

УДК 666.973.2

С. Н. Долматов, П. Г. Колесников
S. N. Dolmatov, P. G. Kolesnikov

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ELCUT ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ
МЕТОДАМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ ТЕПЛОВОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ¹**

**USING THE ELCUT SOLID-STATE MODELING SYSTEM
IN TRAINING STUDENTS IN METHODS OF SOLVING PROBLEMS
IN THE FIELD OF THERMAL EFFICIENCY
OF BUILDING STRUCTURES**

Аннотация. Подготовка специалистов в области проектирования изделий и конструкций с учетом требований энергосбережения является важной задачей инженерно-технического образования. При этом традиционные методы аналитического расчёта уже не могут охватить всю многовариантность предлагаемых решений. Сказывается и объективная ограниченность учебного процесса во времени. Использование цифровых пакетов твердотельного моделирования, таких как КОМПАС и ELCUT, позволяет устранить данное противоречие, не жертвуя качеством обучения. За короткий отрезок времени студент может проанализировать несколько вариантов применяемых материалов и граничных условий. В статье, на примере каркасной стены, определяются удельные потери тепла через ограждающую конструкцию, а также термическое сопротивление ограждающей конструкции. Результаты исследования могут быть использованы при подготовке специалистов в области проектировании и эксплуатации строительных конструкций.

Abstract. Training specialists in the field of designing products and structures taking into account energy saving requirements is an important task of engineering education. At the same time, traditional methods of analytical calculation can no longer cover all the diversity of proposed solutions. The objective time limitation of the educational process also has an impact. The use of digital solid modeling packages, such as KOMPAS and ELCUT, allows us to eliminate this contradiction without sacrificing the quality of training. In a short period of time, the student can analyze several options for the materials used and boundary conditions. In the article, using the example of a frame wall, the specific heat losses through the enclosing structure and the thermal resistance of this enclosing structure are determined. The results of the study can be used in training specialists in the field of design and operation of building structures.

¹ Работа выполнена при поддержке гранта Благотворительного фонда Владимира Потанина (ГСГК-031/23).

Ключевые слова: инженерно-техническое образование, строительные конструкции, энергосбережение, тепловая эффективность, твердотельное моделирование, цифровые модели, КОМПАС, ELCUT.

Keywords: engineering education, building structures, energy saving, thermal efficiency, solid modeling, digital models, KOMPAS, ELCUT.

При проектировании зданий и сооружений большое значение имеют вопросы обеспечения тепловой эффективности. Как показывает практика, расчёты, связанные с обоснованием теплотехнических показателей, являются весьма трудоёмкими [6; 7; 8]. Немалую помощь при их проведении оказывают программы компьютерного моделирования. Будущих специалистов в области проектирования и эксплуатации строительных конструкций – бакалавров и магистров – необходимо обучать профессиональному владению этими программами ещё в период учёбы в университете. Цель настоящей статьи – оценить преимущества пакета программ твердотельного моделирования ELCUT для проведения теплотехнических расчётов ограждающих конструкций – стен, перекрытий, кровли, окон, фасадов и прочего.

Приведём в качестве примера расчёт теплоизоляционных показателей ограждающих конструкций малоэтажного здания. Основной теплозащитной характеристикой является сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции. В основу расчёта положена усреднённая плотность теплового потока, проходящего через ограждение в расчётных условиях эксплуатации. Показатели теплоизоляции стен, такие как теплопроводность материалов и сопротивление ограждающих конструкций теплопередаче, определяются на основе соответствующих ГОСТов [1; 2].

На университетских занятиях студентам следует объяснять, что при проектировании строительных объектов важна многовариантность конструктивных решений. Например, в процессе конструирования каркасной стены можно, – и даже нужно! – менять вид утеплителя, граничные условия теплопередачи и температурные величины. Если традиционный аналитический способ требует в среднем от одного до полутора часов (в зависимости от

сложности конструкции), то современные цифровые технологии позволяют сократить время анализа и расчёта до 40 минут и выбрать не один, а сразу несколько оптимальных вариантов (как правило, не более пяти), конкурирующих между собой.

