

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 697.97

И. Л. ШУБИН, член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., директор института; **А. С. СТРОНГИН**, канд. техн. наук, с. н. с., зав. лабораторией; **М. А. РАЗАКОВ**, канд. техн. наук

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН».

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

Тел.: (495) 482-40-16.

Ключевые слова: системы обеспечения микроклимата; воздухообмен; искусственный интеллект; образовательные учреждения; система вентиляции.

В работе освещены способы применения искусственного интеллекта (ИИ) в инженерных системах зданий образовательного назначения. Приведены схемные решения применения и оптимизации работы систем управления инженерными системами обеспечения микроклимата с модулями на базе контроллеров с алгоритмами ИИ. Показана возможность использования существующей цифровой инфраструктуры образовательного учреждения (при высоком уровне цифровизации) для инженерных систем с учетом процессов, происходящих в данных типах зданий и сооружений. Выделены точки интеграции систем обеспечения микроклимата в цифровую экосистему образовательного учреждения. Работа представляет интерес широкого круга инженеров-проектировщиков систем обеспечения микроклимата, а также служащих, занятых в сфере образования.

Введение

Искусственный интеллект сегодня активно используется в различных областях человеческой деятельности. Его применение не ограничивается лишь поисковыми и переводными функциями [1, 2]. Он уже используется для идентификации и поиска необходимых элементов в изображениях, во вспомогательных семантических моделях [3]. Специализированную область применения искусственного интеллекта (ИИ) занимают инженерные системы обеспечения микроклимата [4–6]. На данный момент происходит разработка типовых схемных решений для различных сооружений с учетом особенностей происходящих в них процессов. Образовательные здания занимают особое положение ввиду того, что подготовка молодых специалистов необходима для обеспечения научно-технического развития отечественной науки и техники. Применение ИИ в данной категории сооружений должна учитывать особенности объемно-планировочных решений и соответствующие принятые типовые инженерные решения в области обеспечения микроклимата.

Образовательные сооружения можно разделить по классической схеме: дошкольные учреждения (ясли, детский сад); школьные образовательные учреждения; учреждения среднего профессионального образования (СПО);



высшие учебные заведения подготовки и переподготовки кадров (в т. ч. и академии). Стоит отметить, что большое количество зданий школьных образовательных учреждений и учреждений среднего профессионального образования имеют подобные объемно-планировочные решения. Поэтому целесообразно их объединить в единый раздел типовых решений при применении искусственного интеллекта в области инженерного обеспечения микроклимата.

Целью работы является разработка схемных решений применения ИИ в области обеспечения микроклимата для зданий и сооружений образовательного назначения (школьные учреждения, учреждения среднего профессионального образования, высшие учебные заведения).

Методы исследования

В работе было проведено исследование типовых планировочных решений инженерных систем обеспечения микроклимата для школьных учреждений, учреждений среднего профессионального образования и высших учебных заведений, построенных до 2000 года на территории города Москвы. Для первых типов зданий были выявлены общие закономерности создания микроклимата – использование либо комбинированных систем отопления (воздушное и водяное отопление), либо только воздушных систем отопления. Этот факт также подтверждается в работе Сеницына В. И. [7]. Также большинство систем обеспечения микроклимата образовательных учреждений имеет устройства первичной автоматизации (устройства для включения и регулирования расхода воздуха и подачи теплоносителя и т. п.) [8–10]. Для большинства высших учебных заведений характерен иной подход для объемно-планировочных решений и способов создания микроклимата. Для них присутствует уникальность архитектурных форм и, как следствие, применение в некоторых случаях кондиционирования воздуха. Высшее учебное заведение может иметь комплекс зданий и сооружений, расположенных в различных частях города, а также иметь несколько отличных друг от друга по назначению корпусов (учебные классы, учебно-лабораторные блоки, испытательные полигоны и т. п.), но объединенных в одно здание. Поэтому для данных типов сооружений возможно применение индивидуального подхода к каждому зданию или зоне обслуживания одной установкой. Система отопления в большинстве зданий, как правило, водяная с насосным оборудованием.

