

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

О.Ю. Марьясин, А.А. Огарков (Ярославль)

В области жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) постоянно происходят большие энергетические потери. Только на энергоснабжение жилых, промышленных и общественных зданий расходуется около 35% потребляемых в России энергетических ресурсов. При этом потенциал энергосбережения в области ЖКХ составляет более 30%, из которых до 70% приходится на здания и сооружения [1].

Системы освещения большинства административных, офисных и общественных зданий построены по так называемой “классической” схеме. Применяемые для освещения здания светильники, работа которых регламентируется лишь вручную (посредством стандартных клавишных выключателей) нередко светят не тогда, когда это необходимо, а на протяжении всего дня и, как следствие, создают дополнительный перерасход электроэнергии на освещение здания. При этом отсутствует анализ освещенности помещений естественным светом через оконные проемы, нет мониторинга человекопотока на лестницах, в коридорах, санузлах и у подъезда здания.

Индивидуальные тепловые пункты (ИТП), широко внедряемые сегодня при строительстве новых и реконструкции старых зданий, действительно позволяют сэкономить значительное количество тепла за счет учета изменения температуры воздуха снаружи здания и даже учесть индивидуальные характеристики здания. Но множество факторов, влияющих на температуру внутри помещений, таких как инфильтрация наружного воздуха, солнечная радиация, производственные и бытовые тепловыделения, остаются неучтенными, что приводят к отклонению температурного режима помещений от требуемого.

Современная система управления инженерным оборудованием здания, включающая в себя множество технических устройств, а также взаимодействующих с ней людей, представляет собой сложную человеко-машинную систему. Определение допустимой или тем более оптимальной структуры, состава и значений характеристик такой сложной системы невозможно без проведения исследований различных режимов функционирования входящих в ее состав подсистем и всей системы в целом. Так как проведение натуральных экспериментов на действующей системе является весьма затратным, а часто вообще невозможным, то для этого необходимо использовать компьютерное имитационное моделирование.

Для анализа энергопотребления и функционирования инженерного оборудования здания авторами была разработана компьютерная модель в системе AnyLogic [2]. Одна из основных причин, по которой была выбрана система AnyLogic, – это то, что она включает пешеходную библиотеку для моделирования движения людей в физическом пространстве. В моделях, созданных с помощью пешеходной библиотеки, пешеходы движутся в пространстве, реагируя на различные виды препятствий в виде стен и других пешеходов. Пешеходная библиотека AnyLogic позволяет наглядно визуализировать моделируемый процесс с помощью анимации, исследовать функционирование системы при различном уровне человекопотока и определять время пребывания людей в каких-то определенных участках модели.

Основанием для разработки модели послужила разработка и обоснование плана энергосберегающих мероприятий при составлении программы энергосбережения Ярославского государственного технического университета. В основе разработанной авторами компьютерной модели лежит поэтажный план реального офисного здания, принадлежащего ЯГТУ. Современное здание включает множество подсистем инженерного оборудования, каждая из которых характеризуется достаточно большим набором контролируемых параметров и сигналов управления. Основными из них, с точки зрения энергосбережения, являются: система управления электроснабжением, включая систему освещения; система

управления отоплением, вентиляцией и кондиционированием (ОВК, или HVAC, как ее называют на западе).

Для повышения энергосбережения в системе электроснабжения планировалось:

- оснастить коридоры и лестничные клетки датчиками движения или присутствия для управления энергосберегающими светильниками;
- в помещениях здания предусмотреть управление группами энергосберегающих светильников от датчиков освещенности;
- регулировать время или мощность работы инженерного оборудования (насосов, вентиляторов) в системе ОВК;
- контролировать энергопотребление по каждому помещению (группе помещений) и по всему зданию с целью определения потребления электроэнергии каждым из арендаторов, выявления неэффективного электрооборудования, максимальных пиков электропотребления и предотвращения срабатывания аварийной защиты.

