

**СИСТЕМА АДАПТИВНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕКУПЕРАТИВНЫХ
УСТАНОВОК С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ОБМЕРЗАНИЯ**
**ADAPTIVE AUTOMATION SYSTEM FOR REGENERATIVE
PLANTS WITH FROST PREDICTION**

Аннотация. Проблема обеспечения надёжной и энергоэффективной работы рекуперативных установок вентиляции в условиях холодного климата. Показано, что традиционные системы защиты от обмерзания, основанные на реактивном управлении, приводят к значительному снижению коэффициента полезного действия (до 75 %) и увеличению энергозатрат. Предложена интеллектуальная система автоматизации, построенная по трёхуровневой архитектуре, сочетающая высокоточную измерительную базу, адаптивную логику управления и прогнозирующую модель риска обмерзания.

Abstract. The problem of ensuring reliable and energy-efficient operation of regenerative ventilation systems in cold climates. It is shown that traditional antifreeze systems based on reactive control lead to a significant reduction in efficiency (up to 75%) and an increase in energy consumption. An intelligent automation system based on a three-level architecture is proposed, combining a high-precision measurement base, adaptive control logic and a predictive freezing risk model.

Ключевые слова: Автоматизация, рекуперация, обмерзание теплообменника, автоматизация вентиляции, адаптивное управление, прогнозирование обмерзания, ПЛК.

Keywords: Automation, heat recovery, heat exchanger freezing, ventilation automation, adaptive control, freezing prediction, PLC.

Введение. Рекуперативные установки (РУ) являются ключевым элементом энергосберегающих систем вентиляции, особенно в регионах с продолжительным холодным периодом. По данным исследований [1-3], их применение позволяет снизить энергозатраты на подогрев приточного воздуха на 50-85 %. Однако при одновременном сочетании низких температур наружного воздуха ($T_1 < -5^\circ\text{C}$) и высокой влажности вытяжного потока ($\varphi_2 > 60\%$) возникает угроза обмерзания теплообменной поверхности, что чревато ростом аэродинамического сопротивления, падением эффективности рекуперации и аварийной остановкой системы [4].

Целью работы является разработка структурной схемы системы автоматизации рекуператоров, способной не только реагировать на факты обмерзания, но и прогнозировать его на ранней стадии, минимизируя энергетические издержки.

Основной материал статьи.

Согласно СП 60.13330.2020 (актуализированная редакция СНиП 41-01-2003), п. 11.2.21 «При использовании в качестве теплоносителя воды в теплообменниках систем вентиляции и ВТЗ следует предусматривать автоматическую защиту от замерзания» [5].

Цель автоматизации – обеспечить устойчивую, энергоэффективную работу рекуперативной установки в широком диапазоне внешних условий за счёт:

- непрерывного мониторинга тепломассообменных параметров;
- прогнозирования риска обмерзания до фактического наступления;
- адаптивного выбора тактики предотвращения (не только реагирования);
- минимизации энергетических потерь при защите.



Требования к системе автоматизации приведены в таблице 2.1

Таблица 1

Требования к системе автоматизации

№	Требование	Значение / Условие
1	Время реакции на угрозу обмерзания	≤ 30 с
2	Погрешность измерения T, ϕ	$\leq \pm 0.3$ °C, ± 2 % отн. вл.
3	Частота опроса датчиков	≥ 1 Гц
4	Задержка перед включением антиобледенительного режима	≤ 5 с
5	Снижение КПД при защите	не более 30 %
6	Интерфейс передачи данных	Modbus TCP/RTU

Для достижения поставленных задач предлагается следующая схемы системы автоматизации. Схема построена по принципу трёхуровневой архитектуры автоматизации. Принцип трехуровневой архитектуры автоматизации в ГОСТ (а именно в ГОСТ Р 59795-2021) [6] подразумевает разделение системы на три уровня: уровень полевых устройств (датчики и исполнительные механизмы), уровень управления и контроля (ПЛК, контроллеры), и уровень управления предприятием (SCADA, MES, ERP системы). Эта структура обеспечивает модульность, масштабируемость и облегчает обслуживание системы, связывая нижние устройства с верхними уровнями управления.

Уровни трехуровневой архитектуры:

1) Нижний уровень (уровень полевых устройств):

- состоит из датчиков (измеряющих параметры процесса) и исполнительных механизмов (клапанов, насосов и т.д.);
- они непосредственно взаимодействуют с технологическим оборудованием и передают данные на верхний уровень.

2) Средний уровень (уровень управления):

- здесь расположены промышленные контроллеры (ПЛК) и системы управления.
- они получают данные от нижнего уровня и выполняют логику управления, обрабатывая и принимая решения в режиме реального времени.

3) Верхний уровень (уровень управления предприятием):

- включает в себя системы SCADA, MES и ERP.
- отвечает за мониторинг, управление, сбор и хранение данных на уровне всего предприятия.

На основе вышесказанного составим структурную схему системы автоматизации (рисунок 1).



