

УДК 699.86+004.42

С. А. Королёв, кандидат физико-математических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

И. Г. Русяк, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

И. С. Никитина, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

Рассмотрена методика расчета тепловых потерь и проектирования тепловой защиты здания. Создана база данных теплотехнических характеристик зданий, технологий и материалов тепловой защиты. Представлена структура, интерфейс и возможности разработанного программного комплекса.

Ключевые слова: тепловая защита здания, программный комплекс, база данных, тепловые потери.

Непрерывное повышение энергоэффективности зданий требует постоянного планирования и оценки мероприятий тепловой защиты в меняющейся среде энергоэффективных технологий и материалов. Поэтому необходим удобный инструмент для выполнения теплотехнических и экономических расчетов, хранения и дополнения информационной базы энергоэффективных технологий и проектных решений для типовых зданий. На решение поставленных задач направлены разработанные методика и программный комплекс проектирования тепловой защиты зданий.

Теплозащитная оболочка здания состоит из различных типов ограждающих конструкций: наружные стены, подвальные, чердачные перекрытия, светопрозрачные ограждения (окна и балконные двери) и наружные двери.

Теплообмен через плотные слои непрозрачных ограждений (стены, перекрытия) осуществляется за счет теплопроводности, на внешних границах ограждения происходит сложный (кондуктивный, конвективный и лучистый) теплообмен с окружающей средой. При этом рассматривается задача теплопередачи многослойной плоской стенки [1].

Сопrotивление теплопередаче многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициенты теплообмена на внутренней и наружной поверхностях ограждения соответственно; $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – термические сопротивления слоев ограждения; δ_i – толщина; λ_i – теплопроводность i -го слоя ограждения.

Коэффициенты теплообмена на внешних поверхностях ограждения определяются соотношением

$$\alpha = \alpha^{\text{к}} + \alpha^{\text{л}},$$

где $\alpha^{\text{к}}$ – коэффициент конвективного (с учетом кондуктивного) теплообмена; $\alpha^{\text{л}}$ – коэффициент лучистого теплообмена.

Для коэффициентов конвективного теплообмена при типичных условиях теплообмена здания можно принять средние значения в соответствии с рекомендациями [2].

Коэффициент лучистого теплообмена зависит от радиационных свойств поверхности и может быть приближенно рассчитан по формуле

$$\alpha^{\text{л}} = \varepsilon_n \alpha_0^{\text{л}}, \quad (2)$$

где ε_n – степень черноты или относительный коэффициент излучения поверхности ограждения; $\alpha_0^{\text{л}}$ – коэффициент лучистого теплообмена для абсолютно черной поверхности ограждения ($\varepsilon_n = 1$).

Светопрозрачные ограждающие конструкции рассматриваются как многослойные системы, состоящие из слоев остекления и межстекольных прослоек. Через такую конструкцию происходит сложный теплообмен, причем основная доля тепловой энергии передается за счет излучения. Методика расчета сложного теплообмена через многослойные оконные системы приведена в [3]. При этом существует возможность моделирования систем с учетом применения различных материалов и покрытий стекла и газовых заполнений межстекольных прослоек, а также оптимизации параметров конструкции для достижения наилучших теплозащитных характеристик.

В соответствии со строительными нормами [4] сопротивление теплопередаче R каждого типа ограждающих конструкций здания должно быть не ниже нормируемого значения R_n .

Для снижения тепловых потерь в конструкции стены применяют теплоизоляционные материалы с низким коэффициентом теплопроводности ($\lambda_{\text{из}} < 0,1$ Вт/(м °С)). Сопротивление теплопередаче и толщина теплоизоляционного слоя подбира-

ется для выполнения требований норм из соотношений

$$R_{из} = R_n - R, \quad \delta_{из} = R_{из} \lambda_{из}, \quad (3)$$

где R – сопротивление теплопередаче ограждения до утепления.

При наличии большой разности температур между поверхностью ограждения и окружающей средой, например, в области расположения отопительного прибора около наружной стены, эффективна теплоизоляция с отражающим слоем (коэффициент излучения $\epsilon_n < 0,1$).

При проектировании тепловой защиты зданий также следует учитывать требования по теплоустойчивости, воздухопроницаемости и защите от переувлажнения ограждающих конструкций, приведенные в [4].

Классификация мероприятий тепловой защиты здания по типу ограждающих конструкций приведена на рис. 1.

