

О применимости систем мониторинга компактных ПВУ для прогнозирования спроса на тепловую энергию

Рецензия эксперта на статью получена
13.05.2024 [The expert review of the article
was received on May 13, 2024]

Общее описание компоновки приточно-вытяжной установки (ПВУ) с роторным рекуператором

Основным назначением вентиляционных установок является обеспечение требуемого воздухообмена в обслуживаемых помещениях с заданным качеством воздуха. Вытяжная вентиляционная установка удаляет из помещения воздух вместе с накопившимися углекислым газом, аллергенами и пылью. Приточная установка наполняет помещения отфильтрованным, увлажнённым и нагретым либо охлаждённым наружным воздухом.

Процессы фильтрации в общем случае могут быть основаны на совершенно различных физических принципах:

- гравитационное поле (очистка движущегося воздуха от пыли происходит на длительном участке при относительно небольшой скорости воздуха);
- инерция (при резком изменении направления движения воздуха частицы пыли, по инерции сохраняя направление своего движения, ударяются о поверхность, теряют свою энергию и осаждаются в специальном бункере);
- электромагнетизм (различные электрические фильтры);
- центробежная сила (применение циклонов и скрубберов);
- механические взаимодействия на основе фильтрации воздуха через пористую перегородку, в процессе которой твёрдые частицы примесей задерживаются на ней (например, тканевые рукавные фильтры и тому подобное).

Процессы фильтрации в общем случае могут быть основаны на совершенно различных физических принципах: гравитационное поле, инерция, электромагнетизм, центробежная сила, механические взаимодействия

Как правило, наиболее массовым решением является применение тканевых фильтров. К их преимуществам можно отнести низкую стоимость закупки, отсутствие зависимости при эксплуатации от электроэнергии, маломощность, компактность, удобство замены и пр. К числу недостатков можно отнести:

- возможность повышенного шума при работе вентиляционной установки;
- возможная недостаточная мощность нагревателей;
- перегрев электродвигателей вентиляторов (рис. 1) на некоторых режимах;
- увеличенный расход фильтров и пр.

Поскольку температура наружного воздуха обычно не соответствует требованиям к температуре воздуха внутри помещения, современные приточно-вытяжные установки оснащают встроенными рекуператорами тепловой энергии. Рекуператор забирает тепловую энергию из воздуха в помещении и возвращает основную его часть потоку приточного воздуха. Если мощности рекуператора недостаточно для достижения заданной пользователем температуры, дополнительно могут быть включены нагреватели или охладители.

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3.

О применимости систем мониторинга компактных приточно-вытяжных установок с роторным рекуператором для прогнозирования спроса на тепловую энергию

С. В. Гужов, к.т.н., доцент, кафедры теплообменных процессов и установок (ТМПУ), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **А. А. Арбатский**, к.т.н., генеральный директор ООО «НИИ «Энергоэффективных технологий микроклимата»; **Е. В. Крылова**, к.п.н., доцент, заместитель директора по учебной работе Института тепловой и атомной энергетики (ИТАЭ) НИУ «МЭИ»; **А. О. Сорокина**, студент, НИУ «МЭИ»

Настройка автоматизированных систем управления (АСУ) приточной вентиляцией с рекуператором является процессом, требующим дополнительного внимания с точки зрения накопления и обработки статистической информации о базовом периоде эксплуатации. В статье приведён минимальный набор данных о показателях наружного воздуха и иных данных, позволяющих выполнить расчёт тепловых потерь для анализируемого объекта. Выявлено, что база данных, накапливаемых по показателям функционирования вентиляционной установки, недостаточна. Продемонстрировано различие интервалов времени, через которые собирается информация в базы данных АСУ вентустановки и базы климатических данных. На примере отопительного периода 2021/2022 для здания, расположенного в городе Москве, рассмотрен пример выполнения использования метода аппроксимации, применяемого для восстановления отсутствующих промежуточных данных по температуре теплоносителя. Показано, что результаты аппроксимации являются неточными, коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0,324$. Сделан вывод о требуемом периоде дискретизации не менее получасового.

Ключевые слова: общеобменная вентиляция, здание типовой застройки, проектные характеристики, прогнозирование, тепловой баланс, тепловые потери, отопительный период, дискретизация данных, период аппроксимации.

UDC 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3.

