплителем «Технофас Проф». Так, на рис. 4а и 4б показано распределение температуры на поверхностях слоёв ограждающей конструкции. Как видно из значений изополей и графика изменения температуры по толщине стены, температура в сечении кирпичной кладки изменяется от +21 до +6,4°C, а в слое утеплителя скорость уменьшения температуры возрастает и опускается до значения -10°C. В местах установки анкеров значения температуры достигает -9,22°C.

На рис. 4в и 4г приведено распределение относительной влажности по толщине стены. Как видно из рис. 4, влажность увеличивается постепенно, а в местах металлических элементов наблюдается большое значение влажности, достигающее 268%.

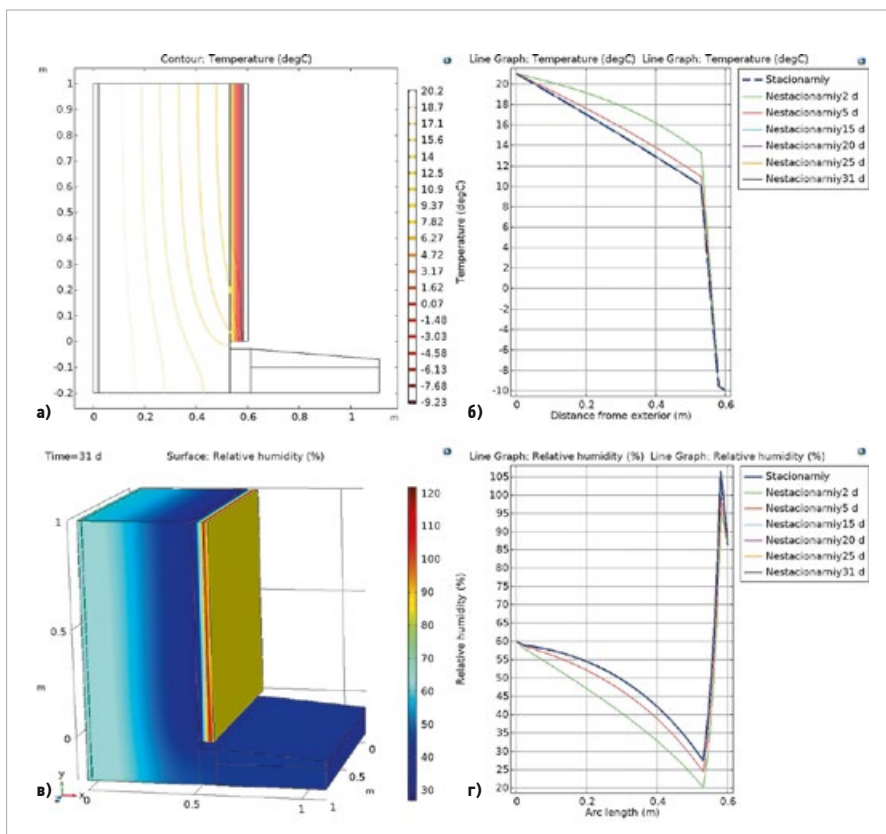


Рис. 3. Характеристики энергозатратности ограждающей конструкции со штукатурным фасадом с утеплителем «Технофас Проф» (а — изополя изменения температуры в слоях; б — графики изменения температуры по толщине стены; в — изополя изменения влажности в слоях стены; г — графики изменения относительной влажности)

