

С.П. Кундас,
д.т.н., проф.

Б.М. Хрусталеv,
академик, д.т.н., проф.

Ю.Л. Супринович,
директор МБОО «ЭкоСтроитель»

Е.В. Кресоvа,
Международный государственный
экологический институт
имени А.Д. Сахарова БГУ

Белорусский национальный технический университет

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЖИЛОГО ДОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация

Разработана тепловая 3D-модель энергоэффективного дома, построенного по технологии ЧПУП «ЭкоСтроитель» с применением в ограждающих конструкциях экологически чистых материалов. Результаты моделирования, полученные с помощью суперкомпьютера «СКИФ», подтвердили эффективность принятых конструктивных и технологических решений.

Abstract

Thermal 3D-model of energy efficient building which was built on «EcoBuilder»'s technology with eco-friendly materials as building envelopes is developed. Simulation results obtained by «SKIF» supercomputer proved efficiency of realized project.

В настоящее время все более широкое распространение, в особенности в индивидуальном домостроении, находят дома, строящиеся с применением экологически чистых местных материалов [1]. «Экологичность» дома можно рассматривать в нескольких аспектах: как применение природных, экологически чистых и безвредных для окружающей среды материалов, применение биотехнологий при утилизации продуктов жизнедеятельности, использование природных источников энергии [2].

Распространение получает также «этническое экологичное строительство» [2] – возрождение старых технологий, которые применялись в сельской застройке в той или иной местности. В рамках этого направления возрождается такая технология, как соломенное строительство. На сегодняшний день можно выделить два направления соломенного строительства – дома из прессованных соломенных блоков и каркасные дома (по типу фахверка) с соломенно-глиняным заполнением или заполнением блоками [3].

В Республике Беларусь направление экологически чистого индивидуального строительства начало развиваться Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоДом» [4]. По технологии этой организации были построены индивидуальные дома в д. Стаховцы Мядельского района Минской области и в д. Старый Лепель Лепельского района Витебской области. В настоящее время на рынке Беларуси активно продвигает это направление МБОО «ЭкоСтроитель» [3, 5].



Рис. 1. Общий вид дома до и после модернизации

Применение новых теплоизоляционных материалов требует проведения исследований их эффективности, в особенности, если указанные материалы используются в многослойных конструкциях. Перспективным направлением решения указанной задачи является компьютерное моделирование [1]. Современные коммерческие программные комплексы соответствующего назначения чаще всего невозможно применить для указанных целей без их адаптации и доработки. Поэтому целью настоящей работы было создание моделей, описывающих тепловые характеристики исследуемого дома, с возможностью их практического использования в среде программного комплекса COMSOL Multiphysics и проведение с их помощью исследований эффективности применения местных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях.

Характеристика объекта моделирования

В качестве объекта исследований был выбран дом, расположенный в г. Минске по адресу пер. Бумажкова, 4 (рис. 1 и 2), который был реконструирован фирмой «ЭкоСтроитель». Как видно из рис. 1–3, старая деревянная конструкция стен была заменена на каркасную с применением в качестве теплоизоляционных материалов тростника, «Эковаты» и утеплителя из льняных волокон.

Конструкция стен состоит из следующих элементов: 1 – штукатурка – толщина 20 мм; 2 – утеплитель тростниковый – 50 мм; 3 – каркасная система стены – 200 мм, стеновое утепление – 200 мм «Эковата»; 4 – OSB-плита – 15 мм; 5 – утеплитель из льняных волокон – 50 мм; 6 – ГКЛ (гипсокартон) – 12,5 мм. Теплофизические характеристики применяемых теплоизоляцион-

