



Искусственный интеллект в управлении теплоэнергопотреблением здания

Ю. А. Табунщиков, доктор техн. наук, членкор РААСН, заведующий кафедрой Московского архитектурного института, otvet@abok.ru

М. М. Бродач, канд. техн. наук, профессор Московского архитектурного института

Ключевые слова: управление, искусственный интеллект, математическая модель, оптимальные решения, теплоэнергопотребление

В статье изложена методология создания искусственного интеллекта для автоматизированных систем управления теплоэнергопотреблением здания на основе использования оптимальных решений задачи управления и самообучающихся математических моделей здания как единой теплоэнергетической системы.

Задача управления расходом энергии, затрачиваемой на отопление или охлаждение помещения, занимает центральное место в теории автоматизации систем управления установками кондиционирования воздуха. Особую значимость эта задача приобрела в настоящее время после появления цифровых технологий и в условиях, когда современная техника кондиционирования воздуха или отопления – вентиляции нуждается не в управлении вообще, а требует оптимального управления процессом расходования энергии [1–7].

Задача оптимального управления теплоэнергопотреблением относится по математической классификации к классу задач оптимального управления, решение которых в мировой практике было впервые разработано академиком Л. С. Понтрягиным и его учениками [8]. Сущность оптимального автоматического управления состоит в том, что оно не только

обеспечивает компенсацию возмущений, воздействующих на объект управления, но и стремится к нахождению наилучшего оптимального решения.

Однако для сегодняшнего развития техники и технологий математическое оптимальное решение управления теплоэнергопотреблением зданий является недостаточным. Дело в том, что математическая модель, по которой осуществляется расчет оптимального теплоэнергопотребления, в любом случае только приближенно соответствует объекту. Повышение адекватности математической модели своему объекту возможно на основе использования для управления так называемого искусственного интеллекта.

Наука под названием «искусственный интеллект» входит в комплекс компьютерных наук, а создаваемые на ее основе технологии – к информационным технологиям. Возможно следующее определение

искусственного интеллекта: искусственный интеллект – способность системы в ходе самообучения создавать модели управления более совершенного класса.

В теории автоматических систем управления имеют место понятия обучения и самообучения [9]. Здесь будем понимать под этими понятиями следующее их содержание.

Под обучением математической модели будем подразумевать процесс выработки в этой модели той или иной реакции на внешние сигналы путем многократного воздействия на математическую модель и ее внешней корректировки. Разумеется, при этом математическая модель предполагается потенциально «способной» к обучению.

Самообучение математической модели отличается от обучения отсутствием внешней корректировки математической модели. Самообучение – это обучение без поощрения или наказания. Дополнительная информация о верности реакции математической модели не сообщается.

Таким образом, можно решить задачу создания на основе оптимальных решений и самообучающихся математических моделей систему искусственного интеллекта для управления теплоэнергопотреблением здания и помещений. Ее решение предполагает выполнение следующих этапов.

1. Разработка математической модели теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы, которая в наибольшей степени соответствует основным составляющим теплового баланса объекта. При этом могут иметь место три класса математических моделей с распределенными, частично-распределенными или сосредоточенными параметрами внутреннего теплового режима здания.

2. Разработка метода реализации полученной математической модели теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы.

3. Идентификация математической модели теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы, т.е. этап определения по реализации входных и выходных переменных, полученных в условиях функционирования объекта, неизвестных или приближенно заданных параметров модели.

4. Решение задачи оптимального управления расходом энергии, затрачиваемой на отопление или охлаждение помещений зданий.

5. Создание системы самообучения математической модели, т.е. искусственного интеллекта в структуре автоматизированной системы управления теплоэнергопотреблением.

Кратко рассмотрим особенности реализации перечисленных выше этапов. Математическая модель

Система искусственного интеллекта для управления теплоэнергопотреблением здания и помещений основывается на оптимальных решениях и самообучающихся математических моделях.

для управления расходом энергии, затрачиваемой на отопление или охлаждение помещений здания, должна учитывать принципиальные особенности процессов теплообменов в помещении, т.е. в зависимости от этих особенностей математическая модель может быть моделью с распределенными, или частично распределенными, или сосредоточенными параметрами. Большинство практических случаев, к которым относятся помещения офисных или жилых зданий, могут с необходимой точностью использоваться как математические модели с сосредоточенными параметрами, а для залов, например, плавательных бассейнов необходимо использовать математическую модель с частично распределенными параметрами. Математическая модель должна позволять рассчитывать расход энергии для данного момента времени с высокой точностью, а также иметь возможность прогнозировать изменение расхода энергии с учетом изменения параметров наружного климата. Научные основы разработки математической модели здания как единой теплоэнергетической системы, метода ее реализации, а также предложенный по ее идентификации приведены в работе [1].

