

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕМ ЦЕХА ХРАНЕНИЯ ПРОДУКТОВ

Лойко А.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ключицкий А.Ю. – канд. физ.-мат. наук

Дипломная работа посвящена модернизации системы автоматизации холодоснабжения цеха хранения продуктов на мясоперерабатывающем предприятии УП «Брестские традиции». Проведён анализ существующих систем холодоснабжения на аналоговых предприятиях, выявлены недостатки базовой релейно-контактной схемы управления, обоснована необходимость внедрения частотно-регулируемого привода и интеллектуальных алгоритмов управления оттайкой. Предложена трехуровневая архитектура АСУТП, разработаны структурная и функциональная схемы управления воздухоохладителем, выполнены блок-схемы каскадного ПИД-регулирования с адаптацией коэффициентов и алгоритма оттайки по фактической потребности, обоснован выбор технических средств (контроллер ОВЕН ПЛК210, частотный преобразователь ОВЕН ПЧВ2, датчики ОВЕН ДТС125, ПД100-ДИ, ДВ100-RS485).

Введение и обоснование актуальности

Мясоперерабатывающая промышленность относится к наиболее энергоёмким отраслям АПК: до 30–40% всей потребляемой электроэнергии на мясокомбинате расходуется на холодоснабжение. При этом нарушение температурного режима в камерах хранения даже на короткое время ведёт к развитию патогенной микрофлоры, потере влаги (усушке), необратимому изменению структуры и цвета мяса, что вызывает прямые экономические потери и риски для здоровья потребителей. В условиях роста тарифов на энергоносители и ужесточения требований к качеству продукции задача обеспечения надёжного, стабильного и энергоэффективного функционирования холодильного оборудования приобретает критическую важность. Дипломная работа направлена на переход от устаревшей релейной автоматики к интеллектуальной системе управления на базе программируемых логических контроллеров и частотно-регулируемого привода.

Существующее состояние технических решений

Проведён сравнительный анализ систем холодоснабжения шести предприятий (Гродненский, Витебский, Слуцкий, Волковысский, Минский мясокомбинаты и АПХ «Мираторг»). Установлено, что передовые решения используют каскадные установки NH_3/CO_2 , частотное регулирование, оттайку горячим паром и SCADA-мониторинг. Базовая система на УП «Брестские традиции» построена на централизованном распределении гликоля, поршневых компрессорах Bitzer и контроллерах Danfoss. К её недостаткам относятся: отсутствие плавного регулирования мощности (работа в режиме «пуск-остановка» с пусковыми токами, превышающими номинальные в 5–7 раз); примитивная оттайка по жёсткому временному интервалу, приводящая к избыточным теплопритокам; двухпозиционное терморегулирование с колебаниями температуры $\pm 2^\circ\text{C}$, что негативно сказывается на качестве хранения.

Концептуальная основа проектируемой системы

В ответ на выявленные ограничения предложена трехуровневая архитектура АСУТП: полевой уровень (датчики Pt100, давления, влажности, соленоидные клапаны), контроллерный уровень (ПЛК с резервированием, панель оператора, частотный преобразователь) и диспетчерский уровень (SCADA, MES, облачный мониторинг). Ключевая идея – переход от дискретного управления к непрерывному регулированию скорости вентилятора воздухоохладителя через ЧРП и замена временной оттайки на оттайку по фактической потребности. Это позволяет исключить ударные нагрузки на электросеть, снизить энергопотребление на 25–35%, повысить точность поддержания температуры до $\pm 0,5^\circ\text{C}$ и увеличить ресурс компрессорного оборудования.

Алгоритмическая реализация и архитектурные решения

Разработаны два основных алгоритма, реализованных в среде программирования ПЛК ОВЕН ПЛК210.

1. Алгоритм каскадного ПИД-регулирования температуры с адаптацией коэффициентов. На входе – медианное значение от трёх резервированных датчиков Pt100 (принцип «2 из 3»). В зависимости от величины ошибки (большая $>1^\circ\text{C}$, малая $<0,3^\circ\text{C}$, смена знака) автоматически изменяются коэффициенты K_p , K_i , K_d , что обеспечивает быстрый выход на режим при загрузке тёплой продукции и точную стабилизацию без перерегулирования. Выходной сигнал 4–20 мА задаёт частоту вращения вентилятора (мин. 30% для предотвращения «залипания»). Каскадно управляется соленоидный клапан подачи хладоносителя: закрывается при длительном нахождении PID_Out на минимальном уровне.

2. Алгоритм оттайки по фактической потребности. Контроллер непрерывно анализирует разность температур воздуха на входе и выходе калорифера охлаждения (порог 8°C в течение 15 минут), время работы в режиме охлаждения с момента последней оттайки (макс. 8 часов) и количество циклов включения клапана охлаждения (более 100 за 8 часов). При выполнении любого из условий и

закрытой двери камеры инициируется оттайка горячим гликолем с контролем максимальной длительности и обязательной паузой для стекания конденсата. Такой подход сокращает количество циклов оттайки на 40–50%, минимизирует температурные колебания и снижает расход тепловой энергии.

Техническая реализация базируется на контроллере ОВЕН ПЛК210 (высокая производительность, Ethernet, RS-485, поддержка Pt100 и аналоговых сигналов), частотном преобразователе ОВЕН ПЧВ2 (управление 4–20 мА, защита, Modbus RTU), датчиках температуры ОВЕН ДТС125 (Pt100, $\pm 0,15^\circ\text{C}$, IP65), давления ОВЕН ПД100-ДИ (4–20 мА, 0–10 бар) и влажности ОВЕН ДВ100-RS485 (Modbus RTU, $\pm 1,5\%$ RH). Выбор оборудования обоснован оптимальным сочетанием стоимости, надёжности, совместимости и достаточности функционала для задач холодильной камеры.

Практическая значимость и ожидаемые результаты

Внедрение предложенной системы автоматизации на УП «Брестские традиции» позволит:

- снизить энергопотребление компрессорного и насосного оборудования на 25–35% за счёт плавного регулирования производительности;
- повысить точность поддержания температуры в камерах хранения с $\pm 2^\circ\text{C}$ до $\pm 0,5^\circ\text{C}$, что уменьшит усушку продукции и улучшит её сохраняемость;
- сократить количество аварийных остановов и увеличить межремонтный ресурс компрессоров Bitzer благодаря исключению пусковых токов и гидравлических ударов;
- обеспечить соответствие требованиям ХАССП и международных стандартов за счёт непрерывного архивирования параметров (тренды, журналы событий) и резервирования критических датчиков;
- создать основу для дальнейшей интеграции в MES-систему предприятия и использования «цифровых двойников» холодильных установок.

Таким образом, работа закладывает практический базис для модернизации систем холодоснабжения на предприятиях пищевой промышленности с достижением значительного экономического и технологического эффекта.

Список использованных источников:

1. ISO 23953-2:2015. Refrigerated display cabinets – Part 2: Classification, requirements and test conditions.
2. Пьявченко О.Н. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2013.
3. ОВЕН. Контроллеры ПЛК210. Руководство по эксплуатации. – М.: ОВЕН, 2022.
4. Bitzer. Screw Compressors for Refrigeration. Operating Instructions. – Bitzer, 2021.