После проведения анализа были разработаны типовые схемы применения модулей с ИИ, учитывающие особенности конструирования инженерно-технических систем в рассмотренных типах образовательных учреждений.

Результаты и обсуждение

Для реализации элементов искусственного интеллекта в инженерных системах микроклимата общеобразовательных учреждений и учреждениях СПО целесообразно применение индивидуального подхода к каждому обучающемуся. Это может быть частично достигнуто с помощью имеющейся системы учета обучающихся. На более поздних этапах функционирования системы предполагается сопряжение нескольких баз данных в единую глобальную систему хранения данных, в которой будут передаваться необходимые характеристики имеющегося оборудования. Первоначально возможно разъединенное состояние и передача одних данных в иное место хранения, а также их обработка для получения искомых характеристик в инженерных системах. Для исходных данных в алгоритмах расчета необходимы следующие показатели инженерных



систем: изменение наружной температуры воздуха за некоторый промежуток времени (на начальном этапе возможна реализация посредством использования данных за 24 часа, полученных из имеющихся прогнозов погоды); предполагаемое вычисленное изменение внутренней температуры помещения в зависимости от времени (реализуется также с помощью данных, полученных за 24 часа); расход воздуха, подаваемый в каждое помещение; расход удаляемого воздуха из каждого помещения; целевое и заданное значение температуры приточного воздуха для каждого помещения; целевое и заданное значение температуры вытяжного воздуха для каждого помещения; фактическое значение температуры воздуха в помещении; фактическое значение температуры воздуха, подаваемого в каждое помещение; фактическое значение температуры воздуха, удаляемого из каждого помещения; фактические значения расхода и температуры приточного воздуха, подаваемого и удаляемого из всех помещений; текущие положения различных исполнительных устройств регуляторов в системе вентиляции (в т. ч. частотных регуляторов вентиляторов и насосов, приводов сопутствующих инженерных систем, обслуживающих вентиляционные установки).

Некоторые характеристики возможно вычислить и внести в прогнозируемое значение, но для этого необходимо использование индивидуального расписания каждого обучающегося. Также необходимо установить, был ли ученик в данном заведении. Это можно реализовать посредством подгрузки базы данных из контрольно-пропускного пункта (поста охраны). На рис. 1 и 2 представлены принципиальная схема движения обучающегося в школе и функциональный алгоритм создания баз данных необходимых характеристик, которые будут использованы при прогнозируемых показателях фактического количества людей в здании. В данном варианте подтверждение нахождения людей в здании будет реализовано через контрольно-пропускной пункт. У данного способа есть как положительные аспекты, так и существенные недостатки. В классических системах предлагается использование систем распознавания лиц и их сравнение с имеющимися фотографиями из базы данных образовательного учреждения. На основании этого способа также возможно определение фактического количества обучающихся, но для него необходимо большее количество специализированного оборудования. Также их стоимость будет значительно выше, чем использование лишь алгоритмов с сопряжением баз данных. Это является существенным недостатком. Тем не менее положительным аспектом использования системы с распознаванием лиц является ее распространенность и, как следствие, ее быстрая наладка. Также этот вариант способен работать в нестандартных режимах (например, потеря пропуска обучающимся или приезд лиц, не входящих в базу данных учреждения).