Программный комплекс разработан в среде Microsoft Visual Studio в виде приложения Windows. Информационная база данных реализована в СУБД Microsoft SQL Server. Структура программного комплекса приведена на рис. 2.

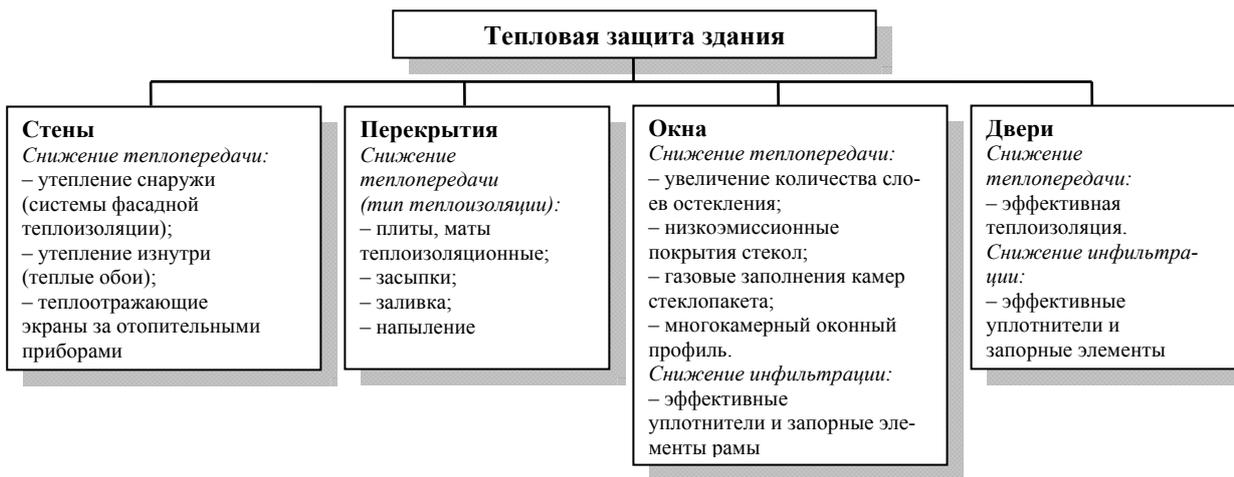


Рис. 1. Мероприятия тепловой защиты здания

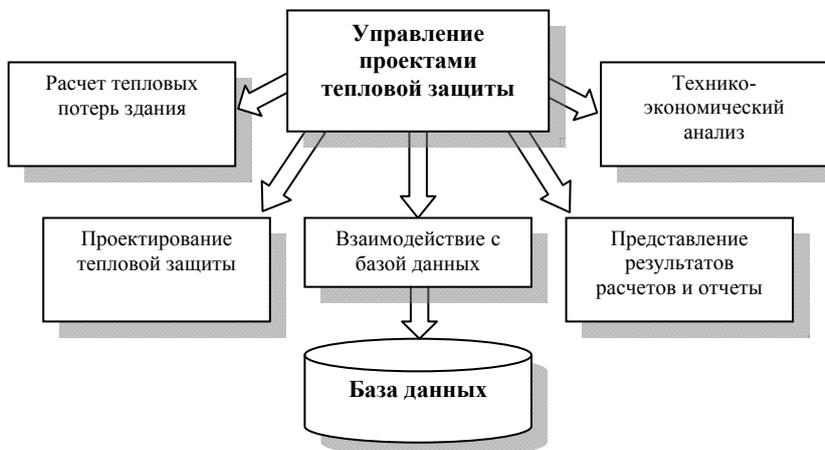


Рис. 2. Структура программного комплекса

Структуру программного комплекса можно условно разделить на шесть блоков. В его основе лежит методика расчета тепловых потерь здания, реализованная в соответствующем блоке. Блок проектирования тепловой защиты содержит алгоритмы выбора технологий и материалов тепловой защиты, расчета параметров. Программный комплекс содержит блок расчета и анализа технико-экономических показателей мероприятий тепловой защиты. Программный комплекс обладает широкими средствами представления результатов расчета в виде таблиц, графиков, диаграмм. Существует возможность подготовки отчетов по результатам исследо-

ваний в текстовом и табличном формате и экспорта их в офисные приложения. Взаимодействие отдельных блоков программного комплекса друг с другом и управление процессом проектирования тепловой защиты осуществляется средствами блока управления проектами.