Рис. 2. Планировка дома после модернизации

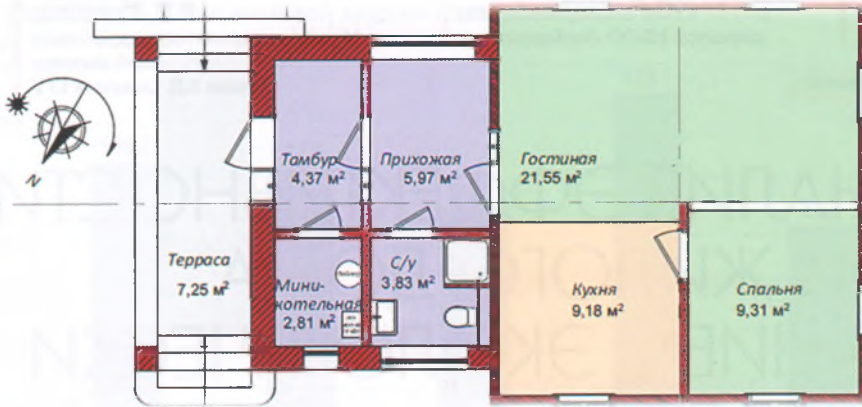


Таблица 1. Характеристики теплоизоляционных и конструкционных материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м °С	Теплоемкость c , Дж/кг °С	Плотность ρ , кг/м³
Штукатурка	0,58	840	1800
Тростник	0,067	2300	120
«Эковата»	0,038	2100	40
OSB-плита	0,35	2300	600
Утеплитель из льняных волокон	0,04	1600	30
ГКЛ	0,15	840	800

ных и конструкционных материалов приведены в табл. 1. Рассчитанное сопротивление теплопередаче стены составило $R_t=7,58 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, что значительно превышает нормативное значение – $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ [6]. Для сравнения: сопротивление теплопередаче бревенчатых стен дома до реконструкции составляло: $R_t=1,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Использование в качестве теплоизоляционного материала тростниковых плит обеспечивает ряд преимуществ:

- При изготовлении тростниковых плит не используются вредные для здоровья химические вещества.

- Изготовление плит не требует больших затрат энергии. Энергия тратится в основном на их транспортировку.

- Шероховатая поверхность плит обеспечивает хорошую основу под глиняную штукатурку.

- Плиты являются эффективным теплоизоляционным материалом: зимой они удерживают тепло, а летом охлаждают воздух. Утеплитель задерживает поступление тепла из атмосферного воздуха в стену, понижая тем самым ее температуру [7].

«Эковата» в свою очередь характеризуется высокими теплоизоляционными свойствами, экологической чистотой, относительно низкой стоимостью, биологической устойчивостью

(не гниет, не плесневеет, в ней не заводятся грызуны и насекомые), простотой использования, возможностью получения бесшовного слоя. Теплоизоляция из «Эковаты» хорошо пропускает воздух, стены «дышат» [1].

Конструкция фундамента и кровли:

- Фундамент (толщина слоев):
- штукатурка – 20 мм;
 - пенополистирол – 50 мм;
 - гидроизоляционный слой;
 - фундамент 250–300 мм.
- Кровля:
- фальцевая кровля – 28 мм;
 - подкладочный ковер;
 - обрешетка сплошная из доски – 25 мм;
 - контробрешетка – 500 мм (воздушная прослойка);
 - гидро-, ветрозащита;
 - стропильная система 250 мм, кровельный утеплитель 250 мм «Эковата»;
 - внутренняя обрешетка 50 мм, кровельный утеплитель 50 мм «Эковата»;
 - OSB-плита – 15 мм;
 - ГКЛ – 12,5 мм.

Результаты численного анализа динамики охлаждения дома

Для проведения исследований на основе модели теплопереноса были разработаны конструктивная, конечно-элементная и рас-

четно-аналитические модели, которые практически реализованы в программных комплексах SolidWorks и COMSOL Multiphysics [8, 9].

Для упрощения модели было определено, какой процент занимают деревянные стойки каркаса от всего объема ограждающей конструкции. Вычисления показали, что эта величина составляет примерно 4%, что свидетельствует о незначительном их влиянии на тепловое сопротивление ограждающих конструкций и позволяет не учитывать их при моделировании [10].

Предварительные численные исследования разработанных моделей показали, что для проведения расчетов всего дома требуется применение специальной высокопроизводительной вычислительной техники. Поэтому в рамках настоящей работы расчет изменения температуры был выполнен на суперкомпьютере «СКИФ» ОИПИ НАНБ.

Начальная температура воздуха в помещении задавалась равной 22°C , стен и окон – 18°C . Температура на внешней стороне ограждающей конструкции принималась равной изменению температуры атмосферного воздуха в течение всего периода моделирования (неделя). В модели были учтены теплообмен с окружающей средой и конвекция воздуха в помещении. Как видно из рисунка 4, в течение недели температура внутри дома снижается с 22°C до 12°C . При этом относительно интенсивное охлаждение дома имеет место в первые трое суток и преимущественно в ночное время при более низкой температуре окружающей среды (большее значение разности температур).

