

О повышении точности регулирования систем вентиляции за счёт применения искусственных нейронных сетей

Оптимизация алгоритма работы системы автоматизации тепловых пунктов после проведения оптимизации

Регулирование перепада давления на вводе сетевой воды в тепловой пункт осуществляется в зависимости от разности значений показаний датчиков давления. Регулирование температуры в системе ГВС осуществляется в зависимости от показаний датчика температуры путем воздействия на исполнительные механизмы клапана. Схема подключения циркуляционно-повысительная. При регулировании температуры теплоносителя после водоподогревателя отопления осуществляется в зависимости от показаний датчика температуры наружного воздуха в соответствии с заданным температурным графиком путем воздействия на исполнительный механизм клапана. Поддержание заданного давления (65 м. в. ст.,) в системах, например, в ХВС первой зоны осуществляется путем изменения частоты вращения рабочего насоса при помощи существующего преобразователя частоты в зависимости от показаний датчиков, установленных на трубопроводах ХВС и обратном ГВС 2 зоны. В каждой системе предусматривается защита от “сухого хода” при уменьшении давления не менее 6 м.в.ст. по показанию датчика. Подобное управление достигается путём применения современных измерительных приборов.

Выполнение тонкой подстройки режимов ИТП под особенности объекта, как правило, выполняется вручную. Перенастройка выполняется редко и тоже вручную, что свидетельствует о невысокой точности процесса. Повысить эффективность процесса тонкой настройки можно за счёт применения программного обеспечения с искусственными нейронными сетями (ИНС).

Применение ИНС требует предварительного сбора и анализа существенно большего объёма данных о тепловом профиле объекта. Накопление bigdata осуществляется за счёт установки дополнительного числа измерителей с повышенным классом точности. Подобную модернизацию необходимо проверить на предмет изменения результирующей точности измерений.

Оценка погрешности измерений в исходном состоянии и после проведения оптимизации АСУ ИТП

В исходном состоянии АСУ ИТП контроль и управление технологическим процессом проводилось по 20 параметрам давления, расхода и температуры. После проведения оптимизации контроль и управление технологическим процессом проводится по 26 параметрам, спецификация которых приведена в Таблице 1.

Оценка погрешности выполняется в соответствии с документом [1]. Суммарная погрешность измерителей в исходном состоянии АСУ теплового пункта составляла 35,25%.

Погрешность измерений после проведения оптимизации значительно снизилась по всем подсистемам. Например, после проведения оптимизации погрешность измерения температуры в подающем трубопроводе ГВС Т7 снизилась с 4,0°C до 0,75°C. Шкаф комплектный автоматизации (ШКА) на базе контроллера МФК-1500, предел основной погрешности $\pm 0,15\%$. Основная приведенная погрешности ТПУ-205, $\Delta\% = \pm 0,25$, дополнительная 0,5 от основной:

$$\gamma_{\text{тпу}} = 0,25 + 0,5 \cdot 0,25 = 0,375\%.$$

Основная приведенная погрешности ШКА, $\Delta\% = \pm 0,15$ дополнительная приведенная погрешность не должна превышать 0,7 от основной:

$$\gamma_{\text{шка}} = 0,15 + 0,7 \cdot 0,15 = 0,255\%.$$

Тогда суммарная погрешность:

$$\gamma_{\text{сум}} = 1,1 \cdot (\gamma_{\text{тпу}}^2 + \gamma_{\text{шка}}^2)^{0,5} = 1,1 \cdot (0,375^2 + 0,255^2)^{0,5} = 0,499\%$$

Для диапазона измеряемых температур от 0°C до +150°C суммарная погрешность составляет:

$$\Delta = D \cdot \gamma_{\text{сум}} / 100\% = (0^\circ\text{C} + 150^\circ\text{C}) \cdot 0,499\% / 100\% = 0,75^\circ\text{C}$$

Для $t = 60,00^\circ\text{C} \pm 0,75^\circ\text{C}$. Основной вклад в снижение погрешности в оптимизированной АСУ внесло применение термопреобразователя ТПУ-205 с пределом допускаемой основной приведенной погрешности $\Delta\% = \pm 0,25$ вместо термометра биметаллического, типа БТ с классом точности 2,5.

Суммарная погрешность после оптимизации АСУ теплового пункта составляет 11,75%.