Программный комплекс написан на языке C# с использованием технологии объектно-ориентированного программирования. Каждый информационный объект (здание, элемент ограждающих конструкций, слой конструкции, материал и т. д.) представлен отдельным классом с индивидуальными свойствами и методами.

Информационная база данных состоит из следующих блоков:

- информация о проектах тепловой защиты;
- теплотехнические характеристики зданий и их ограждающих конструкций;
- справочник конструкционных и теплоизоляционных материалов;
- теплотехническая информация о технологиях тепловой защиты зданий;
- нормативно-справочная информация по тепловой защите;
- информация для построения технических и экономических отчетов.

Для каждого здания можно разработать несколько проектов тепловой защиты, содержащих перечень технологий, применяемых для различных типов ограждающих конструкций. Информация о технологиях тепловой защиты включает номер, краткое наименование, ссылку на файл с подробным описанием технологии, тип ограждающей конструкции, условия

применения, оценки стоимости материалов, стоимости работ и прочих затрат.

База данных содержит информацию более чем по 50 типовым жилым и общественным зданиям, современным технологиям и материалам тепловой защиты, а также типовым проектам тепловой защиты для различных типов зданий.

Интерфейс программного комплекса построен на основе многооконного интерфейса MDI (multiple document interface). Главная форма программного комплекса позволяет выполнять основные действия над проектом тепловой защиты, такие как создание, открытие и сохранение проекта. В главной форме одновременно может быть открыто несколько дочерних форм, содержащих информацию о различных проектах тепловой защиты здания. Информация о проекте сгруппирована в виде вкладок на форме, на которых размещаются общие параметры здания, параметры различных типов ограждающих конструкций и результаты расчета (рис. 3).

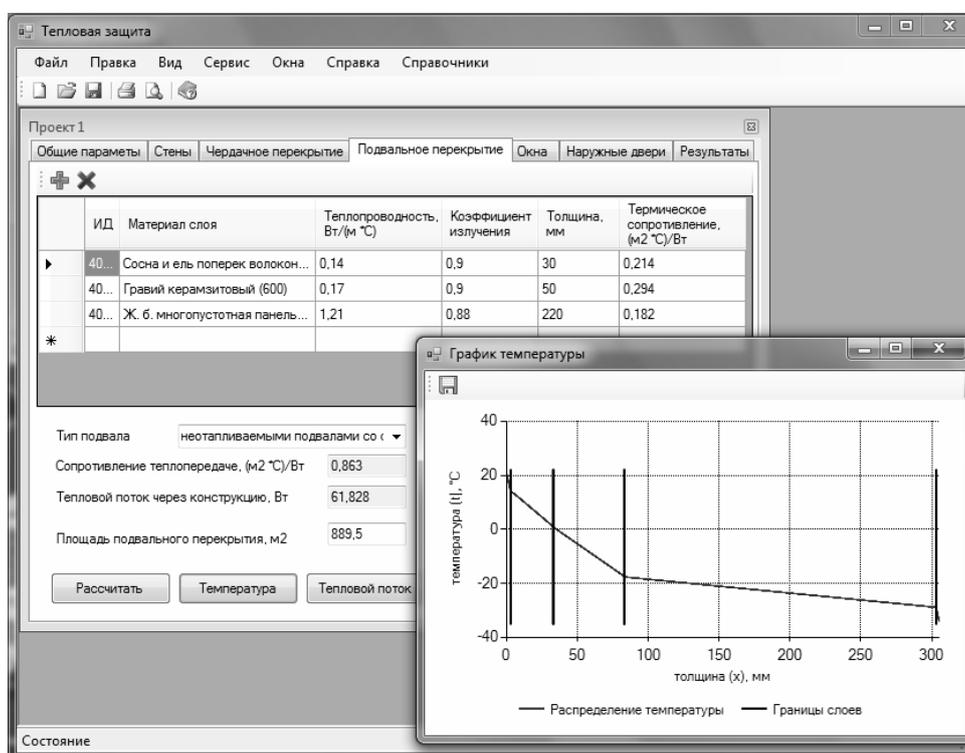


Рис. 3. Интерфейс программного комплекса

На вкладках, соответствующих ограждающим конструкциям, задаются необходимые параметры: тип ограждения, площадь, требуемое сопротивление теплопередаче и др. Структура многослойной ограждающей конструкции отображается в таблице и заполняется с использованием справочника конструкционных и теплоизоляционных материалов.