Как видно из результатов 3D-моделирования распределения температуры (рис. 4), в доме после двух суток более интенсивное снижение температуры наблюдается вблизи окон и нижней части дома, что закономерно и связано с меньшим тепловым сопротивлением этих конструкций и естественной

Рис. 4. Результаты моделирования динамики естественного охлаждения дома

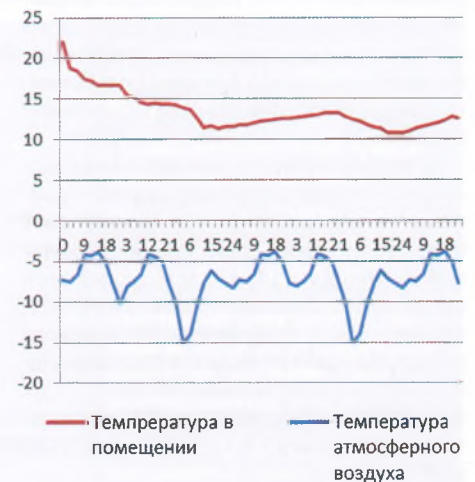
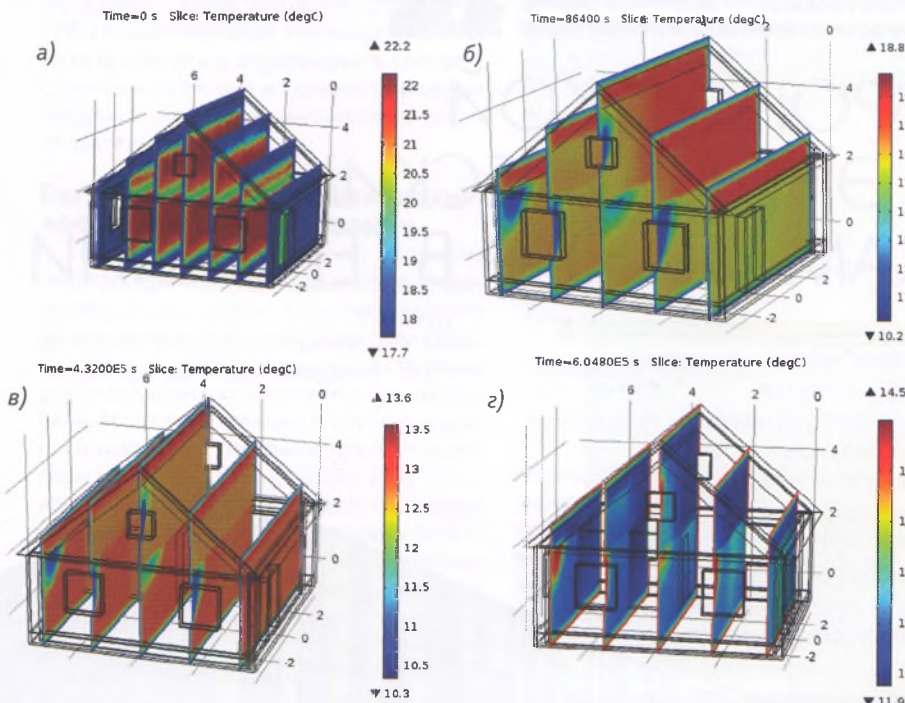


Рис. 5. Результаты 3D-моделирования распределения температуры а) в начальный момент; б) через 2 суток; в) через 5 суток; г) через 7 суток
Примечание: температурные шкалы на каждом рисунке отличаются.



тепловой конвекцией (теплый воздух локализуется в верхней части дома). После трех суток градиент температуры внутри дома уменьшается. Полученные значения распределения температуры во всем объеме помещения для различных моментов времени приведены выше (рис. 5).

Для подтверждения эффективности теплоизоляционных свойств использованных материалов и конструктивных решений проведен сравнительный численный анализ динамики охлаждения аналогичных по размерам и конструкции домов, построенных фирмой «ЭкоСтроитель», в которых в качестве теплоизоляционных материалов применен только тростник (400 мм), тростник и глина+солома (100 мм + 300 мм), а также традиционный кирпич (400 мм). Как видно из рис. 6, даже при меньшей толщине теплоизоляционного слоя наибольшую степень теплоизоляции обеспечивает конструкция дома с утеплителем на основе «Эковаты». Как и следовало ожидать, наибольшие теплотери имеет традиционный кирпичный дом.

