



Оптимизация управления отпуском тепловой энергии с использованием искусственных нейросетей

М. М. Бродач, канд. техн. наук, профессор МАрХИ, ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»

Н. В. Шилкин, канд. техн. наук, профессор МАрХИ, ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»

В журнале «АВОК» № 4, 2019 г. была опубликована статья «Нейросети: возможности использования алгоритмов самообучения в системах управления теплоэнергопотреблением зданий». В продолжение темы рассмотрим стратегию управления отпуском тепловой энергии, в которой для прогнозирования теплового режима здания используется самообучение на базе нейросетей.

Предпосылки разработки системы

Управление отпуском тепловой энергии, затрачиваемой на поддержание в помещении требуемой температуры, в простейшем случае основано на использовании предварительно определенного температурного графика. Температурный график устанавливает зависимость температуры теплоносителя в подающей магистрали системы отопления от температуры наружного воздуха.

Такая концепция управления отпуском тепловой энергии не позволяет должным образом учесть изменение режима использования помещения, изменение наружных условий (в частности, изменение солнечной радиации при переменной облачности) и т.д. Эти обстоятельства обуславливают недостаточное управление отпуском тепловой энергии, что приводит, с одной стороны, к снижению теплового комфорта, а с другой – к перерасходу тепловой энергии из-за

возникновения перетопов. При этом система требует значительных усилий по вводу в эксплуатацию и для обслуживания.

Более совершенны системы управления с обратной связью: использование в системах управления коррекции по температуре воздуха в помещении повышает производительность контроллеров отопления. Тем не менее даже и такая расширенная концепция управления отпуском тепловой энергии на отопление не позволяет обеспечить оптимальное управление, поскольку и система нагрева теплоносителя, и система отопления, и само здание (его конструкции, мебель, предметы интерьера) обладают достаточно высокой инерционностью. Корректирующий отклик на мгновенное изменение теплового состояния здания поступает с большой временной задержкой.

В последние годы все большее распространение стали получать системы управления отоплением, вентиляцией и 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. 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. Между тем, как отмечал профессор Ю. А. Табунщиков, «современная техника кондиционирования воздуха или отопления – вентиляции нуждается не в управлении вообще, а требует оптимального управления процессом расходования энергии» [1].

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. Повышение адекватности математической модели своему объекту возможно на основе использования для управления так называемого искусственного интеллекта. Система искусственного интеллекта для управления теплоэнергопотреблением здания и помещений основывается на оптимальных решениях и самообучающихся математических моделях [1].

Концепция управления

Как было отмечено выше, в настоящее время наиболее распространенные концепции управления отпуском тепловой энергии соответствуют либо управлению, устанавливающему температуру в подающей магистрали контура отопления посредством предварительно определенного температурного графика (например, узел управления центральным водяным отоплением), либо управлению по результатам измерения температуры воздуха в помещении (например, комнатный контроллер). Более сложные системы управления отоплением используют оба метода посредством корректировки предварительно определенного температурного графика в соответствии с температурой воздуха в помещении и интенсивностью солнечной радиации. Дальнейшее совершенствование контроллеров отопления может осуществляться за счет непрерывной адаптации

— **Холодильные машины**
для систем кондиционирования и технологического охлаждения

- с воздушным охлаждением, 5—1800 кВт
- free cooling, 41—1700 кВт
- с водяным охлаждением, 87—2400 кВт

— **Тепловые насосы**

- воздух – вода, 4—1160 кВт
- вода – вода, 5—2400 кВт

— **Системы нагрева и охлаждения воды**

Решения для одновременного производства холодной и горячей воды, 33—850 кВт

— **Крышные кондиционеры**
23—468 кВт

— **Прецизионные кондиционеры**

- с непосредственным охлаждением и на охлаждающей воде
- охлаждающие блоки со стеллажами
- охлаждающие дверные блоки
- моноблочные системы для внутренней и наружной установки

JAPAN

Реклама

 **CLIMAVENETA**
SUSTAINABLE COMFORT

A Group Company of



aircon@mer.mee.com

параметров температурного графика в алгоритме оптимального включения/выключения отопительного оборудования. На практике эти функции применяются очень мало, в том числе и из-за достаточно громоздкой и трудоемкой настройки при выполнении пусконаладочных работ в процессе ввода в эксплуатацию.