Сначала выполним модель интересующей нас конструкции – каркасной стены – в программе цифрового моделирования КОМПАС (рис. 1). Речь идёт о стандартной каркасной стене с деревянными стойками сечением 150×50 мм. и основанием в виде бруса 150×150 мм. на сваях. Стойки каркаса обшиты листами OSB² толщиной 12 мм. Основание пола образует доска размером 200×50 мм. Полости в стене заполнены минеральной ватой. Тепловой поток направлен по нормали к поверхности. Характеристики перечисленных материалов указаны в таблице 1.

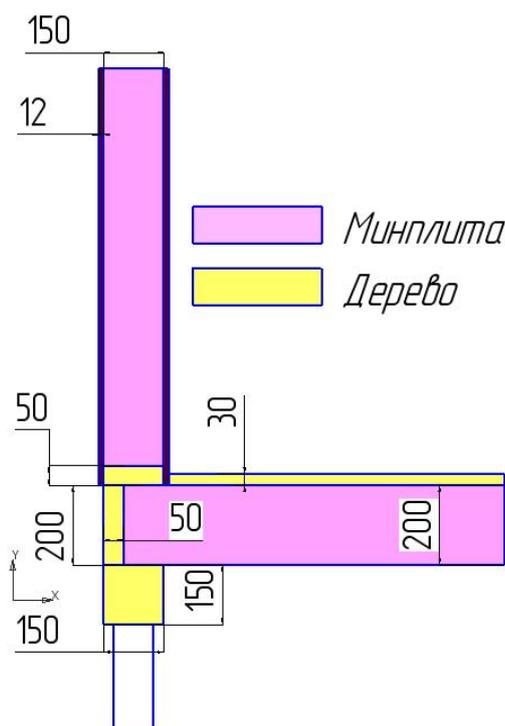


Рисунок 1. Модель каркасной стены, выполненная в программе КОМПАС

² OSB (англ. *oriented strand board* – ориентированно-стружечная плита) – многослойные склеенные листы из древесной стружки и щепок. Также называются ОСП-панелями или ОСП-листами. Используются для изготовления мебели, упаковки и несущих конструкций. – Прим. Ред.

Таблица 1

Характеристики материалов ограждающей конструкции (каркасной стены)

Материал	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ⁰ С)		
		В сухом состоянии	Условия эксплуатации	
			А	Б
Сосна	600	0,18	0,19	0,2
OSB	800	0,2	0,21	0,22
Минеральная вата	70	0,04	0,05	0,06

Полученную модель экспортируем в программу твердотельного моделирования ELCUT. Здесь она разбивается на сетку конечных элементов (рис. 2), после чего, с помощью анализа тепловых полей, проводится расчёт стационарного теплового потока, проходящего через стену [5].

Математическое моделирование теплового режима основывается на следующих заданных условиях: принятая температура внутренней среды $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$ [3], температура снаружи $t_{ext} = -20^{\circ}\text{C}$, коэффициент теплоотдачи (внутри) $\alpha_{si} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ [4], коэффициент теплоотдачи снаружи $\alpha_{se} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ [4].

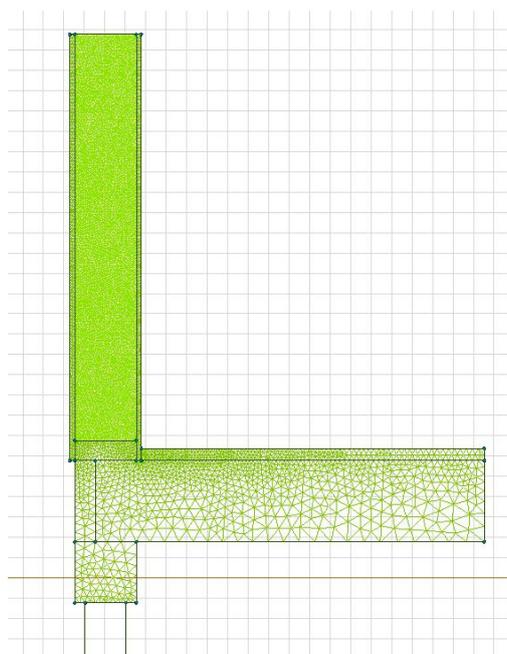


Рисунок 2. Сетка конечных элементов
(программа ELCUT)

