

Сунибекова А.К.

ТОСМО КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫН ЖЫЛУУЛУК-ТЕХНИКАЛЫК ЭСЕПТӨӨЛӨРҮНҮН  
ЭКСПЕРТТИК СИСТЕМАЛАРЫНЫН САЛЫШТЫРМА АНАЛИЗИ

Сунибекова А.К.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО  
РАСЧЕТА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

A. Supibekova

COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERT SYSTEMS FOR THERMAL  
CALCULATION OF ENCLOSURE STRUCTURES

УДК: 681.518.3

Макалада түрдүү системалардын артыкчылыктарын жана кемчиликтерин камтыган тосмо конструкциялардын эксперттик жылуулук-техникалык эсептөө системаларынын анализи каралат. Анализде бир нече колдонула турган негизги критерийлер келтирилди мисалы, функционалдуулугу: эсептөө милдеттеринин камтылышы, эсептөөлөрдүн натыйжаларынын сапаты, кошумча инструменттердин жана функциялардын болушу; колдонуу ыңгайлуулугу: интерфейси, орнотуунун оңойлугу, кириш маалыматтар жана эсептөө натыйжалары менен иштөө ыңгайлуулугу; туруктуулугу: каталардан коргоонуу деңгээли, маалыматтардын сапатын контролдоо механизмдеринин болушу, натыйжалардын туруктуулугу; шайкештиги: башка программалык өнүмдөр жана тутумдар менен интеграциялоо мүмкүнчүлүгү; баасы: сатып алуу жана тейлөө наркы, окутууга жана колдоого кошумча чыгымдардын болушу. Макаланын автору тарабынан иштелип чыккан эксперттик системага карата тосмо конструкциялардын жылуулук-техникалык эсебинин учурдагы эксперттик системасынын салыштырма анализинин жыйынтыктары келтирилет.

**Негизги сөздөр:** эксперттик система, жылуулук-техникалык эсептөө, тосмо конструкциялары, программалык комплекс, жылуулук изоляциясы, климаттык шарттар, колдонуучунун интерфейси, эсептөөнүн натыйжалуулугу.

В статье рассматривается анализ экспертных систем теплотехнического расчета ограждающих конструкций. Приведены несколько из ключевых критериев, которые могут использоваться при анализе такие как, функциональность: охват расчетных задач, качество результатов расчетов, наличие дополнительных инструментов и функций; удобство использования: интерфейс, легкость настройки, удобство работы с входными данными и результатами расчетов; надежность: степень защищенности от ошибок, наличие механизмов контроля качества данных, надежность результатов; совместимость: возможность интеграции с другими программными продуктами и системами; цена: стоимость приобретения и обслуживания, наличие дополнительных затрат на обучение и поддержку. Приводятся выводы сравнительного анализа существующих экспертных систем теплотехнического расчета ограждающих конструкций по отношению к разработанной экспертной системе автором статьи.

**Ключевые слова:** экспертная система, теплотехнический расчет, ограждающие конструкции, программный комплекс, тепловая изоляция, климатические условия, интерфейс пользователя, эффективность расчетов.

This article provides an analysis of expert systems for thermal calculation of enclosure structures. Several key criteria that can be used in the analysis are presented, such as, functionality: coverage

of calculation tasks, quality of calculation results, availability of additional tools and functions; ease of use: interface, ease of configuration, convenience of working with input data and calculation results; reliability: degree of protection against errors, presence of data quality control mechanisms, reliability of results; compatibility: ability to integrate with other software products and systems; price: cost of acquisition and maintenance, additional costs for training and support. The conclusions of a comparative analysis of existing expert systems for thermal calculation of enclosure structures with the expert system developed by the author are presented.

**Key words:** expert system, heat engineering calculation, enclosing structures, software complex, thermal insulation, climate conditions, user interface, calculation efficiency.

Существует множество экспертных систем теплотехнического расчета ограждающих конструкций в мире. Некоторые из наиболее распространенных систем включают:

1. **WUFI** (Wärme und Feuchte instationär, по-русски – «Тепло и влага в нестационарных условиях») – это программное обеспечение, разработанное Fraunhofer Institute for Building Physics в Германии. Оно используется для анализа теплопередачи и влагообмена через стены, крыши, полы и другие ограждающие конструкции.

**WUFI** – разработан на языке программирования **FORTRAN** и имеет графический интерфейс пользователя, который позволяет вводить данные и интерактивно моделировать различные сценарии. Различные версии **WUFI** могут использовать различные языки, но основной код программы написан на **FORTRAN**.

