

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»



РОСАТОМ

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ КОРПОРАЦИИ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ («РОСАТОМ»)

МАТЕРИАЛЫ

IV МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОФИЗИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ



МОСКВА, 21-25 ОКТЯБРЯ 2024 ГОДА

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



Москва

Издательство МЭИ

2024

УДК 536.2
ББК 22.365
С 56

Рецензенты: заместитель директора Научно-исследовательского института энергетического машиностроения (НИИ ЭМ) В.И. Крылов;
Руководитель научно-учебного комплекса «Энергомашиностроение»
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана» А.А. Жердев

С 56 Материалы IV Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (СПТЭ). Москва, 21-25 октября 2024 г. – М.: Издательство МЭИ, 2024. – 460 с.

ISBN 978-5-7046-3072-2

В сборнике публикуются материалы IV Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (СПТЭ-2024), прошедшей в Москве с 21 по 25 октября 2024 года.

Конференция нацелена на обмен информацией по различным проблемам теплофизики и энергетики; анализ современных тенденций в науке, технике и технологиях; обсуждение достижений; изучение полученных экспериментальных и численных результатов; предложение новых идей и концепций.

Научная тематика конференции – гидродинамика и тепломассообмен; физика плазмы и плазменные технологии; изучение свойств веществ в теплофизике; повышение эффективности, надежности и безопасности работы теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС, цифровизация энергетики.

Сборник предназначен для участников конференции, материалы конференции могут быть полезны широкому кругу специалистов, преподавателям, научным сотрудникам, студентам и аспирантам.

УДК 536.2
ББК 22.365

Издано в авторской редакции

ISBN 978-5-7046-3072-2 © Коллектив авторов, 2024
© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2024

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- Министерство науки и высшего образования РФ
- Российская академия наук
- Национальный комитет РАН по тепломассообмену
- Национальный исследовательский университет «МЭИ»
- Институт тепловой и атомной энергетики НИУ «МЭИ»

НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ

Председатели научного комитета:

Алексеев С.В., академик

Филиппов С.П., академик

Члены научного комитета:

Алифанов О.М., академик

Будаев В.П., профессор

Буров В.Д., профессор

Вараксин А.Ю., член-корр. РАН

Гаряев А.Б., профессор

Дектерев А.А., профессор

Деревич И.В., профессор

Дмитриев С.М., профессор

Ильгисонис В.И. член-корр. РАН

Исаев С.А., профессор

Клименко А.В., академик

Клименко В.В., академик

Комов А.Т., профессор

Крюков А.П., профессор

Кузма-Кичта Ю.А., профессор

Кузнецов В.В., профессор

Кузнецов Г.В., профессор

Маркович Д.М., академик

Мильман О.О., профессор

Митрофанова О.В., профессор

Ольховский Г.Г., член-корр. РАН

Павленко А.Н., член-корр. РАН

Пенязьков О.Г., академик НАН Беларуси

Петров О.Ф., академик

Петрунин В.В., профессор

Покусаев Б.Г., член-корр. РАН

Попов И.А., профессор

Рогалев Н.Д., профессор

Росляков П.В., профессор

Рыжков С.В., профессор

Сапожников С.З., профессор

Сергеев В.В., член-корр. РАН

Синкевич О.А., профессор

Смирнов Е.М., профессор

Соловьев С.Л., профессор

Станкус С.В., профессор

Стенников В.А., академик

Стрижак П.А., профессор

Терехов В.И., профессор

Тугов А.Н., профессор

Фрик П.Г., профессор

Шеремет М.А., профессор

Ягов В.В., профессор

Яньков Г.Г., профессор

Jiang P.X., академик, Китай

Петров О.Ф., академик

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Дедов А.В.

Члены оргкомитета: Герасимов Д.Н., Дудолин А.А., Захаренков А.В.,
Листратов Я.И., Мезин С.В., Пузина Ю.Ю.,
Хвостова М.С., Шацких Ю.В.