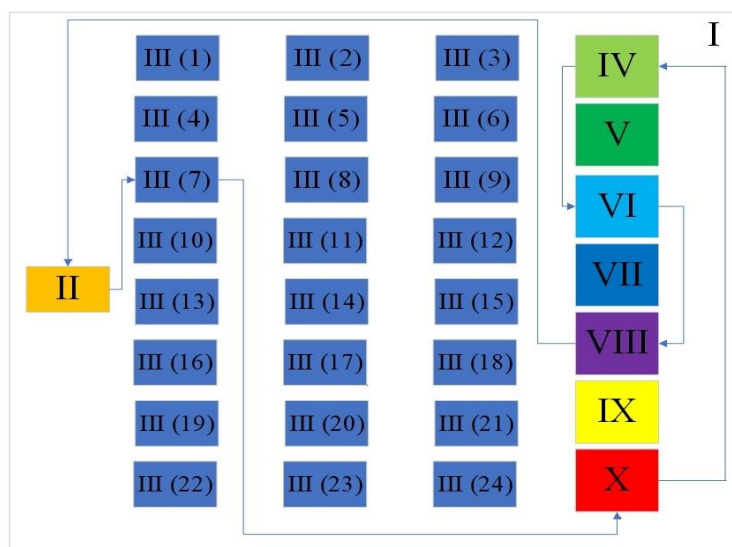


Рис. 1. Принципиальная схема разделения школьного здания на блоки:
I – здание школы; II – контрольно-пропускной пункт на входе / выходе из здания школы;
III (1) – III (24) – стандартные школьные классы для общеобразовательных дисциплин;
IV – класс дисциплины «Химия»; V – класс дисциплины «Информатика»; VI – столовая;
VII – класс для занятий по дисциплине «Технология»; VIII – класс изобразительного искусства и музыки; IX – помещение для преподавателей; X – физкультурно-оздоровительный класс

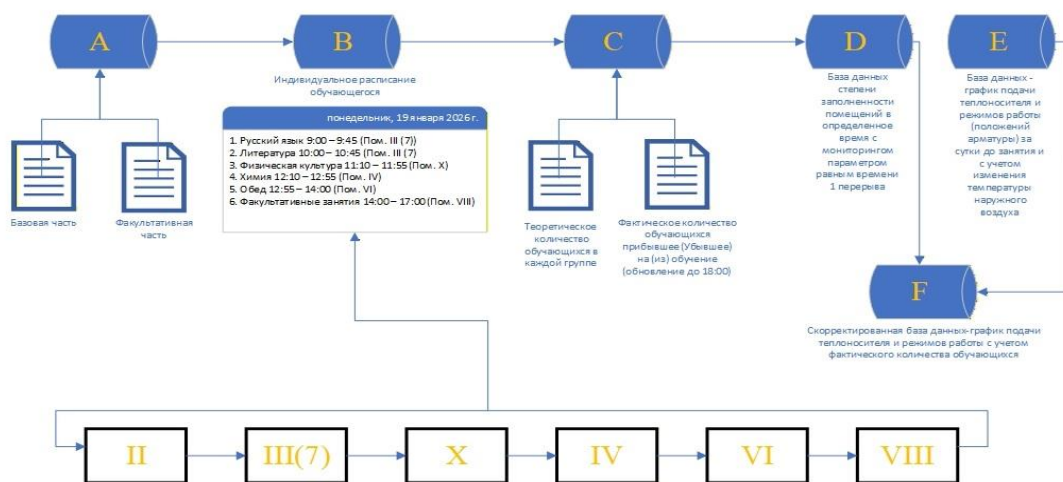


Рис. 2. Блок-схема обработки массива данных для создания модифицированной базы данных для применения в школьном образовательном учреждении и учреждении СПО с учетом особенностей перемещения обучающихся (индивидуальная траектория перемещений 1 обучающегося): I – здание школы; II – контрольно-пропускной пункт

Стоит обратить внимание, что реализация системы с ИИ частично является классическим количественным подходом (системы с переменным расходом воздуха), которая достаточно эффективно позволяет снижать расход тепловой энергии и достигать высоких показателей экономии энергетических ресурсов. Эта



часть реализуется посредством сопряжения баз данных фактического количества обучающихся и персонала, находящихся в здании, а также людей, находящихся на больничном или иных мероприятиях вне учреждения.