Для разработки концепции оптимального управления обязательным условием является математическое моделирование – математическое описание физической системы, в данном случае теплового режима здания. Эта задача наиболее полно решена Ю. А. Табунщиковым и описана в [2] и ряде других работ.

Требования к математическим моделям теплового режима помещений, предназначенным для использования в системах управления, отличаются по сравнению с требованиями к математическим моделям, предназначенными для проектирования [2, 3]. Повышение адекватности математической модели управления тепловым режимом помещения связано с идентификацией¹ ее к теплотехническим особенностям помещения, технологического процесса в нем, режима использования (в том числе поведения пользователей), реакции на внешние климатические воздействия. Поскольку, например, период повторяемости внешних климатических воздействий составляет годы, то это создает большие трудности в решении задачи идентификации математической модели. Одним из путей решения этой задачи является использование самообучающейся математической модели.

Одной из возможностей реализации самообучения в системах управления теплоэнергопотреблением зданий является использование нейросетей – искусственных нейронных сетей (ИНС, англоязычный термин – artificial neural networks, ANN). Основные принципы работы искусственной нейронной сети описаны в [3].

Искусственная нейронная сеть работает как модель «черного ящика», не требуя предварительной информации о некоторой подсистеме. Вместо этого ИНС может извлекать ключевые информационные шаблоны и нелинейные характеристики в многомерных информационных областях. Способность изучать характеристики здания и системы здания – особенность ИНС, представляющая особую ценность для системы управления отпуском тепловой энергии.

Особенностью выбора стратегии оптимального управления является определение целевой функции, которая должна быть оптимизирована (минимизирована или максимизирована). Для задач оптимального управления, связанных с нестационарными процессами, часто используется некоторая интегральная целевая функция, поскольку процесс должен быть оптимизирован в течение определенного временного интервала. В данном случае при оптимальном управлении отпуском тепловой энергии целевой функцией будут затраты тепловой энергии, которые требуется минимизировать, и «штраф» за температуру в помещении, которая не соответствует заданной. **Целью оптимальной стратегии управления является определение оптимального графика отпуска тепловой энергии, обеспечивающего минимальные затраты при сохранении условий теплового комфорта.**

Чтобы обеспечить оптимальное управление отпуском тепловой энергии, здание должно рассматриваться как единая энергетическая система, которая старается максимально использовать энергетическое воздействие наружного климата для снижения энергопотребления здания [4]. Очевидно, что наружный климат не всегда способен обеспечить требуемое количество тепловой энергии для поддержания необходимого уровня комфорта в здании. Существует множество способов, архитектурных и инженерных решений, посредством которых энергетические возможности наружного климата могут быть использованы наилучшим образом.

Один из таких способов – аккумулирование тепловой энергии в теплотехнически массивных элементах конструкции здания (стенах, плитах перекрытия, фундаментах и т.д.). Но в этом случае возникает требование к использованию системы управления, которая могла бы прогнозировать тепловой режим здания и использовать этот прогноз для максимизации вклада наружного климата в поддержание комфортных условий в помещении (и, соответственно, минимизации энергопотребления). Такая система управления должна быть в состоянии заранее определить действия по управлению отпуском тепловой энергии, поскольку здание обладает достаточно большой тепловой инерцией. Для этого необходимо прогнозировать температуру в помещении, что, в свою очередь, потребует прогноза характеристик наружного

¹ По определению Ю. А. Табунщикова идентификация – экспериментальный метод конкретизации математической модели теплового режима помещения по входным и выходным сигналам объекта.

климата (включая температуру наружного воздуха и интенсивность солнечной радиации), а также режима использования помещения, включая прогноз поведения пользователя.

