

Бондаренко Петр Владимирович, Васильева Лидия Анатольевна, Ясинская Алена Олеговна  
**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ДВУХСЛОЙНЫХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

В статье рассматривается компьютерное моделирование явления теплопроводности двухслойных систем в среде 'Lazagus' на языке программирования 'Object Pascal'. Приводится анализ коэффициента теплопроводности для системы "силикатный кирпич - стекловата". Определены оптимальные размеры утеплителя и несущей строительной конструкции.

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2014/7/10.html](http://www.gramota.net/materials/1/2014/7/10.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2014. № 7 (85). С. 41-43. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2014/7/](http://www.gramota.net/materials/1/2014/7/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

УДК 536.2

**Физико-математические науки**

*В статье рассматривается компьютерное моделирование явления теплопроводности двухслойных систем в среде 'Lazarus' на языке программирования 'Object Pascal'. Приводится анализ коэффициента теплопроводности для системы «силикатный кирпич – стекловата». Определены оптимальные размеры утеплителя и несущей строительной конструкции.*

*Ключевые слова и фразы:* теплопроводность; теплосбережение; двухслойные системы; теплоизоляционные материалы; компьютерное моделирование.

**Бондаренко Петр Владимирович**, к. ф.-м. н.  
Волгоградский государственный университет  
bondarenko@pisem.net

**Васильева Лидия Анатольевна**, к. ф.-м. н., доцент  
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет  
bondarenko@pisem.net

**Ясинская Алена Олеговна**  
г. Волгоград  
bondarenko@pisem.net

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ДВУХСЛОЙНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ<sup>©</sup>**

В настоящее время огромное внимание при строительстве жилых и офисных зданий уделяется проблеме энергосбережения. Применение современных теплоизоляционных материалов позволяет повысить уровень комфортности, тепло- и звукоизоляции здания, а также достичь снижения энергозатрат и, следовательно, сокращения эксплуатационных расходов.

Применение при строительстве малоэффективной, недостаточной теплоизоляции или неправильное ее размещение приводят к ухудшению микроклимата помещений. Поэтому при строительстве зданий необходимо использовать такие теплоизоляционные решения, которые могли бы снизить нагрузку на оборудование отопления и кондиционирования.

Установлено [2], что большая часть всех теплопотерь происходит через наружные ограждающие конструкции, потому что они имеют непосредственный контакт с окружающей средой. Также примерно до 25% теплопотерь приходится на перекрытия и внутренние стены, т.к. в местах контакта плит перекрытий с несущими стенами образуются участки, где происходит интенсивный теплообмен с окружающей средой.

В настоящее время в строительстве используют широкий спектр теплоизоляционных материалов, которые различаются по физико-химическим свойствам и технико-эксплуатационным характеристикам. Также теплоизоляционные материалы подразделяются по виду основного сырья на волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые и др.) и ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты).

В волокнистых материалах используется твердая основа минерального происхождения, получаемая в результате плавления песка, соды, известняка, базальтовых пород или вторично используемого стекла. А в ячеистых (вспененных) материалах могут использоваться органические полимеры и минеральные компоненты. В этой группе широкое применение в строительстве получили теплоизоляционные материалы на основе пенополистирола (вспененного или экструдированного), пенополиуретана и вспененных каучуков, пено-, газо- и ячеистых бетонов.

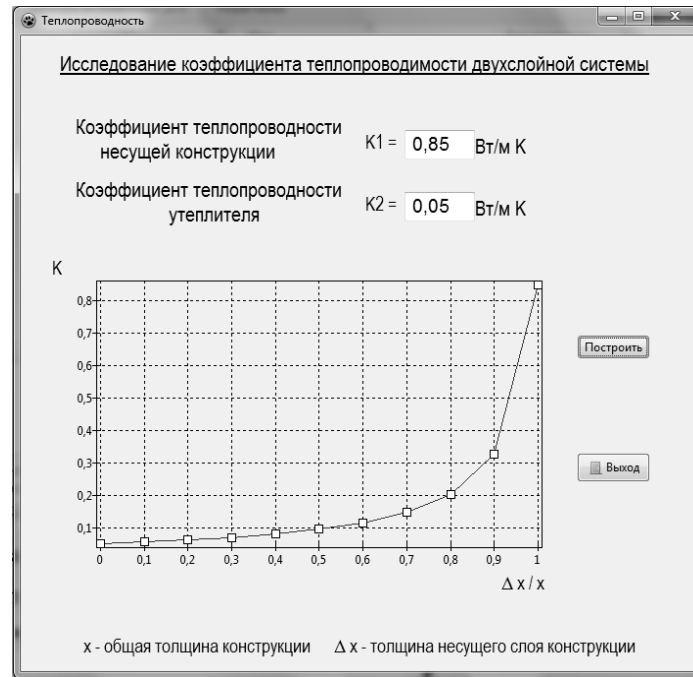
При строительстве и утеплении зданий необходимо учитывать не только его теплоизоляционные характеристики, но и способность материала сохранять теплоизоляционные свойства на протяжении долгого времени.

