

Ссылка для цитирования этой статьи:

Важдает К.В., Смирнов Н.В., Юсупов А.М. Техничко-экономическое обоснование разработки системы автоматизации микроклимата в овощном и винном погребах на базе ПЛК ОВЕН ПР205 // Human Progress. 2026. Том 12, Вып. 7. URL: http://progress-human.com/images/2026/Tom12_7/Vazhdaev.pdf DOI 10.46320/2073-4506-2026-7a-1.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА В ОВОЩНОМ И ВИННОМ ПОГРЕБАХ НА БАЗЕ ПЛК ОВЕН ПР205

Важдает Константин Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет;
доцент кафедры «Электроника и физика наноструктур»,
Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Российская Федерация

Смирнов Николай Владиславович

инженер-исследователь,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Юсупов Артур Мансафович

инженер-исследователь,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлено технико-экономическое обоснование разработки системы автоматизации микроклимата для овощных и винных погребов.

Разработанная система позволяет оптимизировать режимы хранения продукции за счёт точного контроля температуры и влажности. Благодаря использованию современного оборудования и программного обеспечения, достигается высокая точность поддержания заданных параметров, что способствует сохранению качества продукции.

Экономическая эффективность проекта подтверждается расчётами, учитывающими затраты на оборудование, монтаж и эксплуатацию системы. Внедрение автоматизации позволяет сократить потери продукции, повысить её сохранность и продлить сроки хранения. Кроме того, система обеспечивает возможность удалённого мониторинга и управления через

облачный сервис OwenCloud, что упрощает техническое обслуживание и снижает эксплуатационные расходы.

Представленное технико-экономическое обоснование демонстрирует перспективность применения ПЛК ОВЕН ПР205 для автоматизации микроклимата в погребах, обеспечивая оптимальное качество хранения продукции при минимальных затратах.

Ключевые слова: технико-экономическое обоснование, экономическая эффективность, оптимизация режимов хранения продукции, автоматизация микроклимата.

Введение

Человечество на протяжении всей своей истории сталкивалось с необходимостью сохранять выращенный урожай в зимний период. Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, глобальные потери продукции растениеводства на этапах хранения и транспортировки достигают 30-40 процентов [1]. В условиях личных подсобных хозяйств и малых фермерских предприятий эти потери часто оказываются ещё выше, что непосредственно сказывается на продовольственной безопасности и экономической эффективности производства.

Основной причиной порчи продукции при хранении является несоблюдение оптимальных параметров микроклимата, а именно температуры, относительной влажности воздуха и газового состава в хранилище [2]. Для винных погребов нарушение этих параметров приводит к преждевременному старению вина, порче пробок и ухудшению вкусовых качеств напитков.

Традиционные погреба и подвалы, составляющие основу малых хранилищ, редко оснащаются средствами автоматического контроля. Ручное регулирование условий требует значительных временных затрат и не обеспечивает необходимой точности и стабильности [3].

Современный уровень развития промышленной автоматизации, появление доступных программируемых логических контроллеров отечественного производства, таких как ОВЕН ПР205, а также профессиональных датчиков с унифицированным выходным сигналом 4-20 мА позволяют создавать недорогие и эффективные системы автоматизации [4]. Целью данной работы является разработка системы автоматического поддержания микроклимата в овощном и винном погребах на базе промышленного ПЛК ОВЕН ПР205.

Целью данной работы является технико-экономическое обоснование разработки системы автоматического поддержания микроклимата в овощном и винном погребах на базе промышленного ПЛК ОВЕН ПР205.

Материалы и методы исследований

Для овощного погреба оптимальная температура находится в узком диапазоне от одного до трёх градусов Цельсия [5]. При температуре ниже нуля происходит подмораживание тканей и разрушение клеточных структур, а при повышении выше четырёх градусов значительно ускоряются процессы дыхания, начинается прорастание картофеля и активизируются гнилостные бактерии. Для винного погреба оптимальная температура в среднем составляет от десяти до четырнадцати градусов [6]; при более высоких значениях вино стареет слишком быстро, а при более низких замедляются процессы его созревания.

Что касается влажности, то для овощного погреба оптимальным считается диапазон 85–90 процентов, поскольку корнеплоды требуют высокой влажности, иначе они теряют тургор и вянут. Картофель также хорошо хранится при влажности 85–90 процентов, однако при превышении 95 процентов на клубнях конденсируется влага, что провоцирует развитие фитофтороза [7]. Для винного погреба оптимальная влажность составляет 65–75 процентов: при более низких значениях пробка высыхает, в бутылку попадает воздух и вино окисляется, а при более высоких на пробках и этикетках развивается плесень, что портит внешний вид и может передать вину неприятный запах.