On the applicability of monitoring systems for compact air handling units with a rotary recuperator for forecasting the demand for thermal energy

S. V. Guzhov, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **A. A. Arbatsky**, PhD, General Director of "Research Institute of Energy-Efficient Technologies of Microclimate", LLC; **E. V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute of Thermal and Nuclear Energy (ITNE) of NRU "MPEI"; **A. O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

Setting up automated control systems (ACS) for supply ventilation with a heat exchanger is a process that requires additional attention in terms of accumulating and processing statistical information about the base period of operation. The article provides a minimum set of data on outdoor air indicators and other data that allow calculating heat losses for the analyzed object. It was revealed that the database accumulated on the indicators of the functioning of the ventilation system is insufficient. The difference between the time intervals through which information is collected in the databases of the ACS of the ventilation system and the database of climatic data is demonstrated. Using the example of the heating period 2021/2022 for a building located in Moscow, an example of using the approximation method used to restore missing intermediate data on the temperature of the coolant is considered. It is shown that the approximation results are inaccurate, the coefficient of determination is $R^2 = 0.324$. It is concluded that the required sampling period is at least half an hour.

Keywords: general exchange ventilation, standard building, design characteristics, forecasting, thermal balance, heat losses, heating period, data sampling, approximation period.

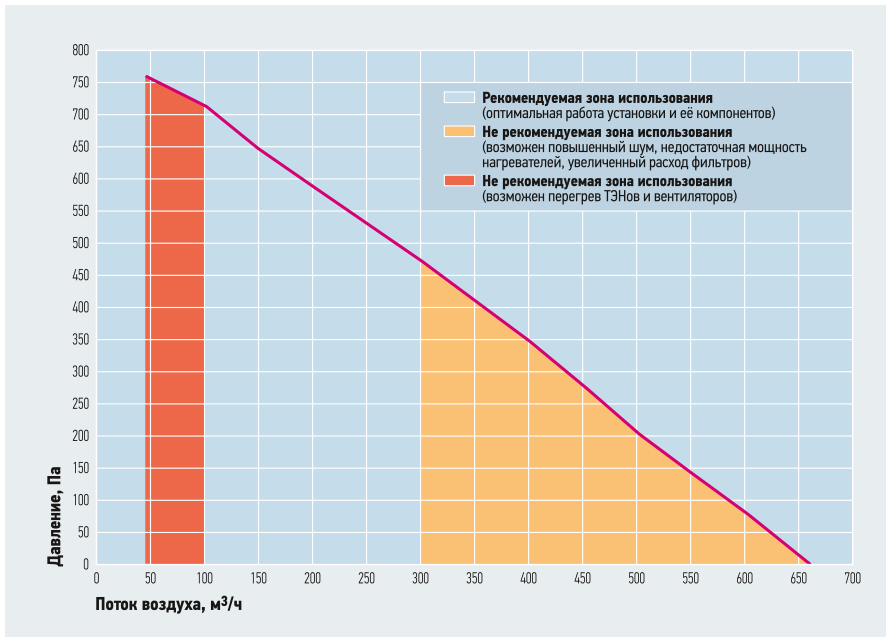


Рис. 1. Зоны использования для ПВУ с роторным рекуператором R300V [1]

К вопросам экономичности вентиляционных систем, безусловно, относится вопрос расхода тепловой энергии для подготовки наружного воздуха в холодный период года. Расчёт срока окупаемости требует применения методологии прогнозирования теплопотребления на будущие периоды [2, 3].

Выбор численности и места установки измерителей

Тепловая энергия для приточной вентиляционной установки является частью тепловой энергии, которое здание потребляет из тепловой сети. Вариант с подогревом приточного воздуха от электрокалорифера в дальнейшем не рассматривается в силу неэкономичности такого способа. Задачи прогнозирования тепловой нагрузки рассмотрены в работе [4]. Объём тепловой энергии, который необходимо поставить в здание, является разницей между тепловыми потерями и тепловыми притоками для данного объекта.

Тепловые потери здания рассчитываются по СП 50.13330.2012 [5] на основании множества данных, как о теплозащитных характеристиках объекта и его составляющих, так и о следующих климатических показателях:

- температура наружного воздуха [°C] на высоте 2 м над поверхностью земли;
- атмосферное давление [мм рт. ст.], приведённое к среднему уровню моря;
- 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 предшествовавший сроку наблюдения;

- скорость ветра [м/с] на высоте 10–12 м над земной поверхностью, осреднённое за десятиминутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения;
- процент «заоблаченности» небосвода.

Также в число анализируемых данных входит:

- значение дня (рабочий/выходной день);
- длительность пребывания мужчин, женщин и детей.

Сложность для прогнозирования теплопотребления вентустановкой состоит в отсутствии измерителей для перечисленных выше показателей. Климатическая станция располагается, как правило, не в приточной установке, а в индивидуальном тепловом пункте (ИТП).

Таким образом, на первый план выходит задача корреляции тепловой схемы вентиляционной установки и схемы установки датчиков, необходимых для функционирования системы управления и прогнозирования.