Целью данной работы является исследование тепловых потерь в двухслойных системах, например, в тех, которые в настоящее время активно используются при строительстве и эксплуатации жилых и общественных зданий.

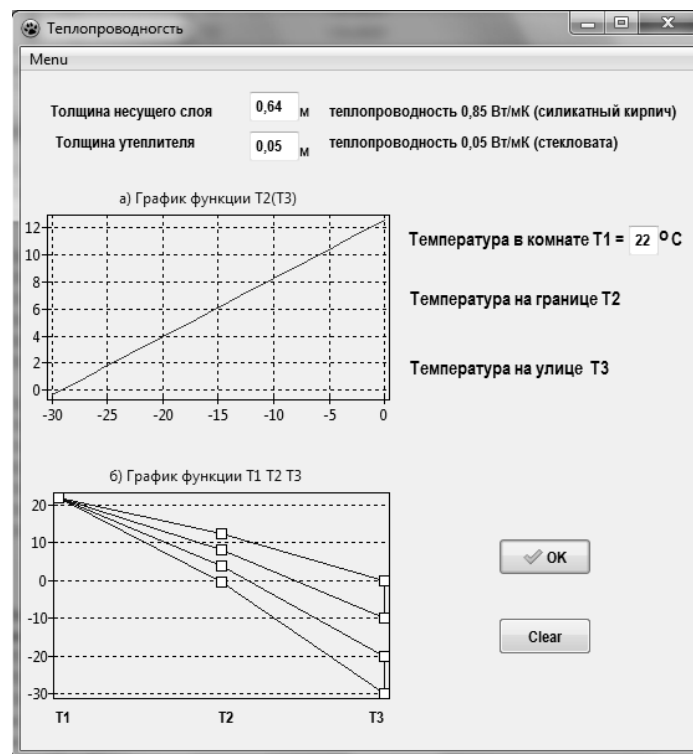
Для расчета коэффициента теплопроводности двухслойной системы можно воспользоваться полученным в [1] выражением:

$$\chi = \frac{1}{\frac{1}{\chi_1} \frac{\Delta x}{x} + \chi_2 \left(1 - \frac{\Delta x}{x}\right)}, \quad (1)$$

где  $\chi$  – коэффициент теплопроводности двухслойной системы;  $\chi_1$  – коэффициент теплопроводности первого слоя;  $\chi_2$  – коэффициент теплопроводности второго слоя;  $x$  – общая толщина конструкции;  $\Delta x$  – толщина несущего слоя конструкции.



**Рис. 1.** Интерфейс первой программы для двухслойной системы: силикатный кирпич ( $\chi_1=0,85$  Вт/м К) – стекловата ( $\chi_2=0,05$  Вт/м К)



**Рис. 2.** Интерфейс второй программы для двухслойной системы: силикатный кирпич ( $\chi_1=0,85$  Вт/м К) – стекловата ( $\chi_2=0,05$  Вт/м К). Для наглядности графиков масштаб по толщине стены не соблюдается

В случае если теплоизолирующий материал расположен между слоями, температура которых находится в области отрицательных и положительных величин, то точка промерзания может располагаться в несущей конструкции здания. Так как удельный объем льда больше, чем воды, это может привести к разрушению конструкции.

Для того чтобы определить оптимальные размеры утеплителя и защитить здание от разрушения, воспользуемся уравнением Фурье и найдем температуру пограничного слоя в двухслойной структуре.