Для повышения комфортности пребывания людей и обеспечения энергосбережения в системе ОВК планировалось:

- поддерживать заданный микроклимат в помещениях с учетом внешних метеорологических условий, влияния инфильтрации, солнечной радиации, производственных и бытовых тепловыделений (в том числе от людей, системы освещения, включенных электроприборов и т.д.);
- поддерживать качество воздуха внутри помещений, не допускать превышение уровня CO₂ выше предельно допустимого.

Рассмотрим реализацию перечисленных мероприятий по энергосбережению в компьютерной модели здания. На рис. 1 представлен фрагмент компьютерной модели в процессе имитации, поясняющий реализацию перечисленных мероприятий по энергосбережению. Здесь показан план 1-го этажа здания, включающий помещения и главный коридор. При моделировании рассматривались только те помещения, в которых люди находятся постоянно или продолжительное время.

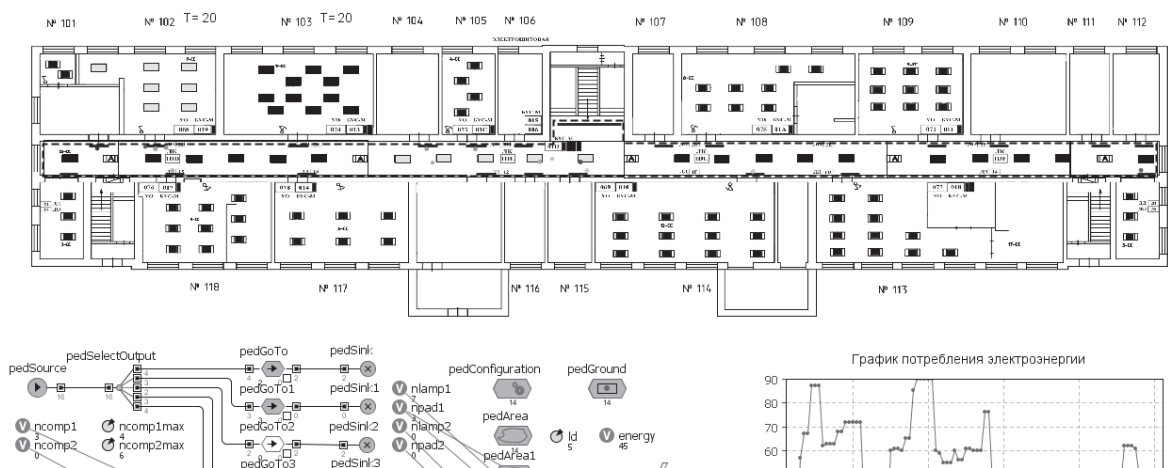


Рис. 1. Фрагмент модели в процессе имитации в системе AnyLogic

Вся область главного коридора, по которой движутся пешеходы, разделена на зоны. Каждой зоне соответствует своя группа светильников, управляемая от одного контроллера освещения. При попадании пешеходов в зону срабатывает датчик движения и зажигается соответствующая группа светильников. Горение светильников продолжается в течение интервала времени задержки или пока в зоне действия датчика движения не появятся новые пешеходы.

При попадании первого человека в помещение в нем, в зависимости от интенсивности наружного естественного освещения, включается внутреннее освещение. Система внутреннего освещения может состоять из несколько групп светильников. Число одновременно включенных групп также зависит от интенсивности наружного освещения. Диммирование светильников в настоящей модели не рассматривалось из-за его более сложной технической реализации на практике.

Рассмотренные выше функции моделировались с помощью средств пешеходной библиотеки AnyLogic и программирования на языке Java.