Для рассматриваемой установки R300V используются четыре измерителя температуры (рис. 2):

1. Температура наружного воздуха t_1 , °C.
2. Температура приточного воздуха t_2 , °C.
3. Температура воздуха внутри помещения t_3 , °C.
4. Температура воздуха, удаляемого из рекуператора t_4 , °C.

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс обеспечивает управление установкой с местной панели оператора или с автоматизированного рабочего места диспетчера тепловых сетей (или нескольких). Это решение не требует дополнительной прокладки линий связи, поскольку передача данных на диспетчерскую происходит в зашифрованном виде через каналы GSM, и также возможно использование других каналов связи (при их наличии). Кроме того, данный комплекс может быть полезен в случаях, когда требуется частое изменение параметров системы теплоснабжения без выезда на объект.

Функциональная схема автоматизации включает системы автоматического регулирования технологических параметров теплоносителей. Схемой автоматизации в том числе предусматривается:

- регулирование температуры в системе вентиляции согласно погодному графику;
- регулирование перепада давления в трубопроводе от системы отопления к подсистеме вентиляции;
- регулирование давления в «обратке» от подсистемы вентиляции к системе отопления;
- регулирование температуры воды в трубопроводе от системы отопления к подсистеме вентиляции;
- регулирование температуры воздуха после приточной вентустановки;
- регулирование температуры воздуха, удаляемого из рекуператора.

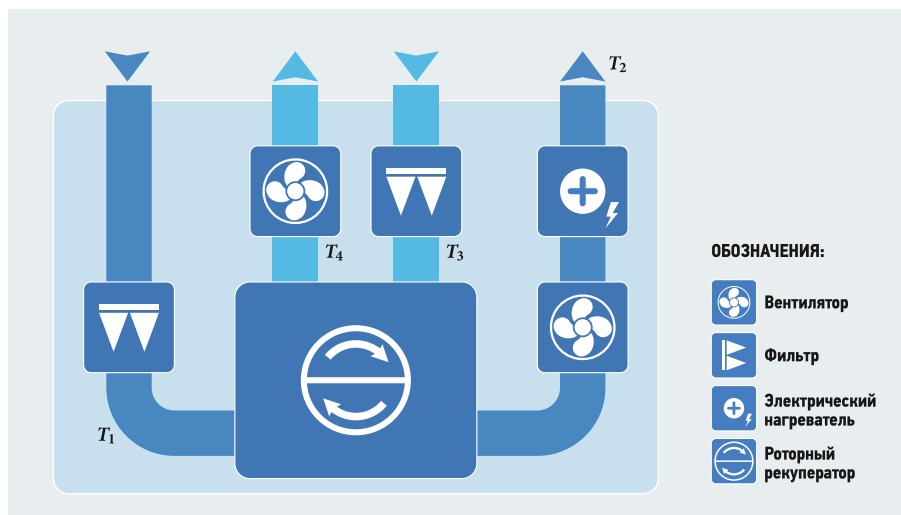


Рис. 2. Функциональная схема приточно-вытяжной установки с роторным рекуператором R300V и мест установки измерителей температуры

Структура данного программно-аппаратного комплекса является распределённой и отказ функционирования её элементов или каналов связи не влияет на работоспособность остальных элементов и всей системы. Система автоматизации отдельной вентустановки позволяет полноценно функционировать объекту в автономном режиме.

Определение достаточности посуточного измерения температуры в трубопроводе от системы отопления к подсистеме вентиляции

Определение достаточности посуточного измерения температуры в трубопроводе от системы отопления к подсистеме вентиляции имеет большое значение. По статистическим характеристикам (t_1 , t_2 , t_3 и t_4) допустимо математически восстановить график зависимости температуры теплоносителя от температуры наруж-

Существующие системы мониторинга климатических показателей в настоящее время имеют получасовую дискретизацию. Используемые системы автоматизированного регулирования параметров теплоносителя в вентиляционных установках производят измерения с ежеминутной дискретизацией или чаще. При этом запись в базу данных параметров t_1 , t_2 , t_3 и t_4 производится, как правило, ежесуточно. Существующая возможность накапливать параметры ежечасно обычно не используется по причине практической ненужности столь большого массива данных в эксплуатации.

В рамках настоящей статьи рассмотрена возможность и эффективность применения метода аппроксимации для адаптации посуточных данных t_1 , t_2 , t_3 и t_4 к получасовой климатической дискретизации. В качестве примера выбран отопительный период 2021/2022 годов.

лирования правил управления АСУ для компактных ПВУ с роторным рекуператором в описанной ситуации совершенно недопустимо.

