



Теплопотребление системой обще- обменной венти- ляции санатория, и подбор типов измерителей

Рецензия эксперта на статью получена
16.06.2025 [The expert review of the article
was received on June 16, 2025]

Здания санаториев являются местом отдыха, лечения и восстановления, что диктует повышенные требования к качеству воздуха внутри помещений. Схема системы вентиляционной установки показана на рис. 1. В состав её приточной части входят: блок очистки воздуха; рекуператор; первая ступень подогрева приточного воздуха; нагнетатель; вторая ступень подогрева приточного воздуха; секция увлажнения приточного воздуха; шумоглушитель.

Работоспособность каждого из блоков, равно как и всей установки, должно осуществляться с применением автоматизированной системы управления (АСУ).

Разработка требований к числу измерителей и их точности в общеобменных вентиляционных установках (ОВУ) является важной задачей для повышения эффективности теплопотребления. Традиционно АСУ ОВУ оснащаются минимальным числом датчиков с наименьшей точностью и стоимостью. Должны быть установлены измерители для контроля

параметров: расход теплоносителя; температура воды и воздуха на входе и выходе калорифера; давление воды и воздуха в системе. Обычно используют два расходомера (входной и выходной) и два термометра для контроля температуры на входе и выходе.

Для каждого типа измерителя необходимо определить класс точности:

- ❑ счётчики тепла — класс точности не ниже 2,0;
- ❑ температурные датчики — точность не хуже $\pm 0,5^\circ\text{C}$;
- ❑ расходомеры — $\pm 2\%$ от полного диапазона измерений.

Применение АСУ для сбора и обработки данных целесообразно в режиме реального времени, что позволяет анализировать и оптимизировать работу ОВУ.

Разработка расширенного функционала АСУ требований к числу измерителей и их точности требует комплексного подхода, учитывающего как технические, так и экономические аспекты. Эффективное теплопотребление возможно только при

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3.

Выявление факторов, наиболее влияющих на теплопотребление систем общеобменной вентиляции санатория, и подбор типов измерителей

Сергей Вадимович Гужов, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **Андрей Андреевич Арбатский**, к.т.н., генеральный директор ООО «НИИ «Энерго-эффективных технологий микроклимата»; **Елена Владимировна Крылова**, к.п.н., доцент, заместитель директора по учебной работе Института тепловой и атомной энергетики (ИТАЭ) НИУ «МЭИ»; **Артём Андреевич Чернышев**, студент, НИУ «МЭИ»; **Анна Олеговна Сорокина**, студент, НИУ «МЭИ»

В статье описаны результаты разработки и подбора состава блоков вентиляционной приточной установки, расположенной в умеренном климатической зоне. Показаны значимые климатические факторы, необходимые к учёту при функционировании системы общеобменной вентиляции. Выполнен подбор измерительных приборов. Проанализирована целесообразность отказа от датчика температуры наружного воздуха и получение данных из системы измерительных станций города Москвы. Показано, существенное расхождение между температурами, измеренными автоматическими системами управления (АСУ) исследуемого объекта и метеостанциями Москвы. При разнице в 10 км средние температурные данные за январь 2024 года различаются на $4,21^\circ\text{C}$, при разнице в 17 км — на $5,26^\circ\text{C}$.

Ключевые слова: общеобменная вентиляция, санаторий-профилакторий, климатические факторы, метеорологическая станция, измерения, температура воздуха, влажность, расход, видеографический регистратор для измерения давления воды.