Задача оптимизации расхода энергии для компенсации возмущающих тепловых воздействий с целью обеспечения поддержания теплового режима помещения на требуемом уровне может быть рассмотрена как задача оптимального управления и имеет следующую формулировку: найти такое управление расходом энергии $Q(t)$ и такое решение системы уравнений теплового баланса данного помещения здания как единой энергетической системы, удовлетворяющее начальным условиям, для которых функционал

$$W = \int_{t_0}^{t_1} Q(t) dt$$

принимает наименьшее возможное значение.

Пусть $T_{R,st}$ будет начальное (при $t = t_0$), а $T_{R,end}$ – конечное (при $t = t_1$) значение температуры внутреннего воздуха. Функцию $Q(t)$, определенную на отрезке $[t_0, t_1]$, будем называть управлением. Управление $Q(t)$ называется допустимым, если функция $Q(t)$ кусочно непрерывна на отрезке $[t_0, t_1]$ и ее значения не выходят за пределы некоторого множества U . Очевидно, что всякое допустимое управление ограничено.

Умные технологии должны быть мыслящими. Повышение адекватности математической модели своему объекту возможно на основе использования для управления так называемого искусственного интеллекта.

Управление $Q(t)$, дающее решение поставленной задачи, называется оптимальным управлением, соответствующим переходу от начальной температуры $T_{R.st}$ к конечной температуре $T_{R.end}$, а соответствующая траектория изменения температуры объекта $T_R(t)$ – оптимальной траекторией.

Решение задачи оптимального управления теплоэнергопотреблением дало следующие результаты:

1. Минимизация затрат энергии на разогрев или охлаждение помещения достигается в том случае, если время перехода от начальной температуры помещения до требуемой конечной температуры помещения минимально (принцип «Максимальное быстроедействие»).
2. Разогрев или охлаждение помещений необходимо начинать с разогрева или охлаждения наиболее теплоемких составляющих теплового баланса помещения.
3. Для того чтобы управление расходом энергии было оптимальным, необходимо стремиться к тому, чтобы первое и второе, изложенные выше положения выполнялись одновременно.

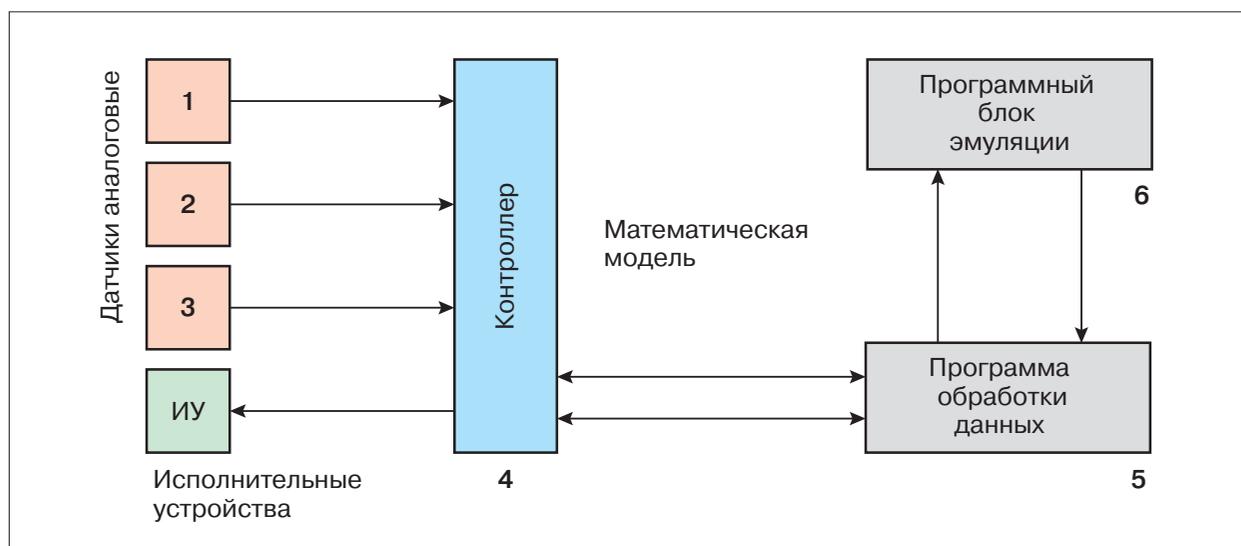
Поставленная цель создания системы самообучения достигается тем, что система управления теплоэнергопотреблением, содержащая: датчики микроклимата, датчики параметров, характеризующих формирование микроклимата, датчики внешних

метеоусловий, связанные через контроллер ввода/вывода данных с программой обработки данных, управляющей, в свою очередь, через контроллер исполнительными устройствами, дополнительно содержит программный блок-эмулятор показаний датчиков внешних метеоусловий, передающий смоделированные показания датчиков в программу обработки данных.