На основании анализа литературных данных для проектируемой системы были выбраны следующие уставки: для овощного погреба температура поддерживается в диапазоне от одного до трёх градусов (целевое значение – два градуса), влажность – от 80 до 90 процентов (целевое значение – 85 процентов); для винного погреба температура поддерживается от 10 до 14 градусов (целевое значение – 12 градусов), влажность – от 65 до 75 процентов (целевое значение – 70 процентов). Концентрация углекислого газа в обоих помещениях не должна превышать 800 ppm. Эти параметры сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Установки параметров микроклимата для помещений

Помещение	Параметр	Нижний порог	Верхний порог	Целевое значение
Овощной погреб	Температура, °C	+1	+3	+2
Овощной погреб	Влажность, %	80	90	85
Винный погреб	Температура, °C	+10	+14	+12
Винный погреб	Влажность, %	65	75	70

Ключевым газовым фактором в малых погребах является углекислый газ (CO₂), который накапливается в результате дыхания овощей. Повышенное содержание CO₂ (более

800 ppm) служит индикатором недостаточной вентиляции, при которой также накапливается этилен, ускоряющий созревание овощей. Поэтому в проектируемой системе датчик CO₂ используется для управления вентиляцией. К датчикам температуры и влажности, устанавливаемым в погребах, предъявляются требования высокой точности, долговременной стабильности, устойчивости к конденсату и возможности передачи сигнала на расстояние до нескольких десятков метров. Для решения поставленной задачи выбран датчик ОВЕН ПВТ10 (исполнение с выходным сигналом 4-20 мА) в количестве 4 штук (табл. 2).

Таблица 2

Технические характеристики датчика ПВТ10

Параметр	Значение
Диапазон измерения температуры	-50...+50°C
Погрешность измерения температуры	±0.3°C
Диапазон измерения влажности	0...100%
Погрешность измерения влажности	±2%
Выходной сигнал	4-20 мА
Питание	10...28 В DC
Степень защиты	IP65

Для контроля концентрации углекислого газа выбран газоанализатор ПГУ-А с выходным сигналом 4-20 мА в количестве двух штук. Его диапазон измерения составляет от 0 до 5000 ppm, а степень защиты IP66 позволяет устанавливать датчик непосредственно в погребе без дополнительной защиты.

В качестве управляющего устройства выбран программируемый логический контроллер ОВЕН ПР205-24.1816.02.2.0, технические характеристики которого представлены в таблице 3. Контроллер питается от напряжения 24 вольта постоянного тока, имеет шесть аналоговых входов для сигналов 4-20 мА, восемь транзисторных дискретных выходов (24 вольта, 0,5 ампера), два интерфейса RS-485 и Ethernet, поддерживает протоколы Modbus RTU и Modbus TCP, а его рабочая температура составляет от минус 20 до плюс 55 градусов Цельсия. Наличие шести аналоговых входов позволяет подключить все шесть датчиков (четыре ПВТ10 и два ПГУ-А) без использования внешних модулей расширения, а интерфейсы RS-485 предназначены для связи с регуляторами Гидролок.

Таблица 3

Технические характеристики ПЛК ОВЕН ПР205-24.1816.02.2.0

Параметр	Значение
Питание	24 В DC (±20%)
Количество аналоговых входов	6 (4-20 мА, 0-10 В)
Количество дискретных выходов	8 (транзисторные, 24 В / 0.5 А)

Интерфейсы	Ethernet, 2×RS-485
Поддерживаемые протоколы	Modbus RTU, Modbus TCP
Среда программирования	CODESYS (FBD, ST, LD)
Рабочая температура	-20...+55 °C
Степень защиты	IP20

Поскольку дискретные выходы ПЛК могут коммутировать ток не более 0,5 ампера, а пусковой ток вентиляторов достигает 2–3 ампер, для усиления сигналов выбраны промежуточные реле РЭК 77 с питанием катушки 24 вольта и коммутируемым током контактов 10 ампер при напряжении 250 вольт переменного тока. Для удаления углекислого газа и этилена из помещений объёмом до 20 кубических метров выбраны канальные вентиляторы «ВЕНТС 100 ВКО», работающие от сети 220 вольт переменного тока, потребляющие мощность 14 ватт и обеспечивающие производительность до 105 кубических метров в час. Степень защиты вентиляторов IPX4 достаточна для эксплуатации в условиях повышенной влажности [8].

Для плавного регулирования температуры выбраны два регулятора Гидролок Professional BS RS-485, которые получают команды от ПЛК по протоколу Modbus RTU и вращают шаровые краны на батареях отопления. Эти регуляторы питаются от напряжения 24 вольта постоянного тока, имеют крутящий момент 100 Н·м и угол поворота 90 градусов.