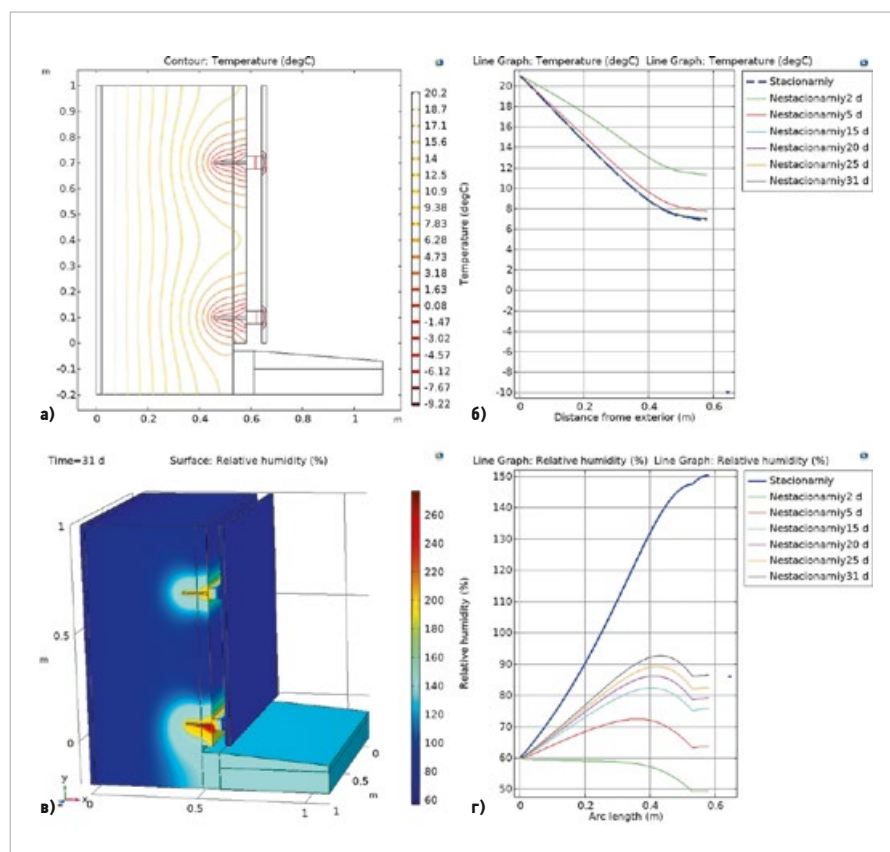


Рис. 4. Характеристики энергозащищённости ограждающей конструкции с вентилируемым фасадом с утеплителем «Технофас Проф» (а — изополя изменения температуры в слоях; б — графики изменения температуры по толщине стены; в — изополя изменения влажности в слоях стены; г — графики изменения относительной влажности)

В условиях растущей стоимости энергоресурсов и обострения экологических проблем, повышение энергоэффективности зданий становится приоритетной задачей. Современные технологии, в частности компьютерное моделирование, позволяют оптимизировать эксплуатационные характеристики зданий и значительно сократить потребление энергии.

В рамках исследования был детально изучен фрагмент существующей ограждающей конструкции с цоколем с целью оценки её тепло- и влагозащитных

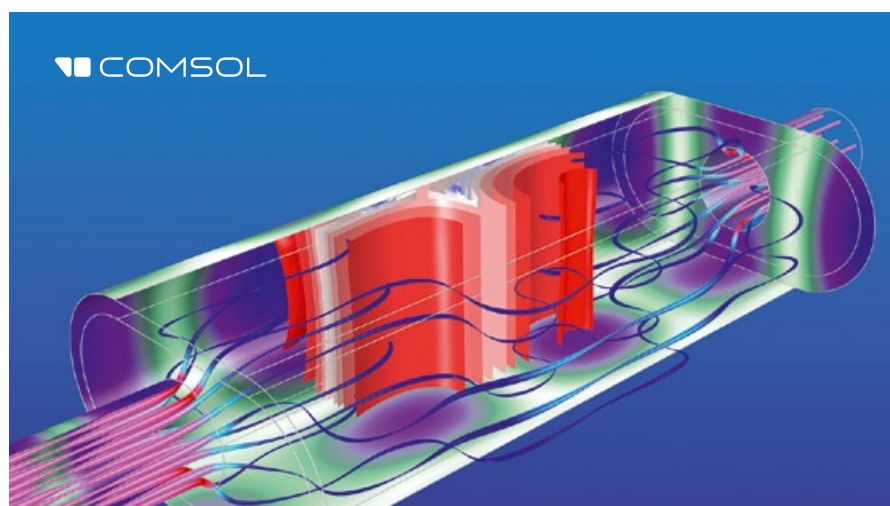
свойств. Выявлено, что под воздействием климатических факторов в конструкции образуется зона конденсации.

Для решения этой проблемы были рассмотрены различные варианты утепления с использованием теплоизоляционных материалов («Пеноплекс Комфорт» и «Технофас Проф») в сочетании с внешним защитным слоем и устройством вентилируемого фасада. Проведённый анализ позволил определить характеристики энергозащищённости для каждого из предложенных вариантов.

Результаты показали, что при использовании внешнего штукатурного слоя наблюдается повышение влажности в утеплителе. В случае же с вентилируемым фасадом влажность равномерно увеличивается по всей толщине конструкции. Кроме того, в местах расположения металлических элементов были зафиксированы зоны резкого возрастания температуры и влажности. Применение теплоизоляционного материала «Пеноплекс Комфорт» в ограждающих конструкциях со штукатурным слоем показывает меньшее значение влажности в слое утеплителя, чем использование утеплителя «Технофас Проф». Применение теплоизоляционного материала «Технофас Проф» при устройстве вентилируемого фасада показывает меньшее значение влажности в местах установки анкеров.

