

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

IT-технологии, самообучающиеся математические модели, жилые и общественные здания, научные основы создания искусственного интеллекта

## ПРОРЫВНЫЕ IT-ТЕХНОЛОГИИ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ И МИКРОКЛИМАТОМ ЗДАНИЙ

Ю. А. Табунщиков, доктор техн. наук, президент НП «АВОК»

Задача определения управления расходом энергии, затрачиваемой на нагрев или охлаждение помещения, занимает одно из центральных мест в теории управления системами кондиционирования воздуха и отопления, но особую значимость приобрела в настоящее время, когда современная техника кондиционирования воздуха и отопления нуждается не в управлении вообще, а требует оптимального управления процессом расходования энергии.

### Системы управления на современном этапе

Задача разработки технологий управления теплоэнергетическими системами на основе самообучающихся математических моделей здания как единой теплоэнергетической системы относится к области программного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами, в данном случае – теплоэнергетическими теплопоступлениями от систем кондиционирования воздуха или отопления.

В последние годы все большее распространение стали получать системы управления энергопотреблением и микроклиматом зданий (отоплением, вентиляцией, кондиционированием воздуха), в которых осуществляется

непрерывная корректировка управляющего воздействия при учете фактических значений температуры помещения, наружной температуры, интенсивности солнечной радиации, температуры в подающей и обратной магистралях, введения в алгоритм управления оптимальных алгоритмов пуска и останова приводов вентиляторов и насосов и т.д.. Тем не менее, даже весьма совершенные коммерческие системы управления отпуском тепловой энергии на поддержание в помещении требуемой температуры не работают оптимальным образом: они не основываются на оптимальных алгоритмах, а математические модели здания, по которым осуществляется расчет теплоэнергопотребления, лишь приближенно соответствует объекту.

На современном этапе развития строительной индустрии требуется применение такой системы управления, которая была бы способна к самообучению и даже к имитированию, то есть предлагаются элементы искусственного интеллекта. Принципиальное свойство искусственного интеллекта – способность интеллектуальных систем выполнять творческие функции, принимать решения без участия человека (ЛПР – лица, принимающего решения). Это по существующим определениям следует отнести к прорывным технологиям – это технологии, предназначение которых не в том, чтобы развивать существующую и устоявшуюся базовую технологию, а в том, чтобы полностью сменить эту технологию и перевести ее на принципиально новый уровень.

### Умные технологии в системах управления

Существует два основных пути использования умных технологий искусственного интеллекта в системах управления теплопотреблением и микроклиматом зданий:

- использование самообучающихся оптимизационных математических моделей теплоэнергопотребления объекта как единой теплоэнергетической системы на основе теории оптимального управления;
- использования прорывных IT-технологий оптимизации и самообучения на основе непрерывной обработки больших массивов данных (Big Data) в режиме реального времени, а также нейросетей – искусственных нейронных сетей (ИНС, англоязычный термин – «artificial neural networks», ANN), математических моделей, построенных на принципах действия биологических нейронных сетей.

Преимуществом использования для управления самообучающихся оптимизационных математических моделей теплоэнергопотребления объекта по сравнению с существующими на данный момент в мировой практике методами управления состоит в том, что самообучающиеся оптимизационные математические модели позволяют обеспечить оптимальное управление расходом энергии, затрачиваемой на нагрев или охлаждение помещения на основе использования современных методов системного анализа, динамического программирования в соответствии с принципами выдающейся математической теории оптимального управления академика Л. С. Понтрягина.

### Сущность оптимального управления

Сущность оптимального управления состоит в том, что оно не только обеспечивает компенсацию возмущений, воздействующих на объект управления, но и стремится к нахождению наилучшего, оптимального решения. Всемирно известный «принцип максимума» сформулирован следующим образом: для многих управляемых систем может быть построен такой процесс регулирования, при котором состояние системы в каждый данный момент подсказывает наилучший с точки зрения всего процесса способ действий. Принцип максимума определяет математические условия, необходимые для того, чтобы управление оказалось оптимальным, причем без предварительного определения оптимальных параметров, а путем последовательного регулирования данного процесса.