Для оценки погрешности результатов моделирования на рис. 6 приведены также результаты экспериментальных измерений динамики охлаждения дома с теплоизоляцией с помощью тростниковых плит и с заполнением стен смесью глина+солома (100 мм + 300 мм). Измерения осуществлялись с помощью электронного термометра testo 405-V1. Видно, что погрешность моделирования не превышает 15% и имеет большую величину на начальной стадии охлаждения.

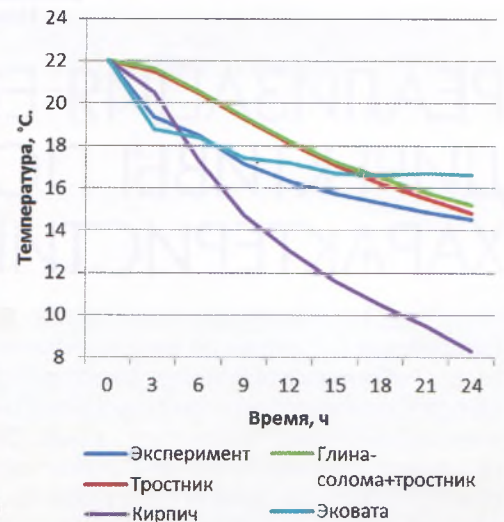
Заключение

С помощью разработанной тепловой 3D-модели выполнен анализ эффективности применения в качестве теплоизоляционного материала «Эковаты» для теплоизоляции индивидуальных жилых домов. Исследования динамики изменения температуры воздуха в реконструированном доме при его естественном охлаждении показали, что в течение недели температура внутри дома снижается с 22 до 12°C. При этом более интенсивное охлаждение имеет место в первые трое суток и преимущественно в ночное время при более низкой температуре окружающей среды. Проведенный сравнительный численный анализ динамики охлаждения различных вариантов теплоизоляции дома на основе «Эковаты», тростника (400 мм), тростника и глины+соломы (100 мм + 300 мм), а также традиционного кирпича (400 мм) показал теплоизоляционную эффективность применения конструкции на основе «Эковаты», которая характеризуется и лучшими экологическими свойствами.

Литература

1. Ялунина О.В., Бессонов И.В. Экологические аспекты применения стеновых материалов // Актуальные проблемы строительной теплофизики. Сб. докладов научно-практической конференции. – М: НИИСФ, 2003. – с. 181–187.
2. Титаренко Л.Г. Экологические ценности населения Республики Беларусь: теоретический и эмпирический уровни. – Социологический альманах. – 2013. – №4. – с. 352–359.

Рис. 6. Результаты сравнительных численных исследований динамики охлаждения в течение суток домов с различными вариантами утепления



3. Савич Т. Дом из тростника: пример ретротехнологии // Республиканская строительная газета – 08.08.2016. – №29 (674) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arcp.by/ru/article/dom-iz-trostnika-primer-retrotehnologii> – Дата доступа: 25.08.2016.

4. Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоДом» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: oekodomstroj.by. – Дата доступа: 15.07.2016.

5. Галинко И. Экостроительство в Лепельском районе: планируется построить здание дневного пребывания инвалидов // Архитектурно-строительный портал ais.by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ais.by/blog/ekostroitelstvo-v-lepelskom-rayone-planiruetsya-postroit-zdanie-dnevnogo-prebyvaniya-invalidov> – Дата доступа: 18.07.2016.

6. ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования». – Мн.: Стройтехнорм, 2006. – 56 с.

7. Учебно-практические семинары «Энергоэффективное строительство: тростниковые крыши и тепловой реабилитация каркасных домов» // Материалы. – д. Стаховцы, Мядельский район, Минская область, 2010.

8. Кундас С.П., Кресова Е.В. Моделирование и анализ тепловых режимов энергоэффективного дома / Энергоэффективность. – 2014. – №12. – с. 20–22.

9. Кресова Е.В., Кундас С.П. Тепловая модель индивидуального жилого дома / Информатика. – 2015 – №1. – с. 56–63.

10. Kundas S., Kresova E., Suprinovich Y. Modeling of Temperature Regimes of Energy Efficiency House // Open Access Library Journal. – 2015. – №2. – P.1–9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.oalib.com/artides/3151130#_V11Ej4sSNY – Дата доступа: 18.07.2016. ■

Статья поступила в редакцию 18.10.2016