**WUFI** не использует какую-либо специфическую **СУБД** (систему управления базами данных). База данных материалов **WUFI** хранится в специальном формате и доступна для пользователя через пользовательский интерфейс программы.

**WUFI** – это **не клиент-серверная программа**, а автономное приложение для компьютера, работающее локально на одном компьютере. **WUFI** не требует подключения к удаленному серверу и не использует удаленные вычисления или облачные технологии. Программа работает непосредственно на компьютере пользователя, используя мощность его процессора для проведения расчетов и обработки данных [1].

2. **THERM** – это программное обеспечение, разработанное National Institute of Standards and Technolo-

гу (NIST) в США. Оно используется для расчета теплопередачи через стены, крыши, окна и двери.

Для расчетов THERM использует язык программирования FORTRAN, который используется для реализации алгоритмов расчета теплопередачи в зданиях.

THERM не использует базы данных для своей работы. Однако, для сохранения и управления проектами, THERM использует свой формат файла проекта, который содержит данные о геометрии здания, свойствах материалов и границах здания.

THERM не является клиент-серверной программой. THERM – это однопользовательская программа, которая работает локально на компьютере пользователя. Она не требует подключения к сети или удаленному серверу для своей работы.

3. HEAT2 – это программное обеспечение, разработанное компанией Sintef, которая является крупнейшим исследовательским институтом в Норвегии и специализируется на различных областях науки и технологии, включая энергетику, материаловедение, информационные технологии и другие. Оно используется для анализа теплопередачи и влагообмена через стены, крыши, полы и другие ограждающие конструкции.

4. HEAT2 базируется на численном методе конечных элементов и написана на языке программирования FORTRAN, система не использует СУБД (система хранения данных), а базируется на собственном формате хранения данных [2].

HEAT2 – это стационарная программа для моделирования теплопереноса и расчета температурных полей, и она не является клиент-серверной. HEAT2 не работает в режиме удаленного доступа к данным и не подключается к внешним серверам. Она устанавливается и запускается на компьютере пользователя, и весь процесс расчета происходит на этом компьютере.

В России существует несколько экспертных систем теплотехнического расчета ограждающих конструкций, которые могут использоваться для решения различных задач в этой области. Некоторые из них приведены ниже:

«ТЕПЛО 3D» – это экспертная система, разработанная на базе программного комплекса Autodesk Revit, которая предназначена для теплотехнического расчета зданий и сооружений.

Она позволяет проводить расчеты теплопередачи и тепловых потерь через ограждающие конструкции, а также определять тепловые характеристики материалов и конструкций.

«ТЕПЛО 3D» может использоваться в различных отраслях инженерного проектирования и строительства, например, в проектировании зданий с целью оптимизации их теплоизоляции, а также в проектировании систем отопления и вентиляции. Система позволяет улучшить энергоэффективность зданий и со-

ружений, что может привести к снижению расходов на энергию и сокращению выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Данная система не используется в качестве клиент-серверной программы, отсутствует СУБД.

1. «Термин» – это экспертная система, разработанная на базе программного комплекса AutoCAD, которая предназначена для расчета теплопередачи через ограждающие конструкции.

Она позволяет проводить расчёты для различных типов конструкций, включая стены, кровли, полы, окна и двери.

Термин – это клиент-серверная программа, которая предназначена для проектирования и расчёта инженерных систем, таких как системы отопления, вентиляция, кондиционирования воздуха и других. Она состоит из двух основных компонентов: клиентской и серверной частей.

Клиентская часть Термина – это графический интерфейс пользователя, через который инженеры и проектировщики могут взаимодействовать с системой. Она предоставляет пользователю доступ ко всем функциям системы, включая возможность создания проектов, добавления элементов систем, изменения их параметров и проведения расчетов.

Серверная часть Термина предназначена для обработки данных и выполнения расчетов, необходимых для проектирования и расчета систем. Она содержит базу данных, которая хранит информацию о системах и элементах, а также алгоритмы, необходимые для расчетов параметров систем.

Клиентская и серверная части Термина взаимодействуют между собой по протоколу TCP/IP, что позволяет пользователям работать с системой из любого места, подключенного к сети Интернет. Также Термин поддерживает возможность работы в локальной сети, что позволяет пользователям работать с системой без доступа к Интернету [3].

2. «Эксперт» – это экспертная система, разработанная на базе программного комплекса SCAD, которая предназначена для теплотехнического расчёта зданий и сооружений.

Она позволяет проводить расчеты теплопередачи и тепловых потерь через ограждающие конструкции, а также определять тепловые характеристики материалов и конструкций.