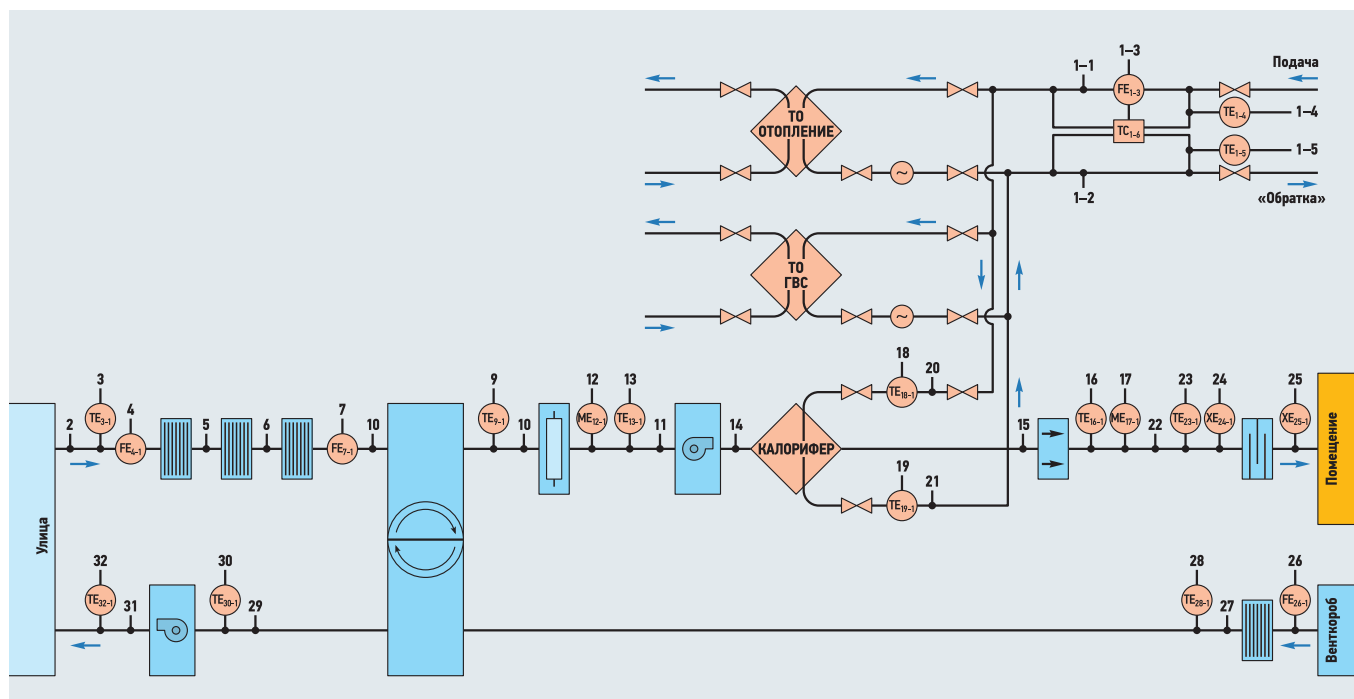
UDC 621.1.016. Scientific specialty number: 2.1.3.

Identification of the factors that most affect the heat consumption of the sanatorium's general exchange ventilation system and selection of types of meters

Sergey V. Guzhov, PhD, Associate Professor, National Research University "Moscow Power Engineering Institute"; **Andrey A. Arbatsky**, PhD, General Director of the "Research Institute of Energy-Efficient Microclimate Technologies", LLC; **Elena V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute Thermal and Nuclear Power Engineering (ITAE) NRU "MPEI"; **Artem A. Chernyshev**, student, NRU "MPEI"; **Anna O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

The article describes the results of the development and selection of the composition of the ventilation supply unit units located in a temperate climate zone. The significant climatic factors necessary to be taken into account during the operation of the general exchange ventilation system are shown. The selection of measuring instruments has been completed. The expediency of abandoning the outdoor temperature sensor and obtaining data from a system of measuring stations in Moscow is analyzed. It is shown that there is a significant discrepancy between the temperatures measured by the automated control systems of the studied object and the meteorological stations in Moscow. With a difference of 10 km, the average temperature data for January 2024 differs by 4.21°C , with a difference of 17 km — by 5.26°C .

Key words: general exchange ventilation, sanatorium, climatic factors, meteorological station, measurement, air temperature, humidity, flow rate, videographic recorder for measuring water pressure.



■ Рис. 1. Схема теплотехнического контроля очистки воздуха профилактория

наличии надёжной системы мониторинга и управления, что должно снизить затраты и повысить комфорт для потребителей. В связи с повышенными требованиями к числу измерений и их точности необходимо применять точные и по возможности «умные» датчики [1].

Расчёт прогнозного спроса на тепловую энергию ОВУ с высокой точностью требует создания индивидуальной цифровой модели теплового баланса здания, включающего, но не ограничивающегося, характеристиками теплопотребляющих устройств:

- мощность теплопотребляющего оборудования, которая указывается в паспортных данных [2];
- геометрические характеристики светопрозрачных и светонепрозрачных ограждающих конструкций;
- теплопроводность светопрозрачных и светонепрозрачных ограждающих конструкций, определенная по справочным таблицам или с применением натурных испытаний, что является предпочтительным по точности.