Повышение точности регулирования систем вентиляции посредством применения ИНС для настройки ПИД регуляторов ИТП

Использование уточненных методов прогнозирования теплопотребления для зданий типовых проектов позволит существенно точнее обосновать целесообразность внедрения энергосберегающих технологий с целью увеличения их экологической эффективности и снижения вклада в углеродный след города Москва.

Поскольку использование дополнительных измерителей не приводит к увеличению погрешности и не влияет на точность настройки, то становится возможным применить ИНС для настройки ПИД регуляторов ИТП.

Установлено, что наиболее оптимальными для модели нейронной сети, применяемой для решения поставленной задачи, являются следующие параметры:

- количество эпох обучения – 100 ед.,
- 3 слоя по 256 - 64 – 256 нейрона соответственно;
- функция потерь: MAE;
- функция активации: гиперболический тангенс.

Данная модель показала наименьшие значения функций потерь среди всех остальных экспериментов: средняя абсолютная ошибка MAE=10.11%; среднеквадратичное отклонение RMSE=19.28%.

Обучение ИНС и создание на её основе теплового профиля здания позволяет определить значения для настройки ПИД регулятора. Интегральная составляющая (I) регулятора учитывает сумму прошлых ошибок и использует их для коррекции текущей ошибки. Она позволяет устранить остаточную ошибку и обеспечить точность регулирования в долгосрочной перспективе. Дифференциальная составляющая (D) регулятора учитывает скорость изменения ошибки и предотвратить резкие изменения.

Применение искусственных нейронных сетей в качестве инструмента предиктивной аналитики позволяет на 6-9% повысить точность регулирования теплоснабжения объекта и пропорционально снизить углеродный след от теплопотребления зданиями типовой застройки.

Численный эксперимент, проведённый для типового здания VI-49 школы, показал, что при внедрении предиктивной аналитики в систему автоматизации ТП, величина сэкономленных денежных средств для конечного потребителя составит:

$$\Delta S_3 = C_{тз} \cdot \Delta Q_{потр} = 2685,54 \cdot 38,22 = 102,6 \text{ тыс. руб./г.},$$

где $\Delta Q_{потр}$ – величина изменения количества тепла, потребляемого зданием, Гкал/год; $C_{тз}$ – Тариф на тепловую энергию, поставляемую ПАО "МОЭК", руб./Гкал.

С помощью нейросетевого программного обеспечения достигается не только расчёт ожидаемого значения количества потребляемой тепловой энергии, но и температуры отпускаемого теплоносителя с ЦТП, а также коэффициенты ПИД-регулятора для повышения эффективности регулирования системы теплоснабжения. Качественно снижается ошибка, возникающая при ручном настраивании регулятора, что влечет за собой снижение перерасхода теплоэнергии, повышения экономической эффективности системы.

1. Методика определения обобщенных метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУ ТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерений. РД 153-34.0-11.201-97СПО ОРГРЭС [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294816/4294816928.pdf>. Дата обрац.: 01.07.2023.

Таблица 1.

Оценка погрешности измерений в состоянии «до» и «после» проведения оптимизации АСУ ИТП

№	Измеряемый параметр	«до»		«после»	
		ед.	Δ , %	ед.	Δ , %
1	Шкаф комплектный автоматизации	-	-	1	0.15
2	Пост управления	5	-	5	-
3	Давление воды в подающем трубопроводе теплосети	1	1.5	1	0.5
4	Давление воды в подающем трубопроводе теплосети после клапана теплосети	1	1.5	1	0.5
5	Давление воды в обратном трубопроводе теплосети	1	1.5	1	0.5
6	Давление воды в обратном трубопроводе теплосети перед клапаном теплосети	1	1.5	1	0.5
7	Давление воды в подающем трубопроводе ГВС после ВПГ	1	1.5	1	0.5
8	Давление воды в обратном трубопроводе ГВС	1	1.5	1	0.5
9	Давление воды в подающем трубопроводе ЦО	1	1.5	1	0.5
10	Давление воды в обратном трубопроводе ЦО	1	1.5	1	0.5
11	Давление воды трубопровода ХВС	1	1.5	1	0.5
12	Давление воды гор. водопровода	1	1.5	1	0.5
13	Минимальное давление воды гор. водопровода	-	-	1	0.25
14	Перепад давления на насосах ГВС	-	-	1	0.25
15	Перепад давления на насосах ХВС	-	-	3	0.25
16	Перепад давления на насосах НО	-	-	2	0.25
17	Температура воды в подающем трубопроводе теплосети	1	2.5	-	-
18	Температура воды в обратном трубопроводе теплосети	1	2.5	-	-
19	Расход воды в подающем трубопроводе теплосети	1	2	1	2
	Расход воды в обратном трубопроводе теплосети	1	2	1	2
	Температура воды в подающем трубопроводе теплосети	1	0.25	1	0.25
	Температура воды в обратном трубопроводе теплосети	1	0.25	1	0.25
20	Температура воды в подающем трубопроводе ГВС после ВПГ	1	0.25	1	0.25
21	Температура воды в подающем трубопроводе ГВС после ВПГ	1	2.5	-	-
22	Температура воды в обратном трубопроводе ГВС	1	2.5	1	0.25
23	Температура наружного воздуха	1	0.25	1	0.25
24	Температура воды в подающем трубопроводе ЦО после ВПО	1	0.25	1	0.25
25	Температура воды в подающем трубопроводе ЦО после ВПО	1	2.5	-	-
26	Температура воды в обратном трубопроводе ЦО	1	2.5	1	0.25