Система «Эксперт» использует базу знаний [4], которая включает в себя информацию о нормативных документах, стандартах, технологиях и материалах, а также знания и опыт экспертов в области металлоконструкций.

Отличительной особенностью системы «Эксперт» является интеграция с программным комплексом SCAD, который обеспечивает удобный интерфейс для ввода и обработки данных. СУБД, используемая в

системе «Эксперт», неизвестна, но, вероятно, система использует собственную базу данных для хранения знаний и результатов расчетов.

**Пример теплотехнического расчета в разработанной автором экспертной системе.** Теплотехнический расчет ограждающих конструкций заключается в определении необходимой толщины теплоизоляции и конструктивных слоев ограждения, обеспечивающих сопротивление теплопередачи равное нормированному значению общего приведенного сопротивления теплопередач  $R_{тр.пр.}$  [6] Ограждающей стеновой конструкцией является глинобитная стена толщиной  $\delta = 250$  мм, для теплоизоляции выбрали пенопласт, с теплопроводностью  $\lambda = 0,06$  (Вт/ м<sup>2</sup>·°С).

Определяем требуемое нормативное сопротивление теплоотдачи конструкций [7]  $R_{тр.пр.}$  HC- наружной стены:

$$R_{тр.пр.} HC = \frac{n(t_b - t_n)}{\Delta t_n \times \alpha_b} \quad (1)$$

$t_b$  – темп. внутреннего воздуха, °С, принимается в зависимости от назначения здания = 20 (°С);

$t_n$  – температура наружного воздуха, °С, принимается в зависимости от района строительства здания = -23 (°С);

$n$  – коэффициент зависящий от расположения рассчитываемой конструкции горизонтальный или вертикальный = 1;

$\Delta t_n$  – температурный перепад между внутренними и наружными конструкциями = 6 (°С);

$\alpha_b$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций = 8,7;

$$R_{тр.пр.} HC = \frac{1(20 - (-23))}{6 \times 8,7} = \frac{43}{52,2} = 0,8 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)}$$

Определим общее расчетное сопротивление теплопередачи  $R_o$  HC- наружной стены [8]:

$$R_o HC = (1/\alpha_b + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_n) \quad (2)$$

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций = 23;

$\delta_n$  – толщина каждого слоя (м) ;  $\delta_{1,4}$  – толщина штукатурки 0,015 (м) ;

$\delta_2$  – толщина глинобитной стены 0,25(м) ;  $\delta_3$  – толщина пенопласта 0,05 (м);

$\lambda_n$  – теплопроводность материала (Вт/ м<sup>2</sup>·°С);

$\lambda_{1,4}$  – теплопр. штук. 0,76 (Вт/ м<sup>2</sup>·°С);

$\lambda_2$  – теплопр. глинобит. стены 0,7(Вт/ м<sup>2</sup>·°С);

$\lambda_3$  – теплопр. пенопласта 0,06 (Вт/ м<sup>2</sup>·°С);

$R_o HC = (1/8,7 + 0,015/0,76 + 0,25/0,7 + 0,015/0,06 + 1/23) = 1,38$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт). Полученная величина приравнивается к общему сопротивлению теплопередачи ограждения:

$$R_o HC \geq R_{тр.пр.} HC(3)$$

$$1,38 \geq 0,8$$

Сопротивления воздухопроницаемости **Достаточно.**

Теплоустойчивости ограждающей конструкции - **Достаточно.**

Конструкция стены, теплоизоляция с данными толщинами удовлетворяют конструктивным требованиям и требованиям теплоизоляции (рис. 1). Результаты расчетов приводятся на графике (рис. 2).

Слой	Толщина (м)	Теплопроводность (Вт/м²·°С)	Материал
7-го слоя	0	0,00	Пустая
6-го слоя	0	1	[Edit Value is ...]
5-го слоя	0	1	[Edit Value is ...]
4-го слоя	0,015	0,76	Штукатурка...
3-го слоя	0,05	0,06	Пенопласт
2-го слоя	0,25	0,70	Глинобитная
1-го слоя	0,015	0,76	Штукатурка...

Рис. 1. Расчеты на теплоустойчивость, паропроницаемость и воздухопроницаемость.