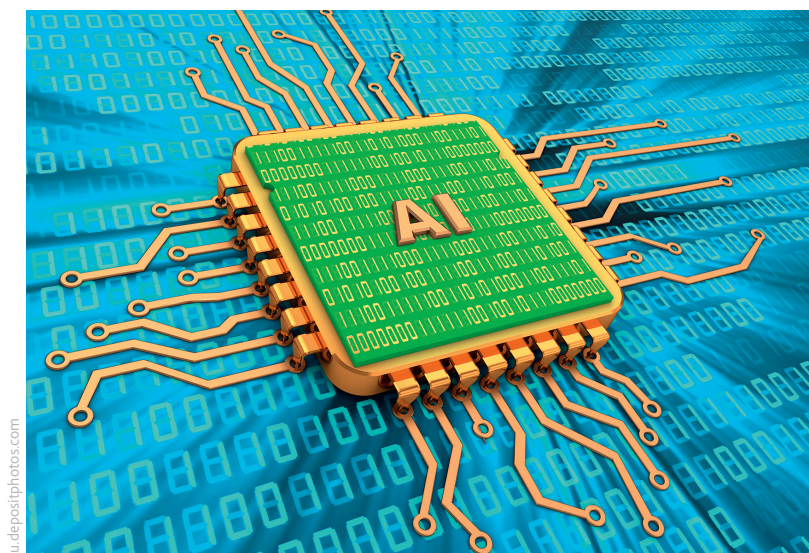
Выбор стратегии оптимального предиктивного управления отпуском тепловой энергии на основе нелинейного моделирования теплового режима здания с учетом поведения пользователей и прогноза изменения климатических (погодных) условий обеспечивает оптимальный учет в тепловом балансе здания внутренних бытовых и технологических тепловыделений, теплопоступлений с солнечной радиацией, что позволяет исключить перетопы и снизить таким образом потребление энергии.

Контроллер для управления системой отопления

В качестве примера практической реализации алгоритмов самообучения на основе использования нейросетей рассмотрим разработанный швейцарскими специалистами самообучающийся контроллер управления отоплением NEUROBAT. Алгоритм работы контроллера был разработан и протестирован как совместный проект между CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique – ведущая организация), инженеринговой компанией ESTIA Ltd, промышленным партнером SAUTER и LESO-PB (Solar Energy and Building Physics Laboratory, Швейцария).

NEUROBAT – контроллер для управления системой отопления, в котором для оптимального управления теплотреблением реализуются предиктивные (прогнозирующие) и адаптивные алгоритмы, таким образом в данном контроллере реализуются самообучающиеся элементы искусственного интеллекта. Самообучение реализуется на основе искусственных нейронных сетей, которые позволяют адаптировать изначально заложенную модель управления к реальным условиям: к изменению параметров наружного климата, характеристикам здания, поведению пользователей.

Выбор стратегии предиктивного управления на основе нелинейного моделирования характеристик здания, поведения пользователя и прогноза погоды позволяет контроллеру NEUROBAT обеспечивать оптимальный тепловой комфорт при минимальном энергопотреблении. Еще одно преимущество использования самообучающихся нейронных алгоритмов – значительное сокращение времени ввода данного контроллера в эксплуатацию.



Результаты испытаний на реальном объекте показали сокращение энергопотребления на 13 % при поддержании оптимальных комфортных условий пользователя по сравнению с достаточно совершенным коммерческим комнатным контроллером. На следующем этапе был разработан промышленный образец и проведены сравнительные испытания в жилом здании в швейцарском Базеле. Качественная оценка показала преимущества ввода контроллера в эксплуатацию в соответствии с известным в мире персональных компьютеров принципом «Plug and Play» (дословно – «Вставь и играй») – для его установки и запуска требуются минимальные усилия.

Проводятся работы по индустриализации проекта – создание коммерческой системы управления на основе самообучающихся нейросетевых алгоритмов. [a](#)

В следующем номере будут рассмотрены блок-схема контроллера и алгоритм его работы.

Литература

1. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Искусственный интеллект в управлении теплоэнергопотреблением здания // АВОК. – 2018. – № 8.
2. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002.
3. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Нейросети: возможности использования алгоритмов самообучения в системах управления теплоэнергопотреблением зданий // АВОК. – 2019. – № 4.
4. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003.