Качественная часть регулирования систем вентиляции достигается посредством изменения температуры приточного воздуха из вентиляционной установки. Оно возникает из-за изменения показателей температуры и относительной влажности уличного воздуха. Изменение температуры приточного воздуха может быть реализовано также с помощью снижения расхода подачи теплоносителя или снижения температуры того же теплоносителя (при реализации изолированных обособленных систем с котельным оборудованием, установленного непосредственно для систем обеспечения микроклимата). Изменение температуры теплоносителя также приведет к изменению показателей, но повлечет за собой перерасчет состояний всех систем (в т. ч. И отопления).

Обычно в зданиях школ и учреждениях СПО, построенных до 2000 года, существует 2 вентиляционные системы обеспечения микроклимата и обслуживающие 2 блока зданий: блок с физкультурным залом, кабинетом дисциплины «Технология» и столовой, обслуживаемый одной вентиляционной системой, и второй блок с основными классами, обслуживаемый второй приточно-вытяжной системой. Для здания характерна 1 отопительная система. В некоторых зданиях для блока с классами, где реализуются занятия основных дисциплин, используется вентиляционная система с совмещенной функцией воздушного отопления. Учитывая, что воздушное отопление является одним из наиболее затратных типов данных систем, применение ИИ будет способствовать снижению расходов энергетических ресурсов при определенных условиях эксплуатации.

Для высших учебных заведений из-за особенностей расположения корпусов возможно использование иного принципа конструирования инженерным систем ИИ. Для этих типов зданий предлагается создать зависимость от ключ-карты с электронным замком помещения. При отсутствии в помещении преподавателя и людей система переходит в режим минимального расхода воздуха. Для этой системы предполагается ступенчатое регулирование подачи и удаления воздуха. Алгоритм также как и в случае с аналогичными системами в школах и СПО должен включать функцию регулирования шиберов, которая необходима при количественном регулировании распределения воздушных потоков в воздуховодах. При ее отсутствии возникнут ситуации, при которых воздух может подаваться не в нормируемом количестве в помещение и, как следствие, будут возникать помещения с избытком и недостатком воздуха. На рис. 3 приведена предлагаемая схема управления вентиляцией для высшего учебного заведения.

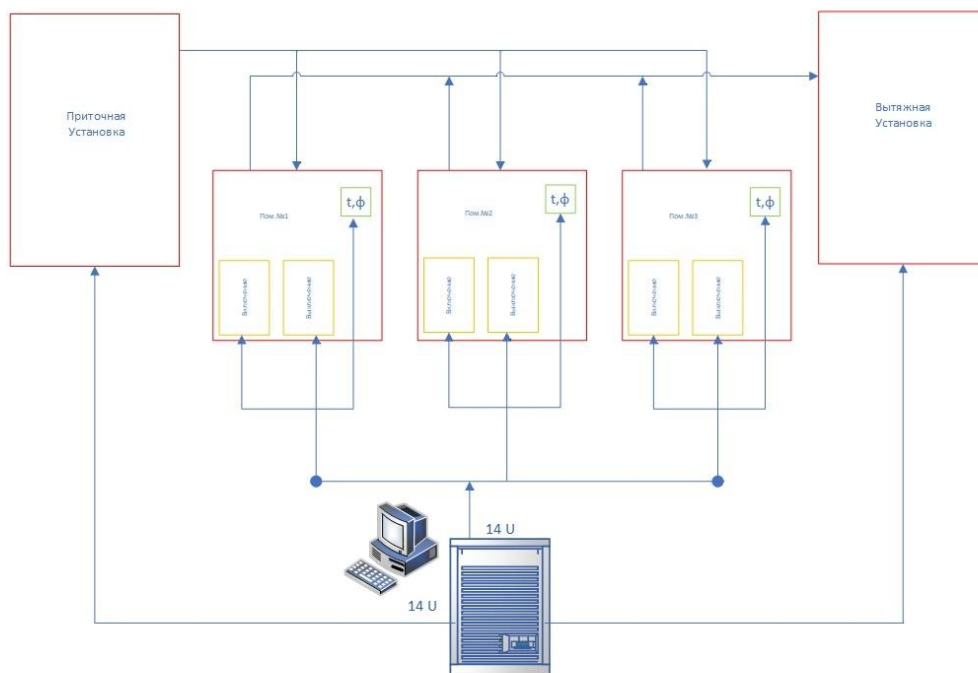


Рис. 3. Блок-схема для приточно-вытяжной системы вентиляции с ИИ, предлагаемой для высших учебных заведений

На рис. 4 представлена принципиальная схема аппаратной части интеллектуальной системы управления приточного кондиционера, которая предлагается к использованию.