На рисунке показана функциональная схема управления теплоэнергопотреблением.

Система содержит: датчики микроклимата 1, датчики параметров технологических процессов 2, датчики внешних метеоусловий 3, исполнительные устройства (ИУ), контроллер ввода/вывода данных 4, программу обработки данных 5, программный блок-эмулятор показаний датчиков внешних метеоусловий, передающий смоделированные показания датчиков в программу обработки данных 6.

Система работает следующим образом. Процесс управления разделен на циклы равной продолжительности. В начале каждого цикла производится последовательный опрос датчиков. Программа обработки данных через контроллер опрашивает датчик и получает его показатель. Время, затрачиваемое на преобразование и ввод измерительной информации в программу обработки данных 5, значительно меньше периода колебаний в управляемом процессе. Поэтому вся измерительная информация одного цикла вводится практически одновременно. После того как вся измерительная информация передана в запоминающее устройство, в течение некоторого времени программа обработки данных 5 производит обработку поступивших данных и расчет необходимых



■ Функциональная схема управления теплоэнергопотреблением

управляющих сигналов. Затем управляющий сигнал от контроллера к исполнительным устройствам вырабатывает на них величину управляющего воздействия, которая сохраняется неизменной на протяжении данного цикла управления.

Затем обработанная и обобщенная измерительная информация о ходе процесса и состоянии технологического оборудования передается программой обработки данных на запоминающее устройство и на необходимые периферийные устройства. После чего система переходит в состояние ожидания либо к выполнению вспомогательных расчетов, которые могут прерываться без нарушения программы и промежуточных результатов на время очередного цикла управления.

В начальный период эксплуатации системы время между циклами управления используется для самообучения системы, которое осуществляется следующим образом.

К программе обработки данных 5 подключается программный блок математической модели теплового режима помещения. На период между циклами управления программа обработки данных 5 включает программный блок-эмулятор показаний датчиков внешних метеоусловий 6.

Работа системы во время обучения происходит так же, как и во время управления, с той лишь разницей, что входную информацию система получает от программного блока-эмулятора показаний датчиков внешних метеоусловий 6, а выходную передает программному блоку, моделирующему формирование микроклимата.

После того как на очередной модели формирования микроклимата обучение заканчивается, в программу обработки данных 5 вводится более сложная модель формирования микроклимата и система, используя накопленные данные, обучается на этой модели. После того как система начинает достаточно быстро переходить от одной математической модели формирования микроклимата к другой, процесс обучения на моделях заканчивается и система переводится в режим обучения на реальном объекте. Время обучения сокращается за счет того, что в период обучения на моделях частота циклов управления увеличивается на два порядка.

Методология самообучения математической модели представляет отдельную математическую задачу. Ее решению и реализации посвящено большое количество работ. В основу математического аппарата для самообучающихся математических моделей оказалось возможным и удобным положить вероятностные интерактивные методы,

и в частности методы стохастической аппроксимации. Формально этот аппарат подобен аппарату метода итераций [9].

Таким образом, изложенная выше методология создания искусственного интеллекта для автоматизированных систем управления теплоэнергопотреблением зданий принципиально развивает научные основы задачи управления расходом энергии, затрачиваемой на отопление или охлаждение здания, а результаты ее применения на практике обеспечат значительный эффект экономии топливно-энергетических ресурсов.

Литература

1. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2015.
2. Табунщиков Ю. А., Бернер М. С. Опыт реконструкции системы теплоснабжения промышленных зданий с целью минимизации теплотребления // Энергосбережение. – 2008. – № 2.
3. Total energy use in buildings: Analysis and evaluation methods, Final report of Annex 53 // International Energy Agency, Programme on Energy in Buildings and Communities. – 2014–11.
4. Mahdavi A. Observation-based models of user control actions in buildings / Ardeshir Mahdavi and Claus Pröglhöf / 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008 // PLEA. – 2008.
5. Алешин Е. А. Энергосберегающая автоматизированная система управления тепловыми режимами в закрытых тепловых сетях зданий в условиях неопределенности: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Челябинск, 2003.
6. Цынаева Е. А. Моделирование динамических режимов и исследование автоматизированных систем управления теплотреблением зданий: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Ульяновск, 2008.
7. Степанов В. М., Сергеева Т. Е. Анализ математических моделей теплообменных процессов зданий для формирования управляющих воздействий электромеханической системы // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2015. – Вып. 12. – Ч. 2.
8. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимизации процессов. М.: Физматгиз, 1961.
9. Николенко С. И., Тулупьев А. Л. Самообучающиеся системы. М.: МЦНМО, 2009. 288 с. [□](#)