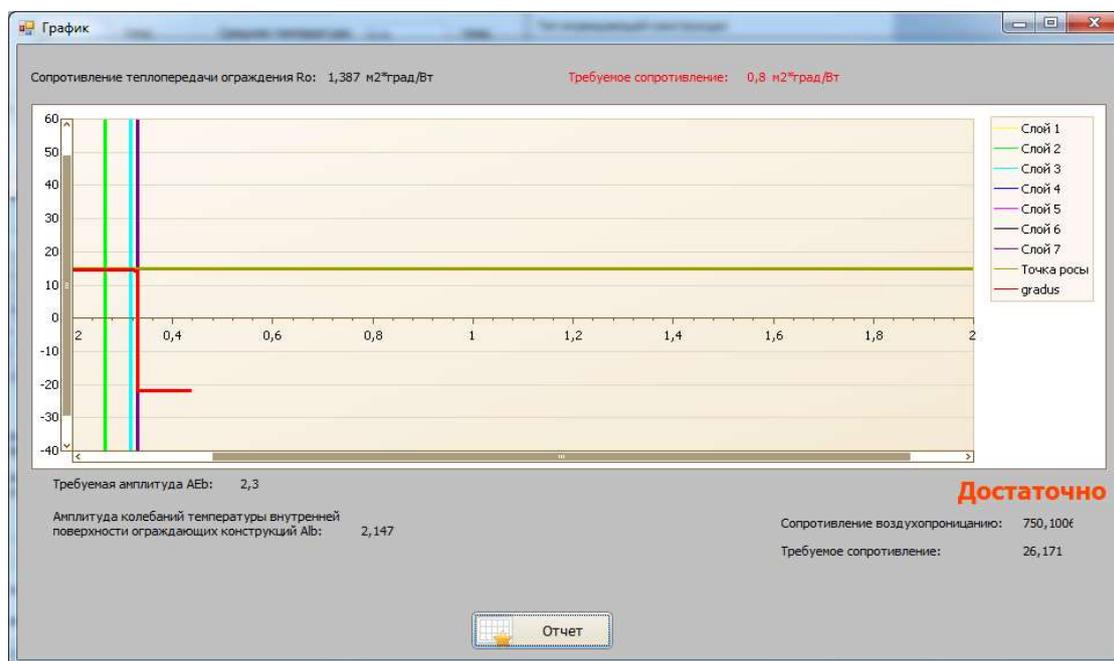


Рис. 2. График результатов расчета.

**Вывод:** разработанная экспертная система теплотехнического расчета ограждающих конструкций по сравнению с вышеописанными системами имеет ряд преимуществ:

1) **СУБД:** наличие системы управления базой данных Microsoft SQL Server.

2) **Архитектура:** клиент-серверная программа, которая разделена на клиентскую и серверную части.

3) **Язык программирования:** экспертная система разработана на высоком объектно-ориентированном языке C#.

4) **Удобство использования:** имеет интуитивно понятный и простой интерфейс, что делает его легко доступным для инженеров и проектировщиков различных уровней квалификации.

5) **Нормативная база:** технические характеристики ограждающих конструкций в базе знаний приводятся согласно СНиПам Кыргызской Республики.

6) **Высокая точность:** система способна анализировать большое количество данных и принимать точные решения.

7) **Гибкость:** возможность изменять и настраивать правила и процедуры в соответствии с изменяющимися условиями и требованиями.

8) **Возможность использования на различных платформах:** экспертная система может работать как на компьютерах с операционной системой Windows,

так и на компьютерах с операционной системой Linux.

9) **Вывод результата расчета:** экспертное заключение в текстовом формате содержащий подробное описание результатов, а также в виде графика.

10) **Стоимость:** невысокая стоимость по сравнению с вышеуказанными экспертными системами.

#### Литература:

1. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. / К.Нейлор. - М.: Энергоатомиздат, 2013. - 286с.
2. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта / Н.Нильсон. - М.: Радио и связь, 2014. - 373 с.
3. Системы автоматизированного проектирования в 9-ти книгах. Кн. 9. Иллюстрированный словарь / Под ред. И.П. Норенкова. - М.: Высшая школа, 2012. - 159 с.
4. Чичварин Н.В. Экспертные компоненты САПР. / Н.В. Чичварин. - М.: Машиностроение, 2014. - 240 с.
5. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы. / Ю.Я. Любарский. - М.: Наука, 2013. - 232 с.
6. СНиП 23-01-98 КР. Строительная теплотехника. - Б.: Кыргызстан, 2000.
7. СНиП КР 23-02-00. Строительная климатология. - Б.: Кыргызстан, 2000.
8. СНиП КР 23-01:2009. Строительная теплотехника (Тепловая защита зданий). - Б., 2009.
9. Кутуев М.Д., Мамонтов Б.С., Муктаров Т.К., Мамбетов Э.М., Муканбет К.Э., Мисирова А.М., Качыгулов К.А. Исследования теплофизических расчетов ограждающих конструкций влияющих на микроклимат помещений. Известия ВУЗов Кыргызстана. 2012. №. 1. - С. 36-38.