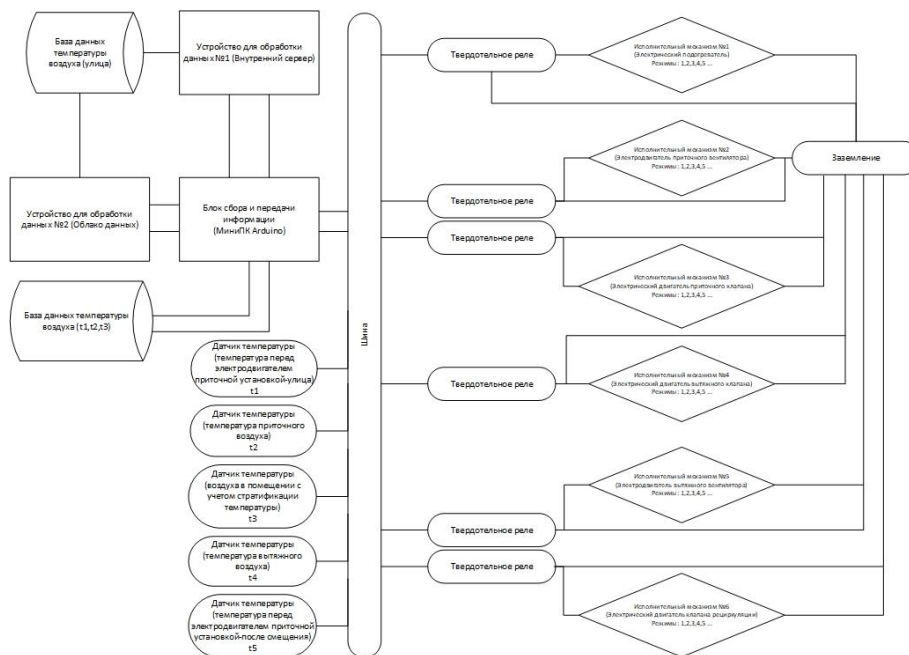


Рис. 4. Блок-схема для работы аппаратной части приточно-вытяжной системы вентиляции с ИИ, предлагаемой для образовательных учреждений



В качестве оценки применения ИИ в 2 видах учебных заведений предлагается рассмотреть их использование при следующих исходных данных, которые приведены в табл. 1. Суммарное количество людей в школе составляет 1000 человек. Общее количество людей во всех обслуживающих блоках высшего учебного заведения – 5030 человек. Максимальное количество людей, на которое запроектированы инженерные системы для обслуживаемых помещений в школах: система № 1 – 920; система № 2 – 80. Для вуза обслуживающие системы имеют иные характеристики: система № 1 – 2800; система № 2 – 550; система № 3 – 530; система № 4 – 550; система № 5 – 600. В здании школы принято, что основные занятия проходят с 8:00 до 18:00, а в высшем учебном заведении с 8:00 до 21:00. Вне этих диапазонов времени системы вентиляции полностью переходят в естественный режим проветривания. Подогрев воздуха происходит за счет систем водяного отопления с понижением температуры воздуха на 5 °С. Необходимый воздухообмен для одного человека, занимающегося физической культурой, принят равным 60 м³/ч, а умственным трудом – 30 м³/ч.