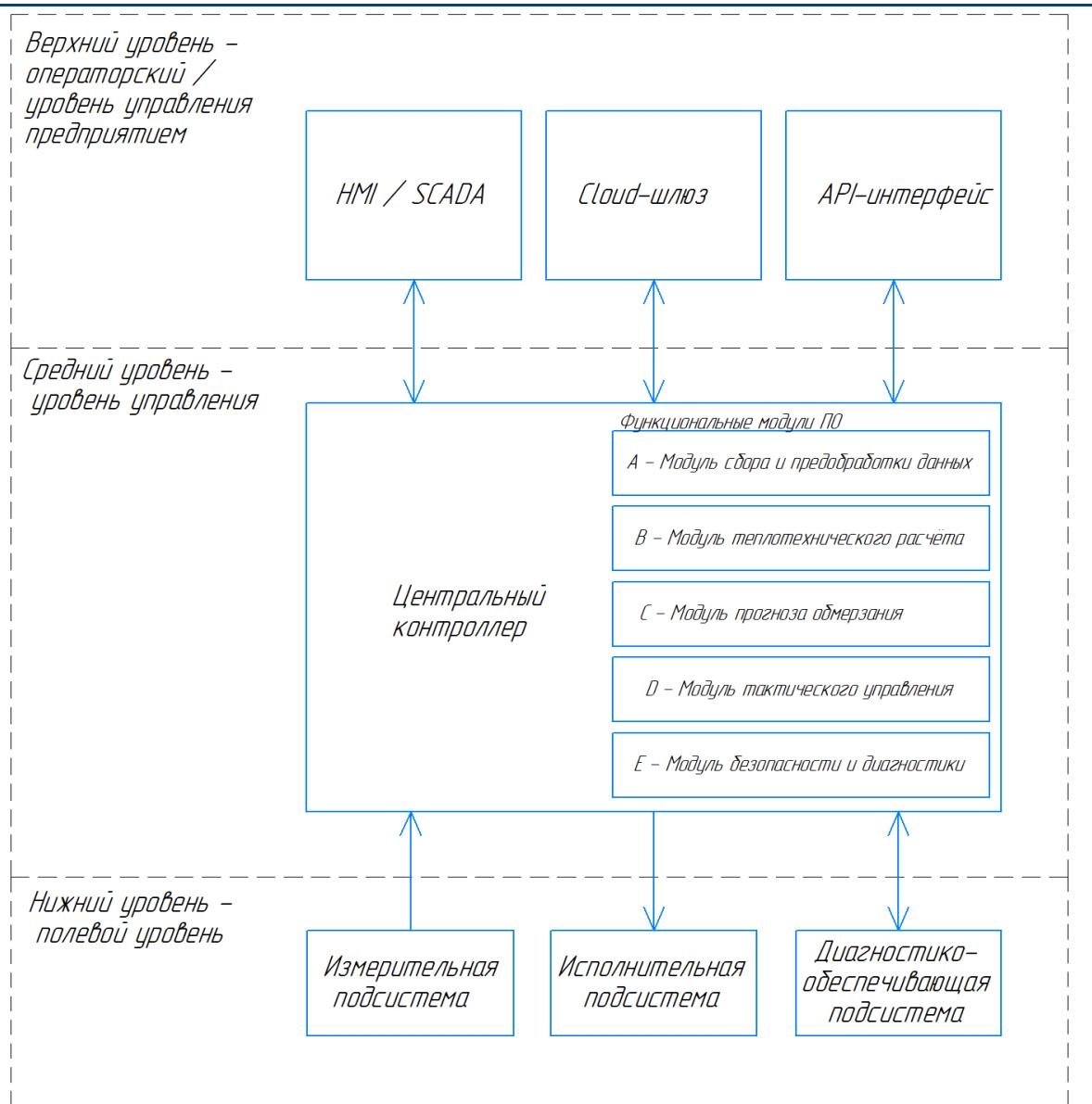


Рисунок 1. Структурная схема системы автоматизации

Преимущества трехуровневой архитектуры:

- 1) Модульность – разделение на уровни позволяет независимо разрабатывать и тестировать каждый уровень.
- 2) Масштабируемость – систему легко расширять, добавляя устройства или функциональность на любом уровне.
- 3) Надежность – выход из строя одной части системы не приводит к полному отказу.
- 4) Обслуживание – упрощает диагностику и ремонт, так как проблемы локализуются на конкретном уровне.

Список литературы:

1. Кирсанов Владимир Вячеславович, Игнаткин Иван Юрьевич Способ повышения эффективности рекуперации теплоты в условиях инеообразования // Агроинженерия. 2017. №4 (80). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-povysheniya-effektivnosti-rekuperatsii-teploty-v-usloviyah-ineeobrazovaniya> (дата обращения: 11.11.2025).



2. Проценко В. П. Энергетическая эффективность систем утилизации теплоты вентиляционных выбросов с помощью тепловых насосов // Промышленная энергетика. 1986. №11. С. 45-48.
3. Печенегов Ю.Я. Технико-экономический анализ и методика расчета оптимизированных пластинчатых теплоплоутилизаторов// Промышленная энергетика. 2012. №3. С.46-49.
4. Степаненко, М.Н., Шелгинский А.Я. Анализ эффективности использования теплоты вентиляционных выбросов в системах вентиляции здания // Энергосбережение в системах тепло- и газоснабжения. Повышение энергетической эффективности: Тез. 4 МНПК. –СПб. 2013. С. 117 – 123.
5. СП 60.13330.2020. Актуализированная редакция СНиП 41–01–2003. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2021–07–01. – М.: Минрегион России, 2020. – 115 с.
6. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов: ГОСТ Р 59795-2021. – Введ, с 30.04.2022. – Москва: Стандартинформ, 2021. – 27 с.