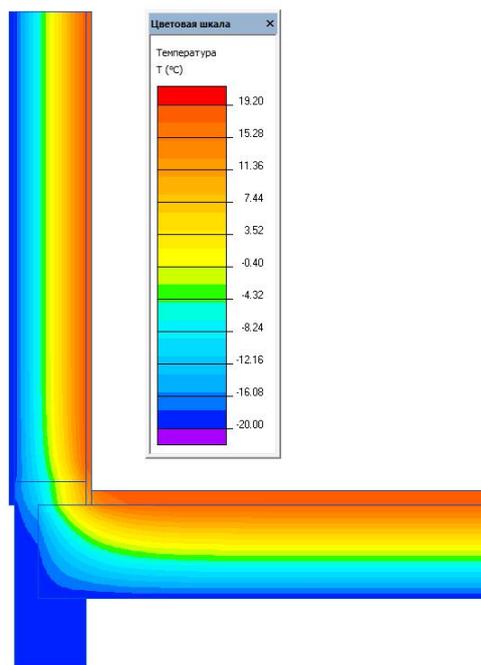


Рисунок 3. Тепловые поля и температуры проектируемой конструкции (программа ELCUT)

Полученные в ходе расчёта величины – удельные потери тепла (от 12 до 18 Вт/(м²·°C)), сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (2,3 до 3,1 (м²·°C)/Вт) – соответствуют требованиям эксплуатации. Конечный результат программа представляет в виде рисунка контуров тепловых полей или графиков (рис. 3).

Итак, современные методы имитационного моделирования в сочетании с методом конечных элементов позволяют достаточно точно определить показатели термического сопротивления ограждающих конструкций. При этом расчёты в соответствующих компьютерных программах делаются весьма оперативно, что является большим преимуществом в рамках учебного процесса.

Список источников и литературы

1. ГОСТ 7076-99. Межгосударственный стандарт. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. Дата введения: 1 апреля 2000 г. Официальное издание. – М.: Госстрой России; Центр проектной продукции в строительстве, 2000.

2. ГОСТ Р 54853-2011. Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера. ISO 9869:1994 (NEQ). Дата введения: 15 декабря 2011 г. Официальное издание. – М.: «Стандартинформ», 2012.

3. ГОСТ 30494-2011. Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Официальное издание. Дата введения: 1 января 2013 г. – М.: «Стандартинформ», 2013.

4. Свод правил «Тепловая защита зданий» (СП 50.13330-2012). Дата введения: 1 января 2012 г. Официальное издание. – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации; Федеральный центр стандартизации, 2012.

5. ELCUT. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Версия 6.6. Руководство пользователя. – СПб.: ООО «Тор»; «Издательские решения», 2023.

6. *Dolmatov S.N., Makunina Ya.S., Schepochkina Ju.A., Zagidullin R.R., Kiyamov I.K., Sabitov L.S., Sokolova V.A.* Use of wood and mineral composite as an alternative filler for sip panels // AIP Conference Proceedings. – Volume 2911, Issue 1 (August 2023). II International scientific and practical symposium «Materials science and technology» (MST-II-2022), 24-26 October 2022, Dushanbe, Republic of Tajikistan / Editors: A. Gibadullin, Sh. Sadullozoda, Dm. Morkovkin. – Melville, New York, USA: AIP Publishing, 2023. – P. 20041. DOI: 10.1063/5.0162672.

7. *Долматов С.Н., Колесников П.Г.* Исследование влияния материала кладочных швов на тепловую эффективность ограждающих конструкций из древесно-цементных композитов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». – 2022. – № 4 (24). – С. 34-44. DOI 10.25686/2542-114X.2022.4.34.

8. *Долматов С.Н., Колесников П.Г.* Исследование тепловой эффективности ограждающих конструкций из древесно-цементных композитов // Хвойные бореальной зоны. – 2021. – Том XXXIX. – № 4. – С. 294-299.

© Долматов С.Н., Колесников П.Г., 2023