О повышении точности регулирования систем вентиляции за счёт применения искусственных нейронных сетей

Система вентиляции офисных центров, некоторых торгово-развлекательных центров и типовых зданий школ является также системой, обеспечивающей отопление объекта. К ИТП такого здания предъявляются дополнительные требования, касающиеся работы системы автоматики для соблюдения температуры подготавливаемого воздуха. Распространённые сейчас схемы ИТП не предоставляют возможности качественно сформировать тепловой профиль здания. В статье показана возможность дополнения существующего ИТП набором современных измерителей, позволяющих при одновременном повышении точности измерений выполнить обучение искусственной нейронной сети с последующей настройкой ПИД регулятора. Приведена оптимальная по достигаемой точности структура ИНС. На примере типового здания VI-49 школы, расположенной в г. Москва, показано, что эффект от уточнённой настройки ПИД регулятора ИТП составляет 6-9%. Достигаемый расчётный эффект свыше 100 тыс. руб./год.

С. В. Гужов¹, А.А. Арбатский², Д.В. Тороп¹

1 - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Российская Федерация

2 - НИИ «Инженерных климатических систем и электроники»

Сергей Вадимович Гужов - к.т.н., доцент

Андрей Андреевич Арбатский - к.т.н., генеральный директор

Дарья Владимировна Тороп - студент

общеобменная вентиляция, тепловой профиль здания, bigdata, индивидуальный тепловой пункт, погрешность, нейросетевая модель, ПИД-регулятор

On improving the accuracy of ventilation systems regulation through the use of artificial neural networks

S. V. Guzhov¹, A. A. Arbatsky², D.S. Utko¹, D.V. Torop¹

1 - Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MPEI", Moscow, Russian Federation

2 - Research Institute "Engineering climate systems and electronics"

Sergey Vadimovich Guzhov - Ph.D., Associate Professor

Andrey Andreevich Arbatsky - Ph.D., Director

Daria Vladimirovna Torop - student

The ventilation system of office centers, some shopping and entertainment centers and typical school buildings is also a system that provides heating for the facility. Additional requirements are imposed on the ITP of such a building regarding the operation of the automation system to maintain the temperature of the prepared air. The ITP schemes that are now widespread do not provide an opportunity to qualitatively form the thermal profile of the building. The article shows the possibility of supplementing the existing ITP with a set of modern meters, which, while improving the accuracy of measurements, can train an artificial neural network with subsequent tuning of the PID controller. The structure of the ANN, optimal in terms of the achieved accuracy, is presented. On the example of a typical building VI-49 of a school located in Moscow, it is shown. that the effect of the refined adjustment of the PID controller ITP is 6-9%. The achieved estimated effect is over 100 thousand rubles per year.

general ventilation, building thermal profile, bigdata, individual heating point, error, neural network model, PID controller

1. Metodika opredeleniya obobshchennykh metrologicheskikh kharakteristik izmeritel'nykh kanalov IIS i ASU TP po metrologicheskim kharakteristikam agregatnykh sredstv izmereniy. RD 153-34.0-11.201-97SPO ORGRES [Method for determining the generalized metrological characteristics of the measuring channels of IMS and APCS according to the metrological characteristics of aggregate measuring instruments. RD 153-34.0-11.201-97SPO ORGRES] Web-source: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294816/4294816928.pdf/>. Acces data: 01.07.2023. [In Russian]