Пешеходы, попавшие в помещения, могут задерживаться там на различное время. Некоторые из них задерживаются надолго (штатные работники), другие на короткое время (посетители). Внутри помещения работники могут включать различные офисные (компьютеры, копировальные аппараты и т.д.) или бытовые (чайники, кулеры и т.д.) электроприборы. Включение электроприборов моделируется с помощью простых диаграмм состояний (рис. 2). Данная диаграмма включает начальное состояние, соответствующее отсутствию людей в помещении, и состояния, соответствующие включению и выключению электроприборов. Количество включенных электроприборов и уровень их электропотребления зависит от помещения и типа электроприборов.

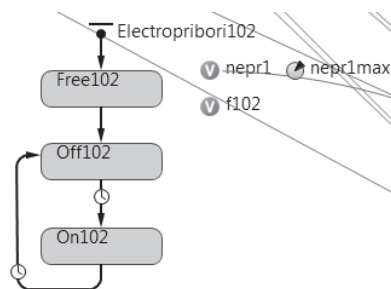


Рис. 2. Пример диаграммы состояния включения электроприборов

Моделирование микроклимата в помещениях основано на уравнениях теплового и материального баланса. Динамика микроклимата помещения может быть описана системой дифференциальных уравнений [3]:

$$dT_i/dt = -\gamma_e T_i + \gamma_e T_E + \gamma q + \gamma q_i + \gamma q_r + \gamma n_h q_h + \gamma n_p q_p + \gamma n_e q_e, \quad (1)$$

$$dC_i/dt = -\mu G_i C_i + \mu G_i C_E + \mu n_h m_h, \quad (2)$$

где T_i – температура в i -м помещении; $i=1, \dots, n$, T_E – температура наружного воздуха; C_i – концентрация CO_2 в i -м помещении; C_E – концентрация CO_2 в наружном воздухе; γ_e , γ , μ – коэффициенты, зависящие от свойств воздуха, материалов ограждающих конструкций и геометрических размеров помещений; q – тепло, получаемое от системы отопления, q_i – тепло (холод) от инфильтрации; q_r – тепло от солнечной радиации, n_h , n_p , n_e – число людей, включенных светильников и электроприборов офисного и бытового назначения; q_h , q_p , q_e – тепловыделения от людей, включенных светильников и электроприборов; G_i – расход воздуха в помещении, m_h – количество CO_2 выделяемое одним человеком за единицу времени.

Моделирование уравнений (1) и (2) для каждого помещения производится с помощью палитры компонентов “Системная динамика” системы AnyLogic. Пример модели микроклимата для одного помещения показан на рис. 3.

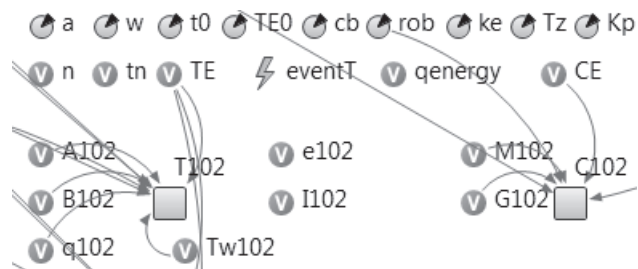


Рис. 3. Пример модели микроклимата для одного помещения

Система ОВК должна регулировать расход тепла q от отопительных приборов (радиаторов, конвекторов) и расход свежего воздуха G_i так, чтобы обеспечить требуемый микроклимат в помещениях. При этом необходимо добиваться экономии тепла и электроэнергии, потребляемой при работе оборудования системы ОВК. Это возможно за счет использования специальных законов автоматического управления микроклиматом и периодического, когда это возможно, отключения или снижения мощности климатического оборудования (насосов, вентиляторов).

С разработанной компьютерной моделью были проведены численные эксперименты для различных значений параметров модели. Модель позволяет исследовать зависимость энергопотребления от интенсивности человекопотока в коридорах и на лестничных клетках, числа людей в помещениях, количества включенных светильников и электроприборов, внешних метеорологических факторов, применяемых алгоритмов автоматического управления и т.д. Полученные в результате выполнения одного из экспериментов графики расхода электроэнергии (кВт/с) и тепла (кКал/с) показаны на рис. 4.