Заключение

Приведено общее описание компоновок приточно-вытяжных установок с роторным рекуператором. Показана актуальность применения систем мониторинга для прогнозирования спроса на тепловую энергию. Перечислены требуемые для учёта климатические показатели. Показана недостаточность данных, собираемых в базу данных по вентиляционным установкам. Показано существенное различие требований по дискретизации накапливаемых данных, как со стороны АСУ вентиляционной установки, так и со стороны информации, получаемой из открытых баз данных.

Для повышения эффективности настроек вентиляционной установки для конкретного здания необходима синхронизация дискретности климатических характеристик здания и технических параметров системы

Определено, что использование метода аппроксимации, применяемого для восстановления отсутствующих промежуточных данных по температуре теплоносителя, является очень неточным. Коэффициент достоверности проведённой аппроксимирующей прямой крайне низок и составляет $R^2 = 0,324$.

Для повышения эффективности настроек вентиляционной установки для конкретного здания необходима синхронизация дискретности климатических характеристик здания и технических параметров системы. Требуемая дискретизация — не менее получасовой. ●



■ Рис. 3. Восстановленный температурный график зависимости температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха

ного воздуха [3]. Существующие аналитические и статистические методы ограничены в описании массивов нецифровой статистической информации. Вместо этого применяются нейронные сети, которые самостоятельно находят оптимальные решения. Однако у нейросетей есть некоторые недостатки: специалист, работающий с такой сетью, не всегда понимает причины выбора определённого пути решения задачи, поскольку нейронная сеть действует как «чёрный ящик». Поэтому целесообразно применение детерминированных моделей.

Результаты проведённой процедуры восстановления температурного графика зависимости температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха приведены на рис. 3.

Для каждого значения температуры наружного воздуха очевиден совершенно недопустимый разброс температур теплоносителя. Коэффициент достоверности проведённой аппроксимирующей прямой крайне низок и составляет $R^2 = 0,324$. Таким образом, проведение аппроксимирующих расчётов для прогнозирования спроса на тепловую энергию и форму-

1. «Атмосфера» — отечественный производитель вентиляционного оборудования премиального класса [Электр. текст]. «Атмосфера-вент | компактные установки». Режим доступа: vk.com. Дата общ.: 14.05.2024.
2. Гужов С.В., Арбатский А.А., Крылова К.В., Сорокина А.О. О повышении точности АСУ систем вентиляции посредством применения индексного подхода // Журнал СОК, 2024. №3. С. 50–52.
3. Гужов С.В., Арбатский А.А., Тороп Д.В. О формировании базы данных цифровой модели системы теплоснабжения здания // Журнал СОК, 2023. №6. С. 32–35.
4. Гужов С.В., Арбатский А.А., Тороп Д.В. О повышении точности регулирования систем вентиляции за счёт применения искусственных нейронных сетей // Журнал СОК, 2023. №6. С. 52–53.
5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02–2003 (с Изм. №1 и 2) / Дата введ.: 01.07.2013.

References — see page 79.

On the applicability of monitoring systems for compact air handling units with a rotary recuperator for forecasting the demand for thermal energy. Pp. 69–71.

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

1. "Atmosfera" — otechestvennyj proizvoditel' ventiljatsionnogo oborudovanija premial'nogo klassa ["Atmosphere" is a domestic manufacturer of premium-class ventilation equipment]. "Atmosfera-vent | kompaktnye ustanovki" ["Atmosphere-vent | compact installations"]. Web-source: vk.com. Access date: May 14, 2024. [In Russian]
2. S.V. Guzhov, A.A. Arbatsky, K.V. Krylova, A.O. Sorokina. *O povyshenii tochnosti ASU sistem ventiljatsii posredstvom primeneniya indeksnogo podhoda* [On increasing the accuracy of automated control systems for ventilation systems through the use of an index approach]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2024. No. 3. Pp. 50–52. [In Russian]
3. S.V. Guzhov, A.A. Arbatsky, D.V. Torop. *O formirovanii bazy dannykh tsifrovoy modeli sistemy teplosnabzhenija zdanija* [On the formation of a database of a digital model of the building's heat supply system]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2023. No. 6. Pp. 32–35. [In Russian]
4. S.V. Guzhov, A.A. Arbatsky, D.V. Torop. *O povyshenii tochnosti regulirovanija sistem ventiljatsii za schjot primeneniya iskusstvennykh neyronnykh setej* [On increasing the accuracy of regulation of ventilation systems through the use of artificial neural networks]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2023. No. 6. Pp. 52–53. [In Russian]
5. SP 50.13330.2012 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 50.13330.2012]. *Teplovaja zashita zdanij* [Thermal protection of buildings]. Aktualiz. red. SNiP 23-02-2003 (s Izm. №1 i 2) [Updated edition of Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-02-2003 (with Amendments No. 1 and 2)]. Date of impl.: July 1, 2013. [In Russian]