Собрав все необходимые данные о характеристиках источников теплоснабжения, теплопотребляющих устройствах и ограждающих конструкциях, можно провести дальнейшие расчёты для оптимизации работы АСУ ОВУ.

Измерение метеорологических факторов также актуально. Целесообразно учитывать следующие факторы:

- температура наружного воздуха на высоте 2 м над поверхностью земли, °С;
- атмосферное давление, приведённое к среднему уровню моря, мм рт. ст.;

- относительная влажность наружного воздуха на высоте 2 м над поверхностью земли, %;

- направление ветра (угол) на высоте 10–12 м над земной поверхностью, осреднённое за десятиминутный период, непосредственно предшествующий сроку наблюдения;

- скорость ветра на высоте 10–12 м над земной поверхностью, осреднённая за десятиминутный период, непосредственно предшествующий сроку наблюдения, м/с;

- процент заоблачности небосвода;
- интенсивность солнечного излучения [3];
- важен учёт локальных условий, таких как наличие затенений от больших зданий, деревьев или других объектов, которые могут экранировать объект от ветра.

Поскольку на тепловой баланс оказывают влияние наличие людей в здании и выполняемый вид физического труда, то целесообразно учитывать:

- график пребывания мужчин;
- число мужчин;
- график пребывания женщин;
- число женщин;
- график пребывания детей до 15 лет;
- число детей до 15 лет.

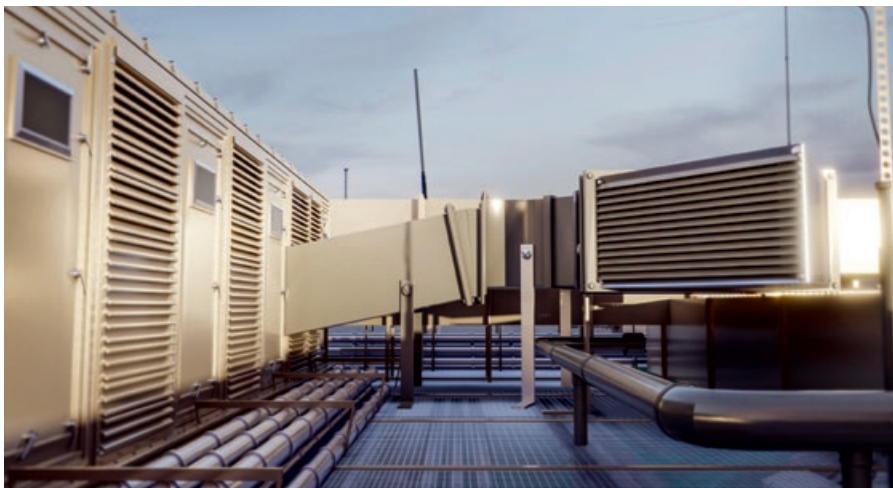
Собрав все необходимые данные о характеристиках источников теплоснабжения, теплопотребляющих устройствах и ограждающих конструкциях, можно провести расчёты для оптимизации работы АСУ ОВУ

Дополнительный учёт перечисленных выше параметров позволит обеспечить более эффективное функционирование АСУ ОВУ в различных стационарных режимах. К недостаткам подхода относится расширение и усложнение измерительной части.

Для схемы автоматизированной системы управления ОВУ (рис. 1) применяются следующие датчики:

1. Датчик избыточного давления: выходной сигнал — 4–20 мА, погрешность — $\pm 0,5\%$; тип «Метра-75 ТГ» (производитель — АО «ПГ «Метран»). Для позиций: 2–1, 5–1, 6–1, 8–1, 10–1, 11–1, 14–1, 15–1, 22–1, 27–1, 29–1, 31–1 — диапазон измерений 0–160 кПа; для 20–1, 21–1 — диапазон измерений 0–3000 кПа;

- 2–1. Давление воздуха после первого фильтра (106 кПа);
- 5–1. Давление воздуха после первого фильтра (105 кПа);
- 6–1. Давление воздуха после второго фильтра (104 кПа);
- 8–1. Давление воздуха после третьего фильтра (103 кПа);
- 10–1. Давление воздуха после рекуператора, перед подогревателем первой ступени (102 кПа);
- 11–1. Давление воздуха после подогревателя первой ступени (102 кПа);
- 14–1. Давление воздуха после улиточного вентилятора, перед калорифером (101 кПа);
- 15–1. Давление воздуха перед воздухоподогревателем второй ступени (100 кПа);
- 22–1. Давление воздуха перед шумоглушителем (100 кПа);