Уравнение Фурье для первого слоя (несущего):

$$Q_1 = -\frac{\chi_1}{d_1} (T_2 - T_1); \quad (2)$$

для второго слоя (утеплитель) оно имеет следующий вид:

$$Q_2 = -\frac{\chi_2}{d_2}(T_3 - T_2), \quad (3)$$

где  $T_1$  – комнатная температура;  $T_2$  – температура на границе стены и утеплителя;  $T_3$  – наружная температура;  $d_1$  и  $d_2$  – толщина несущего слоя и утеплителя.

Приравниваем уравнения (2) и (3) для стационарного случая, получаем следующее выражение для определения температуры пограничного слоя:

$$T_2 = \frac{T_1 \left( \frac{\chi_1}{d_1} \right) + T_3 \left( \frac{\chi_2}{d_2} \right)}{\frac{\chi_1}{d_1} + \frac{\chi_2}{d_2}}. \quad (4)$$

Таким образом, формулы (1) и (4) позволяют определить оптимальные размеры утеплителя и несущего слоя строительной конструкции.

Исследование теплопроводности двухслойных систем проводилось методом компьютерного моделирования в среде *Lazarus* на языке программирования *Object Pascal*.

Интерфейс первой программы позволяет пользователю вводить известные значения коэффициентов теплопроводности компонентов системы, например, материалов, используемых при строительстве домов. Зная толщины несущего слоя и слоя утеплителя, программа позволяет определить коэффициент теплопроводности стены.

Расчет коэффициента теплопроводности двухслойной системы проводился в зависимости от отношения толщины одного из слоев к общей толщине системы, с построением соответствующего графика.

Интерфейс второй программы позволяет пользователю вводить известные размеры несущего слоя строительной конструкции (силикатный кирпич) и утеплителя (стекловата), которые активно используются при строительстве домов. Зная толщины несущего слоя и слоя утеплителя, программа позволяет определить оптимальный размер утеплителя для предотвращения промерзания и разрушения несущей конструкции здания.

Рис. 1 иллюстрирует рабочее окно программы, где построен график зависимости коэффициента теплопроводности системы «силикатный кирпич – стекловата» от относительной толщины. Пользуясь графиком, легко определить, что для уменьшения теплопотерь, например, втрое, толщина слоя утеплителя должна составлять примерно 20% от общей толщины стены для данных материалов.

Рис. 2 иллюстрирует зависимость температуры пограничного слоя от температуры несущего слоя (а) и распределение температур на утеплителе, пограничном слое и несущем слое (б).

Из Рис. 2 видно, что в области наружных температур от 0 до  $-30^\circ\text{C}$  температура пограничного слоя выше нуля. Следовательно, заданные в данном примере толщина утеплителя 50 мм и толщина несущего слоя 640 мм являются приемлемыми для данной двухслойной строительной конструкции с точки зрения отсутствия промерзания несущего слоя. Для дышащих конструкций необходимо следить, чтобы точка росы не попадала в несущий слой.

Таким образом, программа позволяет определить оптимальное соотношение толщины несущего слоя и утеплителя при построении и утеплении зданий, исходя из соображений энергосбережения.

#### Список литературы

1. Бондаренко П. В., Васильева Л. А., Ясинская А. О. Исследование теплопроводности двухслойных систем // Сборник научных трудов SWORLD. Одесса, 2013. Т. 43. № 1. С. 42-44.
2. Орлов В. А. Энергосбережение в строительстве и низкоэмиссионное стекло // Материалы четвертой российской научно-технической конференции «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности». Ульяновск: УлГТУ, 2003. С. 225-230.

#### COMPUTER MODELING OF HEAT LOSSES IN TWO-LAYER BUILDING CONSTRUCTIONS

**Bondarenko Petr Vladimirovich**, Ph. D. in Physical-Mathematical Sciences  
Volgograd State University  
bondarenko@pisem.net

**Vasil'eva Lidiya Anatol'evna**, Ph. D. in Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor  
Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering  
bondarenko@pisem.net

**Yasinskaya Alena Olegovna**  
Volgograd  
bondarenko@pisem.net

The article discusses the computer modeling of the phenomenon of two-layer systems thermal conductivity in the environment “Lazarus” using the programming language “ObjectPascal”. The analysis of thermal conductivity coefficient for the system “silicate brick – glass wool” is carried out. The optimal dimensions of heat insulation and bearing building structure are determined.

*Key words and phrases:* thermal conductivity; heat-saving; two-layer systems; heat-insulating materials; computer modeling.