Ученый секретарь: Селянинова Т.Ю.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ СИСТЕМАМИ ВЕНТИЛЯЦИИ ОБЪЕКТОВ МАССОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДА МОСКВЫ

ВВЕДЕНИЕ

Система теплоснабжения здания имеет основной функцией непрерывную подачу тепловой энергии заданных параметров. Теплота, поступающая из внешнего источника, подается в здание через индивидуальный тепловой пункт (ИТП) [1]. Для повышения эффективности система автоматизации подсистем вентиляции, ГВС и отопления должна опираться не только на температуру теплоносителя в обратном трубопроводе, но и выполнять расчёты спроса в зависимости от условий функционирования объекта. В рамках этой статьи рассмотрены особенности расчёта теплового баланса школы и возможности прогнозирования спроса на тепловую энергию.

2. ОПИСАНИЕ

Тепловая нагрузка потребителей значительно изменяется в зависимости от времени суток, погодных условий, тепловлажностных режимов отапливаемых помещений, режима работы оборудования и других факторов. Для обеспечения эффективной работы системы необходимо осуществлять ее регулирование на основе принципа связности. При несвязном варианте регулируется каждая нагрузка в отдельности с учетом неравномерности потребления, на абонентские вводы подается требуемое в данный момент количество теплоты. Наиболее распространенный вариант систем отопления и вентиляции в зданиях школ Москвы представляет собой систему воздушного отопления, выполняющую также функции вентиляции.

К достоинствам этого типа отопления относятся: большая гибкость в управлении при изменении нагрузки, относительно невысокие капитальные затраты на устройство системы. Недостатками этого варианта являются: пониженная (в сравнении с водяной системой) надежность системы отопления здания.

Система управления центральных воздушонагревателей с принудительной подачей воздуха является ответственной системой, способной работать в течение всего отопительного сезона. Применение системы автоматического управления позволяет соблюсти уровень подачи тепловой энергии в объект на основе несвязного качественно-количественного регулирования. Дополнительное применение алгоритмов прогнозирования позволяют повысить энергетическую эффективность

объекта; повысить точность регулирования нагрузок системы теплоснабжения здания; улучшить экологические показатели объекта за счёт снижения величины теплового загрязнения; оптимизировать затраты на теплоснабжение.

3. ТЕСТИРОВАНИЕ

Исследуемым объектом являются школа в г. Москва, построенная по типовому проекту 65-426/1.

Данная серия была выбрана как самый популярный типовой проект для средних образовательных учреждений на постсоветском пространстве. В зданиях, построенных по этому типовому проекту, предусмотрена одна приточная система для всех помещений здания школы: классов, столовой, спортивного и актового залов, рекреаций и т.п. При проведении капитального ремонта ограждающие конструкции наружных стен существующих корпусов и перехода между ними запроектированы из условий энергосбережения (в соответствии с [2] и изолированы утеплителем из минеральной ваты достаточной толщины для обеспечения и сохранения внутренней температуры в помещениях равной +21°C.

Для выполнения детерминированного расчёта использовался существующий свод правил, разработанный с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях и сохранности материальных ценностей [2]. Минимально необходимый набор исходных данных по объекту приведен в [3].

Расчёт производится для 2021/22 отопительного сезона. База данных включает получасовые значения следующих климатических показателей [4]:

1. температура наружного воздуха на высоте 2 метра над поверхностью земли, °C;
2. атмосферное давление, приведённое к среднему уровню моря, мм.рт. столба;
3. относительная влажность наружного воздуха на высоте 2 метра над поверхностью земли, %;
4. направление ветра на высоте 10-12 метров над земной поверхностью, осредненное за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения;
5. скорость ветра на высоте 10-12 метров над земной поверхностью, осредненная за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения, м/с;
6. процент заоблачности небосвода, %.

Также в число анализируемых данных включено:
 7. значение дня (рабочий / выходной день);
 8. длительность пребывания мужчин, женщин и детей.

