

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДЕ MATLAB С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ «ФИЗИЧЕСКОГО» МОДЕЛИРОВАНИЯ

М.Н. Морозов, П.А. Стрижак  
Томский политехнический университет  
tpu\_chm@tpu.ru

### Введение

В последнее время вопрос энергосбережения и повышения энерго- и ресурсоэффективности во всех сферах жизнедеятельности стал подниматься на различных уровнях [1,2]. Особое значение уделяют мероприятиям, направленным на повышение энергоэффективности зданий и сооружений административного и производственного назначений [3]. Тем не менее, общедоступные подходы к энергосбережению, предусматривающие внедрение наилучших доступных технологий, далеко не всегда позволяют достигать заявленных Государством целевых показателей энергосбережения. Эффективным решением, как показывает практика, становится внедрение автоматизированных систем управления зданием (АСУЗ).

К современным системам предъявляются серьезные требования касательно комфортного климата помещений [4] и достижению энергосберегающего эффекта. Для решения данных задач специалисты зачастую используют специализированное программное обеспечение (ПО), позволяющее моделировать функционирование даже целого здания. Как правило, стоимость такого ПО, наряду с проблемой интеграции со сторонними программными продуктами тормозит развитие нового направления в технике – энергомоделирования.

### Matlab – эффективный инструмент энергомоделирования

Анализ программных продуктов для моделирования позволил выделить ПО Matlab. Выбор обусловлен наличием широких функциональных возможностей [5, 6]: инструменты для анализа динамики систем, связь с рабочей средой Workspace и другими приложениями пакета Matlab (в частности, Control System Toolbox), моделирование различных возмущений (детерминированных или случайных с соответствующими законами распределения) и ситуаций (штатных или нештатных, в том числе – аварийных), возникающих при эксплуатации технической системы.

Использование библиотеки приложения Simscape позволило применить концепцию «акаузального» (физического) моделирования [7].

### «Физическое» моделирование с Simscape

Simscape – специализированная библиотека Simulink, содержащая набор блоков из различных областей техники – механические и гидравлические системы, электрические цепи, тепловые эффекты. Использование последних представляет определенный интерес для задачи энергомоделирования зданий и сооружений. Основное преимуще-

ство применения Simscape заключается в «физическом» представлении объекта – модель имеет схожую структуру с реальным объектом, который можно разложить на физические процессы и элементы. Например, в основе математической модели помещения лежит закон сохранения энергии:

$$dE_B/dt = Q_{от} - Q_{огр},$$

$$E_B = V_B * \rho_B * c_B * T_B,$$

где  $E_B$  – внутренняя энергия воздушной среды помещения, Дж;

$V_B$  – объем воздуха в рассматриваемом помещении, м<sup>3</sup>;

$\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$c_B$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг\*К);

$T_B$  – температура воздуха внутри помещения, °С;

$Q_{от}$  – теплоступления в помещение от системы отопления, Вт;

$Q_{огр}$  – суммарные теплотери помещения через внешние ограждающие конструкции, Вт.

Энергомоделирование на базе Simulink позволяет использовать все преимущества данного приложения для разработки и настройки систем управления. Например, после реализации тепловой модели здания или помещения и расчета основных параметров инженерных систем, можно выполнить структурный и параметрический синтез системы управления теплоснабжением.

Тем не менее, есть проблемы, связанные с созданием комплексных моделей, содержащих тепловые, гидравлические и механические функциональные блоки. Также в процессе работы выявлены недостатки касательно конфигурирования блоков, функционал которых программно ограничен разработчиками Simscape.

Для примера рассмотрим блок конвективной теплопередачи, представленный на рисунке 1. Математическая интерпретация блока описывается законом Ньютона-Рихмана:

$$q_k = k * A * dT,$$

где  $q_k$  – тепловой поток, Вт;

$k$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$A$  – площадь поверхности теплоотдачи, м<sup>2</sup>;

$dT$  – разность температур, °С.



Convective Heat  
Transfer (Window-Atm)

Рис.1. Стандартный блок конвективной теплопередачи.

Таким образом, параметрами блока являются: коэффициент теплоотдачи, площадь поверхности и разность температур. Однако нет возможности динамически изменять данные параметры в процессе моделирования, что является существенным ограничением для задачи энергомоделирования.