Разработанная модель позволяет также определять оптимальные параметры настройки инженерного оборудования здания, такие как величина интервала времени задержки горения светильников после срабатывания датчиков движения. Чем больше время задержки, тем больше затраты электроэнергии на освещение коридоров. В то же время малая величина задержки приводит к частым переключениям светильников, что снижает их срок службы и может привести к ситуации, когда люди остановившись или не успев покинуть зону, могут остаться в темноте. Поэтому следует найти такое значение времени задержки, которое будет минимизировать энергопотребление и в то же время приводить к возникновению минимального дискомфорта у людей, связанного с выключением света.

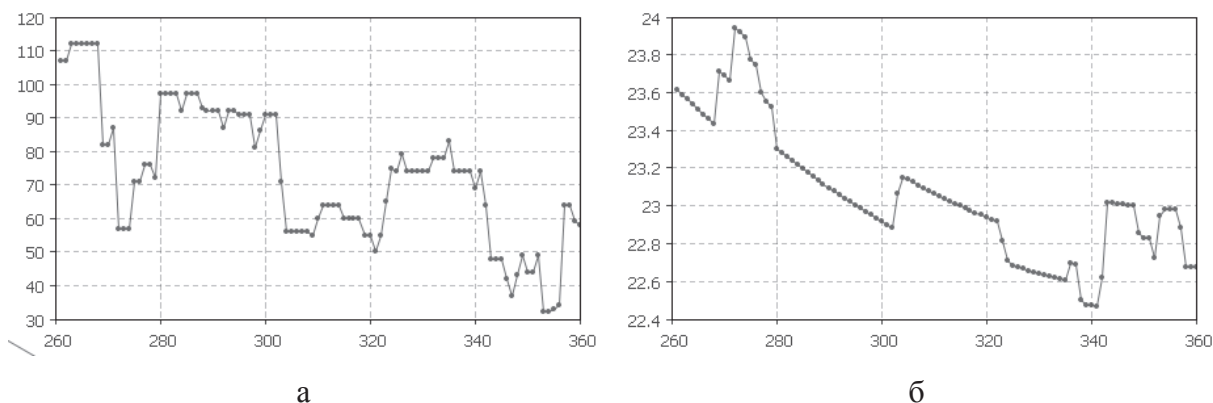


Рис. 4. Графики расхода: а – электроэнергии, б – тепла

Недостатком предложенной компьютерной модели является жесткая привязка к плану конкретного здания, при изменении которого нужно изменять разметку пространства для пешеходов, а также число и расположение других элементов модели, привязанных к плану здания.

Выводы

Проведенные исследования показали полезность разработанной компьютерной модели, так как она позволяет учесть большое количество факторов, включая стохастические, оказывающих влияние на функционирование здания, а также рассмотреть различные варианты реализации алгоритмов управления инженерным оборудованием зданий. В результате экспериментов установлено, что прямая экономия электроэнергии за счет использования энергосберегающей системы освещения и других мероприятий может достигать 25–30%, а экономия тепла при использовании энергоэффективных, погодозависимых алгоритмов управления теплоснабжением с учетом внутренних тепловыделений может достигать до 15–20%. Таким образом, подобная модель может использоваться на практике при планировании энергосберегающих мероприятий или при проведении энергетического обследования административных, офисных и общественных зданий.

Литература

1. Энергосбережение в ЖКХ / под. ред. Л. В. Примака, Л. Н. Чернышова. М.: Академический Проект; Альма Матер, 2011. 622 с.
2. AnyLogic – инструмент многоподходного имитационного моделирования. URL: <http://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 27.08.2017).
3. **Колодкина А.С., Огарков А.А., Марьясин О.Ю.** Комплексное моделирование переноса тепла, влаги и газовых примесей для управления микроклиматом в здании // Математика и естественные науки. Теория и практика : Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 10. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2015. С. 145–154.