При использовании внешнего штукатурного слоя наблюдается повышение влажности в утеплителе. При вентилируемом фасаде влажность равномерно увеличивается по всей толщине конструкции. В местах расположения металлических элементов зафиксированы зоны возрастания температуры и влажности

Несмотря на выявленные особенности, исследование подтвердило, что все варианты утепления оказывают положительное влияние на энергоэффективность существующих зданий, что, в свою очередь, способствует созданию более комфортных условий для проживания.



1. Малыгина О.А. Разработка математических моделей определения тепловлажного режима ограждающих конструкций зданий при нестационарном тепловом потоке // Современные проблемы гражданской защиты, 2024. №3. С. 93–104.
2. Парфёнов Г.И., Смирнов Н.Н., Яблоков А.А., Пыжов В.К. Имитационное моделирование прикладных задач тепло- и воздухообмена в программе COMSOL Multiphysics. — Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2023. 132 с.
3. Лелеков А.Т., Сахнов М.Ю., Галочкин С.А., Величко Е.В. Моделирование тепловых объектов с распределёнными параметрами с использованием программных комплексов COMSOL Multiphysics — MATLAB — Simulink // Вестник СибГАУ, 2010. №4. С. 40–44.
4. Малыгина О.А. Моделирование тепловлажного состояния для углов зданий в нестационарном режиме в городе Луганске // Журнал СОК, 2024. №10. С. 42–46.
5. Малыгина О.А. Имитационное моделирование тепловлажного состояния ограждающих конструкций зданий с вентилируемым фасадом в COMSOL Multiphysics // Журнал СОК, 2024. №9. С. 60–63.
6. Малыгина О.А. Создание модели тепловлажного режима эксплуатации для зданий массовой застройки с утеплителем «Технофас Проф» // Журнал СОК, 2025. №4. С. 52–56.

References — see page 79.

Modeling of the wall of a residential building with a basement insulated with thermal insulation material. Pp. 64–67.

Oksana A. Malygina, senior lecturer, Luhansk State University named after Vladimir Dahl (Lugansk city)

1. O.A. Malygina. *Razrabotka matematicheskikh modelej opredeleniya teplovlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruksij zdaniy pri nestatsionarnom teplovom potoke* [Development of mathematical models for determining the heat and humidity conditions of building envelopes under non-stationary heat flow]. *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity* [“Modern problems of civil protection” Magazine]. 2024. No. 3. Pp. 93–104. [In Russian]
2. G.I. Parfenov, N.N. Smirnov, A.A. Yablokov, V.K. Pyzhov. *Imitatsionnoe modelirovanie prikladnykh zadach teplo- i vozdukhoozbmena v programme COMSOL Multiphysics* [Simulation modeling of applied problems of heat and air exchange in the COMSOL Multiphysics program]. Ivanovo. *Izd-vo IGEU* [Publishing House of the Lenin Ivanovo State Power Engineering University]. 2023. 132 p. [In Russian]
3. A.T. Lelekov, M.Yu. Sakhnov, S.A. Galochkin, E.V. Velichko. *Modelirovanie teplovykh ob'ektov s raspredelennymi parametrami s ispol'zovaniem programmnykh kompleksov COMSOL Multiphysics — MATLAB — Simulink* [Modeling of thermal objects with distributed parameters using the COMSOL Multiphysics — MATLAB — Simulink software packages]. *Vestnik SibGAU* [Bulletin of the Reshetnev Siberian State Aerospace University]. 2010. No. 4. Pp. 40–44. [In Russian]
4. O.A. Malygina. *Modelirovanie teplovlazhnostnogo sostoyaniya dlya uglov zdaniy v nestatsionarnom rezhime v gorode Luganske* [Modeling of the heat and humidity state for building corners in a non-stationary mode in the city of Lugansk]. *Zhurnal Santechnik, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2024. No. 10. Pp. 42–46. [In Russian]
5. O.A. Malygina. *Imitatsionnoe modelirovanie teplovlazhnostnogo sostoyaniya ograzhdayushchikh konstruksij zdaniy s ventiliruemym fasadom v COMSOL Multiphysics* [Simulation modeling of the heat and humidity state of enclosing structures of buildings with a ventilated facade in COMSOL Multiphysics]. *Zhurnal Santechnik, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2024. No. 9. Pp. 60–63. [In Russian]
6. O.A. Malygina. *Sozdanie modeli teplovalzhnostnogo rezhima ekspluatatsii dlya zdaniy massovoy zastroyki s uteplitelem “Technofas Prof”* [Creation of a model of the thermal-pressure operating mode for mass-construction buildings with “Technofas Prof” insulation]. *Zhurnal Santechnik, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2025. No. 4. Pp. 52–56. [In Russian]