Для решения проблемы разработан специализированный блок (подсистема) с «управляемыми» входами, представленный на рисунках 2 и 3. При этом сохранена возможность применения блока в стандартной «физической сети» Simscape. Использование такого блока позволяет динамически изменять входные параметры, что особенно важно при исследовании влияния ветровой нагрузки, инсоляционных процессов и температуры наружного воздуха на тепловой режим помещений, инженерные системы, а также на локальные системы регулирования.

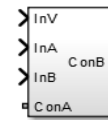


Рис.2. Маска подсистемы конвективной теплопередачи.

### Заключение

Для решения задачи повышения энергоэффективности зданий и сооружений предлагается использование математического пакета Matlab с библиотекой Simscape, позволяющей реализовать концепцию «физического» моделирования. Такой подход открывает новые возможности в энергомоделировании относительно исследования эффективности систем управления и тепловых режимов помещений. В процессе разработки выявлены недостатки стандартных блоков Simscape. Проблема решена при помощи создания новых блоков и подсистем с «управляемыми» входами.

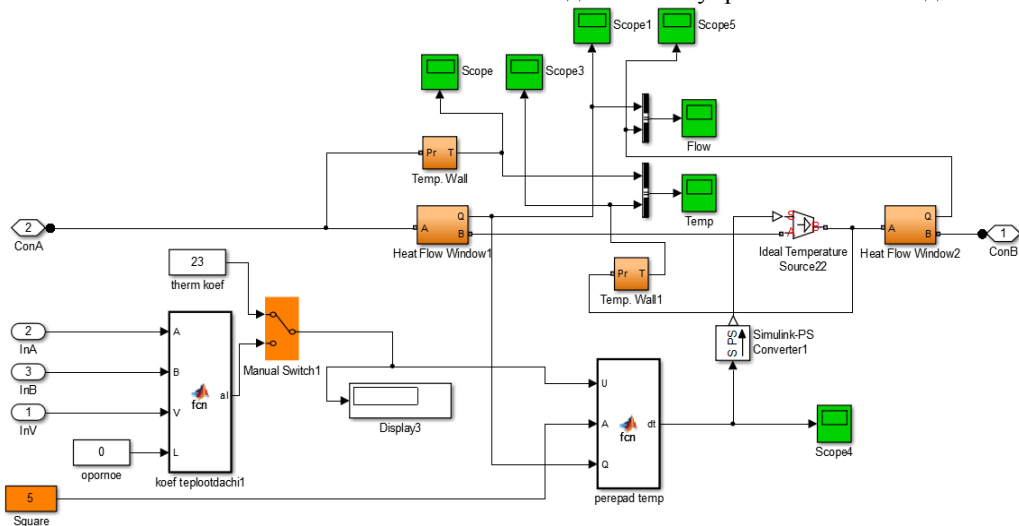


Рис.3. Подсистема конвективной теплопередачи с «управляемыми» входами

### Литература

1. Дубягин Ю.П., Дубягина О.П., Марченко Е.М. Стратегия национальной безопасности России и ее соотносимость с энергетической безопасностью и ее важными системными составляющими: энергосбережением и водоподготовкой // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. № 3(83). С. 11–16.
2. Парьгин А.Г., Волкова Т.А., Куличихин В.В. О энергонезависимости и надежности тепловых пунктов // Энергетик. 2013. № 3. С. 41–43.
3. Самарин О.Д., Гришневa Е.А. Повышение энергоэффективности зданий на основе интеллектуальных технологий // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 5. С. 12–14.
4. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М., 2004.
5. Добротин С.А., Прокопчук Е.Л. Синтез системы упреждающего управления процессом подачи тепла на отопление здания // Проблемы региональной энергетики. 2011. № 2. С. 53-65.
6. Солдатенков А.С., Потапенко А.Н., Глаголев С.Н. Исследование математической модели управления автоматизированным индивидуальным тепловым пунктом с типовыми регуляторами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. № 1 (2). Том 14. С. 679–684.
7. Broman D., Fritzson P. Higher-order acausal models // 2-nd International workshop on equation-based object-oriented languages and tools. Paphos, Cyprus, July 8, 2008. P. 59–69.