□ 27-1. Давление воздуха на выходе из фильтра в обратном вентиляционном трубопроводе (105 кПа);

□ 29-1. Давление воздуха после рекуператора в обратном вентиляционном трубопроводе (105 кПа);

□ 31-1. Давление воздуха после рекуператора и улиточного вентилятора в обратном вентиляционном трубопроводе (105 кПа).

2. Расходомер электромагнитный: диапазон измерений — 0–100 м³/с; выходной сигнал — 4–20 мА; погрешность — ±0,5%; номинальное значение параметра — 6,67 м/с; тип «Метран-370М» (производитель — АО «ПГ «Метран»);

□ 4-1. Расход воздуха на входе в вентиляционный трубопровод;

□ 7-1. Расход воздуха после третьего фильтра;

□ 26-1. Расход воздуха на выходе из помещения в обратном вентиляционном трубопроводе (перед фильтром);

□ 32-1. Расход воздуха на выходе после улиточного вентилятора в вентиляционном трубопроводе.

3. Термопреобразователь сопротивления: номинальная статическая характеристика (НСХ) — 50М; диапазон измерения — -50...+120 °С; предел допускаемого отклонения от НСХ — $0,3^{+0,005}|t|$; тип «Метран-2000» (производитель — АО «ПГ «Метран»);

□ 3-1. Температура воздуха на входе в вентиляционный трубопровод (-20...+30 °С);

□ 9-1. Температура воздуха после рекуператора в вентиляционном трубопроводе (-5...+30 °С);

□ 13-1. Температура воздуха после подогревателя первой ступени (-5...+30 °С);

□ 16-1. Температура воздуха после воздухоподогревателя второй ступени (+10...+40 °С);

□ 18-1. Температура воды на входе в калорифер в подающем трубопроводе (+130 °С);

□ 19-1. Температура воды на выходе из калорифера в обратном трубопроводе (+60 °С);

□ 23-1. Температура воздуха перед шумоглушителем (+40 °С);

□ 28-1. Температура воздуха на выходе из фильтра в обратном вентиляционном трубопроводе (+25 °С);

□ 30-1. Температура воздуха после рекуператора в обратном вентиляционном трубопроводе (+20...+25 °С).

4. Шумомер: диапазон измерения — до 130 дБ(А); номинальное значение параметра — 15 дБ(А); базовая погрешность — ±1,5 дБ(А); тип «Мегеон 92021»; измеряет уровень шума на входе в шумоглушитель (поз. 25-1).

5. Датчик шума: диапазон измерения — до 130 дБ(А); точность — ±3 дБ(А); номинальное значение параметра — 40 дБ(А); тип ICB300-06; измеряет уровень шума на входе в шумоглушитель (поз. 24-1).

6. Логгер данных: выходной сигнал — 4–20 мА; номинальное значение параметра — 40 дБ(А); тип ICB300-06; измеряет уровень шума на входе в шумоглушитель (поз. 24-2).

7. Датчик относительной влажности воздуха: диапазон измерений — 0–100% RH; точность измерений — ±3,5% RH; номинальное значение параметра — 35%; тип HD01 (производитель — НПП «Эконикс»); измеряет влажность воздуха после подогревателя первой ступени (поз. 12-1) и влажность воздуха после воздухоподогревателя второй ступени (поз. 17-1).

Из более 50-ти датчиков, необходимых для функционирования АСУ ОВУ, к измерениям климатических данных наружного воздуха относится только два. Следует отметить, что функционирование АСУ ОВУ существенно зависит от качества измеренных данных

8. Видеографический безбумажный регистратор для измерения давления воздуха: тип «Метран-910-4-8» (производитель — АО «ПГ «Метран»);