Таблица 1

Таблица 1				
День недели	Средняя суточная температура наружного воздуха, °С	Требуемая температура приточного воздуха, °С	Суммарное количество обучающихся и персонала в школе (Обслуживание системой № 1 / Обслуживание системой № 2 и т. д.), чел.	Количество систем, шт.
Школа с водяным и воздушным отоплением				
Понедельник	-22	40	755 (700/55)	2
Вторник	-22		763 (713/50)	
Среда	-21		594 (544/50)	
Четверг	-19		650 (595/55)	
Пятница	-25		723 (693/30)	
Суббота	-20		726 (703/23)	
Воскресенье	-20		1 (1/0)	
Высшее учебное заведение с водяным отоплением				
Понедельник	-20	23	3500 (2500/200/300/500/500)	5
Вторник	-26		2956 (2000/300/100/256/300)	
Среда	-21		3002 (2400/200/200/101/101)	
Четверг	-22		3127 (2650/100/150/77/150)	
Пятница	-23		3081 (2300/500/100/100/81)	
Суббота	-21		3010 (2400/100/110/200/200)	
Воскресенье	-22		5(1/1/1/1/1)	

В табл. 2 представлены предполагаемые результаты применения ИИ в течение теоретических расчетных суток. Для исследования количества расхода тепловой энергии использовалась методика удельных характеристик в суточном исчислении, разработанная АКХ им. К. Д. Памфилова.



Таблица 2

День недели	Проектный базовый суточный расход тепловой энергии на систему вентиляции, кВтсут.	Предполагаемый суммарный суточный расход тепловой энергии на систему вентиляции с учетом применения ИИ, кВтсут.	Отличие, %
Школа с водяным и воздушным отоплением			
Понедельник	5780,3	4398	24
	1005,3	691,1	31
Вторник	5780,3	4479,7	23
	1005,3	628,3	38
Среда	5687,1	3362,8	41
	989,1	618,2	38
Четверг	5500,6	3557,5	35
	956,6	657,7	31
Пятница	6060	4564,7	25
	1053,9	395,2	63
Суббота	5593,8	4274,4	24
	972,8	279,7	71
Воскресенье	5593,8	14,6	99,7
	972,8	0	100
Сумма	46966,3	27921,9	41
Высшее учебное заведение с водяным отоплением			
Понедельник	15861,3	14161,9	11
	3115,6	1133	64
	3002,3	1699,4	43
	3115,6	2832,4	9
	6797,7	5664,8	17
Вторник	18074,6	12910,4	29
	3550,4	1936,6	45
	3421,3	645,5	81
	3550,4	1652,5	53
	7746,2	3873,1	50
Среда	16230,2	13911,6	14
	3188,1	1159,3	64
	3072,1	1159,3	62
	3188,1	585,4	82
	6955,8	1170,9	83
Четверг	16599,1	15709,8	5
	3260,5	592,8	82
	3142	889,2	72
	3260,5	456,5	86
	7113,9	1778,5	75
Пятница	16968	13938	18
	3333	3030	9
	3211,8	606	81
	3333	606	82
	7272	981,7	87



Окончание таблицы

Суббота	16230,2	13911,6	14
	3188,1	579,7	82
	3072,1	637,6	79
	3188,1	1159,3	64
	6955,89	2318,6	67
Воскресенье	5,9	5,9	0
	5,9	5,9	0
	5,9	5,9	0
	5,9	5,9	0
	9,8	11,9	0
Сумма	201031,3	121727	39

Выводы

1. Предложенный вариант регулирования воздухообмена помещений с применением интеллектуальных модулей и пропускной системы учебных заведений позволит значительно снизить расход тепловой энергии на нужды систем вентиляции (в среднем от 39 % до 41 % за неделю).

2. При планировании интегрирования интеллектуальных модулей необходимо учитывать существующее количество обслуживающих систем вентиляции.

3. Для интеграции модулей в системы вентиляции необходимо предусмотреть количество ступеней регулирования (в данной работе было принято, что 1 ступень – 1 человек). Большое количество ступеней регулирования приводит к сокращению энергопотребления, но снижает надежность систем.

4. В дальнейшем следует исследовать возможность определения минимального и максимального количества ступеней регулирования для систем с ИИ.