Результаты теплового расчета различных элементов ограждающих конструкций здания отображаются на соответствующих вкладках: сопротивление теплопередаче, тепловой поток, температура и температурный перепад на внутренней поверхности ограж-

дения. Существует возможность вывода результатов расчета в виде графиков температуры и теплового потока (рис. 3).

По результатам расчета формируется энергетический паспорт здания в соответствии с требованиями [4]. Расчетные значения показателей сравниваются с нормативными, и в случае невыполнения нормативных требований соответствующие показатели выделяются цветом. Также предусмотрен экспорт данных в таблицу Microsoft Excel.

Алгоритм проектирования тепловой защиты, включает следующие этапы.

1. Анализ параметров тепловой защиты – оценка соответствия параметров тепловой защиты нормативным требованиям.

2. Проектирование тепловой защиты – выбор технологий, материалов и параметров тепловой защиты.

3. Техничко-экономический анализ тепловой защиты – оценка затрат, экономического эффекта и срока окупаемости мероприятий тепловой защиты.

Первый этап реализован в виде анализа показателей энергетического паспорта здания.

На втором этапе для каждого типа ограждающих конструкций выбирается технология тепловой защиты. Затем производится автоматический выбор оптимального утеплителя из базы данных с учетом

требуемого сопротивления и минимальной стоимости. Также с учетом тепловых характеристик и стоимости подбираются оптимальные варианты конструкции окон и дверей.

На третьем этапе проводится технико-экономический анализ сформированного проекта тепловой защиты. Для оценки эффективности тепловой защиты строится диаграмма тепловых потерь до и после проведения утеплительных мероприятий (рис. 4) и график окупаемости инвестиций в мероприятия тепловой защиты (рис. 5). При проведении экономических расчетов учитывается рост тарифов на тепловую энергию, а также коэффициент дисконтирования доходов.



Рис. 4. Структура тепловых потерь

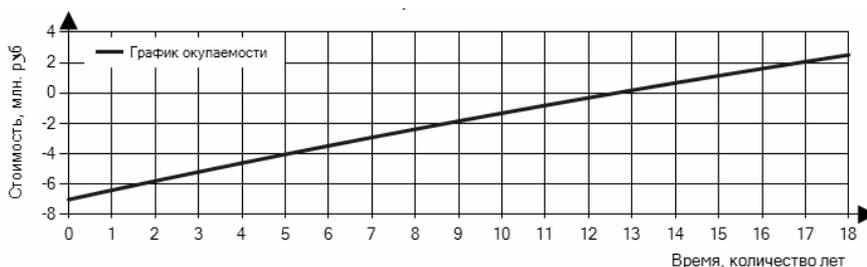


Рис. 5. График окупаемости инвестиций

Выводы

Разработанный программный комплекс реализует методику расчета тепловых потерь и проектирования тепловой защиты здания. Информационная база данных позволяет хранить теплотехнические параметры зданий и типовые проекты тепловой защиты. Программный комплекс предоставляет инструментарий проектирования и технико-экономического анализа мероприятий тепловой защиты зданий. Результаты расчетов представляются в виде таблиц, графиков и отчетов, которые могут быть экспортированы в текстовые и табличные документы. Программный комплекс может использоваться для технико-экономического анализа тепловой защиты зданий

в проектно-строительных организациях, организациях, эксплуатирующих здания, управляющих компаниях в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Библиографические ссылки

1. Теплопередача / В. П. Исаченко [и др.]. – М. : Энергия 1981. – 416 с.
2. Малявина Е. Г. Теплотери здания : справочное пособие. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2007.
3. Русяк И. Г., Королев С. А. Особенности математического моделирования и проектирование энергосберегающих многослойных оконных систем // Вестник ИжГТУ. – 2005. – № 4. – С. 20–25.
4. СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий. – М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.

S. A. Korolev, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

I. G. Rusyak, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

I. S. Nikitina, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Development of Methods and Software to Design Thermal Protection of Buildings

The paper considers methods of calculating the heat losses and designing the thermal protection of buildings. A database was created including thermal technical characteristics of buildings, technologies and materials of thermal protection. The paper describes the structure, the interface and capabilities of the developed program complex.

Key words: thermal protection of buildings, software package, database, heat losses.