□ 2-2. Давление воздуха после первого фильтра (106 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 5-2. Давление воздуха после первого фильтра (105 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 6-2. Давление воздуха после второго фильтра (104 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 8-2. Давление воздуха после третьего фильтра (103 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 10-2. Давление воздуха после рекуператора, перед подогревателем первой ступени (102 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 11-2. Давление воздуха после подогревателя первой ступени (102 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 14-2. Давление воздуха после улиточного вентилятора, перед калорифером (101 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 15-2. Давление воздуха перед воздухоподогревателем второй ступени (100 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 22-2. Давление воздуха перед шумоглушителем (100 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 27-2. Давление воздуха на выходе из фильтра в обратном вентиляционном трубопроводе (105 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 29-2. Давление воздуха после рекуператора в обратном вентиляционном трубопроводе (100 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА;

□ 31-2. Давление воздуха после рекуператора и улиточного вентилятора в обратном вентиляционном трубопроводе (97 кПа): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — ±0,0006 ПВ^{+0,008} мА.

9. Видеографический безбумажный регистратор для измерения давления воды: входной сигнал — 4–20 мА; предел

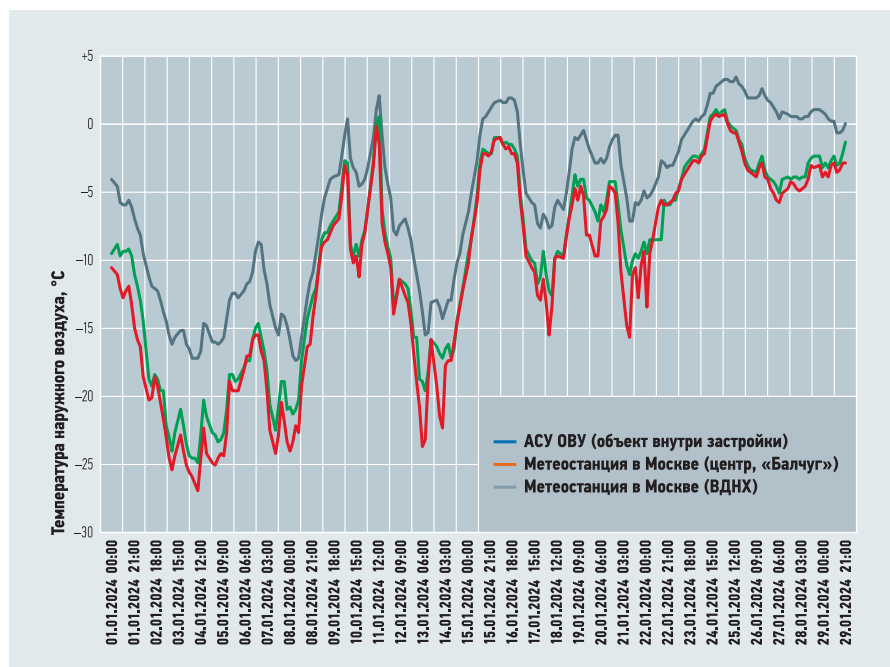


Рис. 2. Сравнение температур наружного воздуха, измеренного у ОВУ и централизованно по городу Москва

допускаемой основной погрешности — $\pm 0,0006 \text{ ПВ}^{+0,008} \text{ мА}$; номинальное давление воды на входе в калорифер в подающем трубопроводе — 2,2 МПа (поз. 20–2); номинальное давление воды на выходе из калорифера в обратном трубопроводе — 2,0 МПа (поз. 21–2); тип «Метран-910–4–8» (производитель — АО «ПГ «Метран»).

10. Видеографический регистратор, безбумажный: тип «Метран-910–4–8» (производитель АО «ПГ «Метран»):

□ 3–2. Температура воздуха на входе в вентиляционный трубопровод (–20...+30 °C): предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,5^{+0,0008} |t|$;

□ 9–2. Температура воздуха после рекуператора в вентиляционном трубопроводе (–5...+30 °C): предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,5^{+0,0008} |t|$;

□ 13–2. Температура воздуха после подогревателя первой ступени (–5...+30 °C): предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,5^{+0,0008} |t|$;

□ 16–2. Температура воздуха после воздухоподогревателя второй ступени (+10...+40 °C): предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,5^{+0,0008} |t|$;

□ 23–2. Температура воздуха на входе в вентиляционный трубопровод (+40 °C): предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,5^{+0,0008} |t|$;

□ 28–2. Температура воздуха на выходе из фильтра в обратном вентиляционном трубопроводе (+25 °C): предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,5^{+0,0008} |t|$;