5. Следует определить временной шаг регулирования (инерционность) систем с ИИ.

6. При интегрировании ИИ в управление комплексом вентиляционных систем здания следует определить аппаратный набор и схему их работы (параллельно-каскадный способ управления приточно-вытяжными установками).

7. Необходимо дополнительно исследовать взаимосвязь приточно-вытяжных установок и регулирующих устройств, находящихся в системе воздухораспределения для общей интеграции и управления комплексом вентиляционных систем здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скачков, Н. А. Улучшение качества машинного перевода с использованием обратной модели / Н. А. Скачков, К. В. Воронцов // Автоматика и телемеханика. – 2022. – № 12. – С. 31–43. – DOI 10.31857/S0005231022120042.

2. SciRus: Tiny and Powerful Multilingual Encoder for Scientific Texts / Gerasimenko N., Vatolin A., Ianina A., Vorontsov K. // Doklady Mathematics. –2024. – Т. 110, № S1. – S193-S202. – DOI 10.1134/S1064562424602178.

3. Шубин, И. Л. Современные исследования использования систем интеллектуального управления инженерными системами для зданий и сооружений /



И. Л. Шубин, А. С. Стронгин, М. А. Разаков. // Строительство и реконструкция. – 2024. – № 5 (115). – С. 138–148. – DOI 10.33979/2073-7416-2024-115-5-138-148.

4. Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Trough Improved Machine Self-learning Algorithms / Krūmiņš A., Bogdanovs N., Beļinskis R., Mežale K., Garjāns M. // Springer Proceedings in Energy. – 2019. – С. 41–49. – DOI 10.1007/978-3-030-00662-4_4.

5. Artificial intelligence (AI)-based occupant-centric heating ventilation and air conditioning (HVAC) control system for multi-zone commercial buildings Yayla A. [et al] // Sustainability. – 2022. – Т. 14, №. 23. – С. 16107. – DOI 10.3390/su142316107/.

6. Sendra-Arranz, R. A long short-term memory artificial neural network to predict daily HVAC consumption in buildings / Sendra-Arranz R., Gutiérrez A. // Energy and Buildings. – 2020. – Т. 216. – С. 109952. – DOI 10.1016/j.enbuild.2020.109952.

7. Синицын, В. И. Состояние и перспективы реконструкции систем отопления и вентиляции в школах города Москвы / В. И. Синицын // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 4–8.

8. Фокина, Е. Н. Автоматизация систем вентиляции общеобразовательной школы / Е. Н. Фокина, Т. О. Джепарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 4. С. 280–285.

9. Гужов, С. В., Система управления и прогнозирования спроса на тепловую энергию системами вентиляции объектов массового строительства города Москвы / С. В. Гужов, А. А. Арбатский, Д. В. Тороп // Современные проблемы теплофизики и энергетики : материалы IV международной конференции, Москва, 21–25 октября 2024 года. – Москва, 2024. – С. 446–447.

10. Короткая, Е. Е. Управление приточно-вытяжной вентиляцией здания на этапе его эксплуатации / Е. Е. Короткая, С. В. Шилкина // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2024 : сборник докладов V Национальной научной конференции, Москва, 16 декабря 2024 года. – Москва, 2025. – С. 675–682.

SHUBIN Igor Lubimovich, corresponding member of the RAACS, doctor of technical sciences, director of the institute; STRONGIN Andrey Semenovich, candidate of technical sciences, senior researcher, head of laboratory; RAZAKOV Muhammet Azatovich, candidate of technical sciences

FEATURES OF USING MICROCLIMATE ENGINEERING SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: (495) 482-40-16.

Key words: microclimate systems; air exchange; artificial intelligence; educational institutions; ventilation system.