### СПРАВКА

Впервые система управления большим производственным комплексом с использованием математического моделирования здания как единой теплоэнергетической системы была создана для московского автомобильного завода АЗЛК. Основные положения по созданию автоматической системы управления с использованием самообучающихся математических моделей опубликованы в монографии [1] и было получено авторское свидетельство [2]. В начале 1980-х годов была осуществлена реконструкция системы теплоснабжения АЗЛК как интеллектуального здания, которая обеспечила до 20 % экономии затрат энергии за отопительный период, что эквивалентно 70 вагонам угля в год, и была осуществлена без существенных капитальных вложений и остановки технологического производственного процесса; окупаемость мероприятий по реконструкции была обеспечена за 5,4 месяца.



## Особенности математических моделей, предназначенных для управления

Особенность самообучающихся оптимизационных математических моделей теплового режима и теплоэнергопотребления объекта, предназначенных для управления (по сравнению с моделями, используемыми при проектировании), состоит в том, что из-за программно-аппаратных ограничений на объем и скорость вычислений (необходимость вычислений в реальном времени при ограниченном быстродействии аппаратной части контроллера) математическая модель для управления должна одновременно обеспечивать высокую точность численного моделирования теплового режима, высокую скорость вычислений без высоких аппаратных требований.

Необходимость одновременного выполнения указанных требований может быть обеспечена за счет перехода от универсальной математической модели теплового режима и теплоэнергопотребления объекта к специализированной (предназначенной для использования в системах управления) математической модели.

## Методология создания оптимизационных математических моделей для управления

Методология создания самообучающихся оптимизационных математических моделей для управления теплоэнергопотреблением и микроклиматом включает в себя следующие этапы:

1) Разработка исходной (полной) математической модели теплового режима помещений жилых и общественных зданий, которая в наибольшей степени соответствует тепловому режиму помещений жилых и общественных зданий и содержит математическое описание процессов теплопередачи через ограждающие конструкции, учитывает выделение теплоты от людей, технологического оборудования и оргтехники, лучистый и конвективный теплообмен, воздухообмен и другие процессы, влияющие на тепловой баланс помещений.

2) Разработка метода реализации исходной математической модели теплового режима помещений жилых и общественных зданий.

3) Идентификация исходной математической модели теплового режима помещений жилых и общественных зданий, т.е. этап определения по реализации входных и выходных пере-

менных, полученных в условиях функционирования объекта, неизвестных или приближенно заданных параметров модели.

4) Разработка и идентификация рабочей (упрощенной) математической модели для управления теплоэнергопотреблением жилых и общественных зданий на основе сравнительных расчетов с исходной математической моделью теплового режима помещений здания, а также по результатам натуральных экспериментальных исследований, то есть этап определения по реализации входных и выходных переменных, полученных в условиях функционирования объекта, неизвестных или приближенно заданных параметров модели. Рабочая математическая модель теплоэнергопотребления жилых и общественных зданий позволяет при сокращении объемов вычислений не только не потерять точности моделирования теплового режима помещений жилых и общественных зданий, но и в результате использования экспериментальных данных повысить эту точность в сравнении с исходной математической моделью.

## Использование прорывных IT-технологий самообучения

Повышение адекватности математической модели управления тепловым режимом помещения связано не только с идентификацией ее к теплотехническим особенностям помещения и технологического процесса в нем, но также с учетом реакции помещения на внешние климатические воздействия. Так как период повторяемости внешних климатических воздействий составляет годы, то это создает большие трудности в задаче идентификации математической модели. Одним из путей решения этой задачи является использование прорывных IT-технологий самообучения на основе нейросетей – искусственных нейронных сетей. Главное преимущество искусственных нейронных сетей перед традиционными алгоритмами – это возможность обучения (искусственные нейронные сети не программируются в традиционном понимании, они обучаются). Область применения искусственных нейронных сетей – распознавание образов, управление в реальном времени, прогнозирование, оптимизация, что обуславливает высокую эффективность их использования в системах управления теплопотреблением и микроклиматом зданий.

Использование прорывных IT-технологий самообучения позволяет реализовать предиктивную (прогнозирующую) оптимальную стратегию управления на основе математической модели теплофизических характеристик здания, поведения пользователя и прогноза погоды за счет использования самообучающихся алгоритмов нейросетей. При этом алгоритм оптимального управления направлен на оптимизацию теплового комфорта при минимизации энергопотребления.

### Литература

1. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002.
2. Система управления микроклиматом. Авторское свидетельство № 3418101/29–06. ■