Имеющиеся данные содержат недостатки: часть наблюдений не являются полными, а каждое наблюдение содержит параметры за тот же месяц, что и значение теплопотребления, которое должно быть спрогнозировано. Это создаёт противоречие с поставленной задачей: не имеет смысл прогнозировать потребление за уже прошедший месяц. В связи с этим следует провести отдельный этап преобработки данных, в ходе которого данные будут приведены к виду, при котором каждое наблюдение будет описывать ситуацию, подходящую для обучения с учителем. Т.е. новые наблюдения должны содержать данные за прошлый месяц, которые уже известны и сняты, а значение теплопотребления за текущий месяц, которое можно спрогнозировать.

В ходе преобразования неизменно будут потеряны данные: первый месяц наблюдений не будет рассматриваться, т.к. в этот месяц неизвестно значение показателей за предшествующий месяц; последний месяц будет рассматриваться, однако показатели за него не смогут перейти в следующий месяц. После выполнения преобразования набор содержит 1663 наблюдения, из которых 1603 указаны как обучающие, а 60 – как тестовые.

Анализ полносвязных моделей показывает, что оптимальной являются конфигурации моделей с тремя скрытыми слоями: они достигают лучших результатов, при этом не проигрывая во времени более простым моделям с меньшим числом скрытых слоёв [5]. Характеристики двух моделей, MLP-d32relu-d32relu-mse-8, достигшей лучшей точности на валидационном множестве, и MLP-d512relu-d32relu-d32relu-mse-8, лучшей на тестовом множестве, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики лучших моделей, обученных на наборе данных с сдвигом, удалением и стандартизированной оценкой

Модель	MLP-d32relu-d32relu-mse-8	MLP-d512relu-d32relu-d32relu-mse-8
Время обучения, с	40,17	24,37
Количество эпох обучения	238	96
Batch	64	64
MAE (обучающая выборка)	20,57	18,94
MSE (обучающая выборка)	1185,27	1029,07

MAE (валидационная выборка)	16,26	16,63
MSE (валидационная выборка)	911,17	979,67
MAE (тестовая выборка)	15,63	14,90
MSE (тестовая выборка)	706,81	672,94

Наименьшую погрешность на тестовой выборке имеет вторая рассматриваемая модель, имеющая три слоя по 64 нейрона, функцию потерь MAE и количество эпох обучения 96.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработано нейросетевое программное обеспечение для прогнозирования теплового потребления вентиляцией здания [6]. Успешно выполнено тестирование программного продукта и рассмотрен пример расчёта теплового баланса на имеющихся реальных данных по зданию школы типового проекта 65-426/1 в г. Москва. Использование результатов расчетов позволит существенно снизить издержки объектов отопления и повысить эффективность систем управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гужов С.В., Арбатский А.А., Тороп Д.В.** О повышении точности регулирования систем вентиляции за счёт применения искусственных нейронных сетей // С.О.К., 2023, №06, стр. 52-53.
2. **Свод правил СП 50.13330.2012** Тепловая защита зданий. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1882/> Дата обрац.: 25.04.2024.
3. **Гужов С.В., Арбатский А.А., Тороп Д.В.** О формировании базы данных цифровой модели системы теплоснабжения здания // С.О.К., 2023, №06, стр. 32-35.
4. **Гужов С.В., Крылова Е.В., Андрюнин С.А.** Сравнение отечественных и европейских подходов при расчёте ИТП для здания офисного типа в условиях недостаточности данных // С.О.К., 2022, №07, стр. 36-38.
5. **Варшавский П.Р., Гужов С.В., Сесин А.А., Башлыков М.С.** Разработка программных средств для расчёта и прогнозирования интегрального индекса системы теплоснабжения типовых зданий на основе нейросетевых методов // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ., 2024, №1, стр. 138-146.
6. **Online - калькулятор расчета теплового баланса здания.** URL: <https://tc1.mpei.ru/> Дата обрац.: 27.04.2024.