The highlights of ways to apply artificial intelligence in engineering systems for educational buildings are presented. The authors have provided diagrams for the application and optimization of control systems for microclimate engineering systems with modules based on controllers and algorithms. The researchers demonstrated the feasibility of using an educational institution's existing digital infrastructure (with high level of digitalization). The points for integrating microclimate control systems into the educational institution's digital ecosystem have been highlighted. This paper will be interest to a wide range of microclimate control system design engineers and employees working in education sector.



REFERENCES

1. Skachkov N. A., Vorontsov K. V. Uluchshenie kachestva mashinnogo perevoda s ispolzovaniem obratnoy modeli [Improving the quality of machine translation using an inverse model]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Remote Control]. Moscow, 2022, № 12, P. 31–43. DOI: 10.31857/S0005231022120042.
2. Gerasimenko N., Vatolin A., Ianina A., Vorontsov K. SciRus: Tiny and Powerful Multilingual Encoder for Scientific Texts. *Doklady Mathematics*. 2024, Vol. 110, № 1, P. 193–202. DOI: 10.1134/S1064562424602178.
3. Shubin I. L., Strongin A. S., Razakov M. A. Sovremennye issledovaniya ispolzovaniya sistem intellektualnogo upravleniya inzhenernymi sistemami dlya zdaniy i sooruzheniy [Modern research on the use of intelligent control systems for engineering systems of buildings and structures]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction]. 2024, № 5 (115), P. 138–148. DOI: 10.33979/2073-7416-2024-115-5-138-148.
4. Krūmiņš A., Bogdanovs N., Beļinskis R., Mežale K., Garjāns M. Increasing Buildings Automation Systems Efficiency with Real-Time Simulation Through Improved Machine Self-learning Algorithms. *Springer Proceedings in Energy*. 2019, P. 41–49. DOI: 10.1007/978-3-030-00662-4_4.
5. Yayla A. [et al.] Artificial intelligence (AI)-based occupant-centric heating ventilation and air conditioning (HVAC) control system for multi-zone commercial buildings. *Sustainability*. 2022, Vol. 14, No. 23, P. 16107. DOI: 10.3390/su142316107.
6. Sendra-Arranz R., Gutiérrez A. A long short-term memory artificial neural network to predict daily HVAC consumption in buildings. *Energy and Buildings*. 2020, Vol. 216, P. 109952. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109952.
7. Sinitsyn V. I. Sostoyanie i perspektivy rekonstruktsii sistem otopeniya i ventilyatsii v shkolakh goroda Moskvy [State and prospects for reconstruction of heating and ventilation systems in Moscow schools]. *Ekologiya i stroitelstvo* [Ecology and Construction]. 2015, № 3, P. 4–8.
8. Fokina E. N., Dzheparova T. O. Avtomatizatsiya sistem ventilyatsii obshcheobrazovatelnoy shkoly [Automation of ventilation systems of a general education school]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzhya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. 2025, № 4, P. 280–285.
9. Guzhov S. V., Arbatskiy A. A., Torop D. V. Sistema upravleniya i prognozirovaniya sprosa na teplovuyu energiyu sistemami ventilyatsii obektov massovogo stroitelstva goroda Moskvy [A system for control and forecasting of thermal energy demand by ventilation systems of mass construction facilities in Moscow]. *Sovremennye problemy teplofiziki i energetiki* [Modern Problems of Thermophysics and Power Engineering]: materialy IV mezhdunarodnoy konferentsii, 21–25 oktyabrya 2024 goda. Moscow, 2024, P. 446–447.
10. Korotkaya E. E., Shilkina S. V. Upravlenie pritochno-vytyazhnoy ventilyatsiei zdaniya na etape ego ekspluatatsii [Control of supply and exhaust ventilation of a building during its operation]. *Aktualnye problemy stroitelnoy otrasli i obrazovaniya – 2024* [Current Problems of the Construction Industry and Education – 2024]: sbornik dokladov V Natsionalnoy nauchnoy konferentsii, 16 dekabrya 2024 goda. Moscow, 2025, P. 675–682.

© И. Л. Шубин, А. С. Стронгин, М. А. Разаков, 2026

Получено: 06.07.2026 г.