□ 30–2. Температура воздуха на выходе из фильтра в обратном вентиляционном трубопроводе (+20...+25 °C): предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,5^{+0,0008} |t|$;

□ 4–2. Расход воздуха на входе в вентиляционный трубопровод (6,67 м³/с): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,0006 \text{ ПВ}^{+0,008} \text{ мА}$;

□ 7–2. Расход воздуха после третьего фильтра (6,67 м³/с): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,0006 \text{ ПВ}^{+0,008} \text{ мА}$;

Измерения значений температуры наружного воздуха должны проводиться непосредственно на объекте регулирования, иначе это приведёт к некорректной работе АСУ ОВУ

□ 26–2. Расход воздуха на выходе из помещения в обратном вентиляционном трубопроводе (перед фильтром, 6,67 м³/с): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,0006 \text{ ПВ}^{+0,008} \text{ мА}$;

□ 32–2. Расход воздуха на выходе после вентилятора типа «улитка» в вентиляционном трубопроводе (6,67 м³/с): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,0006 \text{ ПВ}^{+0,008} \text{ мА}$;

□ 12–2. Влажность воздуха после подогревателя первой ступени (0,35 %): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,0006 \text{ ПВ}^{+0,008} \text{ мА}$;

□ 17–2. Влажность воздуха после воздухоподогревателя второй ступени (0,35 %): входной сигнал — 4–20 мА; предел допускаемой основной погрешности — $\pm 0,0006 \text{ ПВ}^{+0,008} \text{ мА}$.

Нетрудно заметить, что из более 50-ти датчиков, необходимых для функционирования АСУ ОВУ, к измерениям климатических данных наружного воздуха относится только два: 3–1 «Температура воздуха на входе в вентиляционный трубопровод» и 12–2 «Влажность воздуха». Поскольку рассматриваемая схема включает рекуператор и погодозависимую автоматику, то функционирование АСУ ОВУ существенно зависит от качества измеренных данных.

К вопросам оптимизации затрат относится возможность отказа от собственных измерителей климатических факторов в пользу данных, измеряемых централизованно по городу и доступных из открытых источников [4] (рис. 2). Анализ статистических данных о реакции здания на изменения климатических факторов за несколько лет позволяет повысить точность прогноза [5, 6].

Опыт численного моделирования показывает, что целесообразнее брать данные не с общегородской метеостанции, а от собственной локальной метеостанции, так как они содержат существенно более характерной для объекта информации. Для рассматриваемого примера расхождение показаний АСУ ОВУ, расположенного в ЗАО Москвы, район Филёвского парка, с показаниями метеостанции «Балчут» в среднем за январь 2024 года составляет 4,21 °C, расстояние между точками измерений составляет 10 км. Расхождение с показаниями метеостанции «ВДНХ» в среднем по году составляет 5,26 °C, расстояние между точками измерений — 17 км. Отказ от измерения значений температуры наружного воздуха непосредственно на объекте регулирования в пользу использования данных от общегородских метеостанций приведёт к существенно некорректной работе АСУ ОВУ. ●

1. Как «умные» технологии могут изменить работу на атомных энергоблоках [Электр. текст]. «Страна РОСАТОМ» от 08.09.2022. Режим доступа: strana-rosatom.ru. Дата обрац.: 19.05.2025.
2. Горелов М.В. Какой отопительный прибор лучше? // Журнал СОК, 2024. №5. С. 40–44.
3. Гужов С.В., Ранько А.П. Исследование влияния облачности небосвода на тепловые потери зданий // Журнал СОК, 2019. №12. С. 66–68.
4. Погода в Москве (ВДНХ) [Электр. текст]. «Расписание погоды». Режим доступа: gp5.ru. Дата обрац.: 19.05.2025.
5. Мезин С.В., Благочиннов А.В., Милитонян Ш.М., Агринская С.А. Разработка нового подхода к оценке технического состояния оборудования для целей создания экспертных систем // Вестник МЭИ, 2023. №4. С. 146–154.
6. Аракелян Э.К., Андрушин А.В., Мезин С.В., Косой А.А., Ягупова Ю.Ю., Юлатов Д.А., Пашенко Ф.Ф. Проблемы учёта фактора надёжности при выборе состава генерирующего оборудования ТЭЦ на оптовом рынке электроэнергии и пути их решения // Автоматика и телемеханика, 2022. №5. С. 148–163.

References — see page 80.