Для питания всех компонентов напряжением 24 вольта постоянного тока выбран блок питания MeanWell DR-60-24, обеспечивающий выходной ток 2,5 ампера при мощности 60 ватт. Расчётное потребление по цепи 24 вольта составляет примерно 1,44 ампера, таким образом, запас по току превышает 70 процентов. Защита силовых цепей напряжением 220 вольт выполнена с помощью автоматических выключателей ВА47-29. Вводной автомат QF1 рассчитан на номинальный ток 10 ампер, автоматы вентиляторов QF2 и QF3 – на 2 ампера, а автомат блока питания QF4 – на 6 ампер.

Результаты исследования и обсуждение

Разработанная структурная схема (рис. 1) построена по замкнутому принципу управления с отрицательной обратной связью и реализует комбинированное регулирование. Овощной погреб оснащён тремя датчиками (ПВТ10-1 для измерения температуры, ПВТ10-2 для измерения влажности и ПГУ-А-1 для измерения CO₂). Винный погреб оснащён аналогичным набором (ПВТ10-3, ПВТ10-4 и ПГУ-А-2). Все шесть датчиков подключены по трёхпроводной схеме (провод питания +24 вольта, общий провод GND и сигнальный провод 4-20 мА) к соответствующим аналоговым входам ПЛК. Общий провод аналоговых входов

(клемма 12 COM) соединён с шиной GND блока питания 24 вольт, что обеспечивает замыкание токовой петли 4-20 мА.

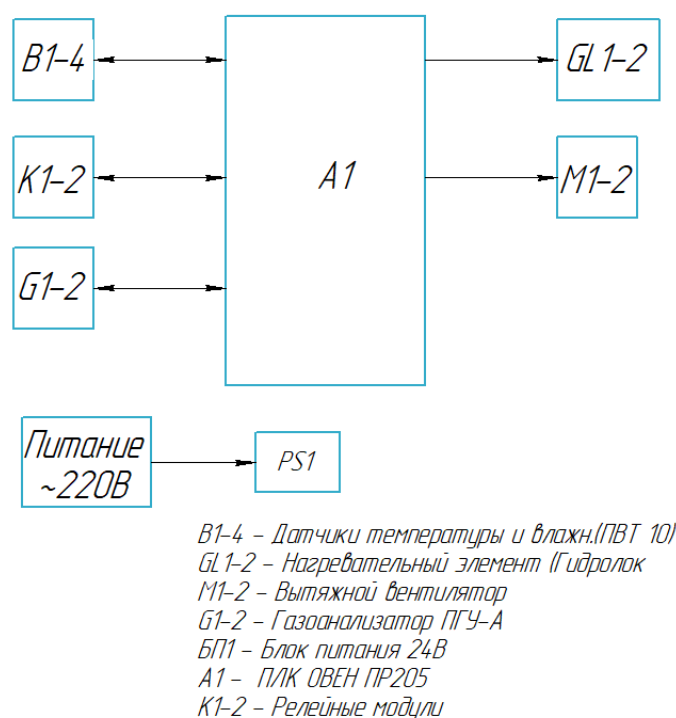


Рисунок 1. Структурная схема системы автоматизации микроклимата погребов

ПЛК циклически опрашивает аналоговые входы, преобразует полученные значения (ток от 4 до 20 мА) в физические величины (температуру в диапазоне от минус 50 до плюс 50 градусов, влажность от 0 до 100 процентов, концентрацию CO₂ от 0 до 5000 ppm) и сравнивает их с заданными уставками [9]. При превышении порога CO₂ (800 ppm) или выходе влажности за допустимые границы ПЛК переводит дискретный выход DO1 (для овощного погреба) или DO2 (для винного) в состояние «логическая единица», что через промежуточное реле включает соответствующий вентилятор. При отклонении температуры от нормы ПЛК формирует цифровую команду по протоколу Modbus RTU и через интерфейс RS-485 отправляет её регулятору Гидролок: адрес 1 для овощного погреба, адрес 2 для винного. Регулятор, получив команду, поворачивает шаровой кран на батареи отопления, изменяя количество поступающего в помещение тепла.

Разработанная принципиальная электрическая схема (рис. 2) включает три основные части: цепи питания 24 вольт, аналоговые сигналы 4-20 мА и интерфейс RS-485. Блок питания PS1 (MeanWell DR-60-24) получает питание 220 вольт от автомата QF4. Выход +24

вольта подключён к общей шине питания, от которой запитываются ПЛК (клемма 1), все датчики ПБТ10 и ПГУ-А, регуляторы Гидролок и катушки промежуточных реле К1 и К2. Выход GND (0 вольт) подключён к шине GND и к клемме 12 (COM) ПЛК, что обеспечивает замыкание измерительной цепи для всех датчиков.

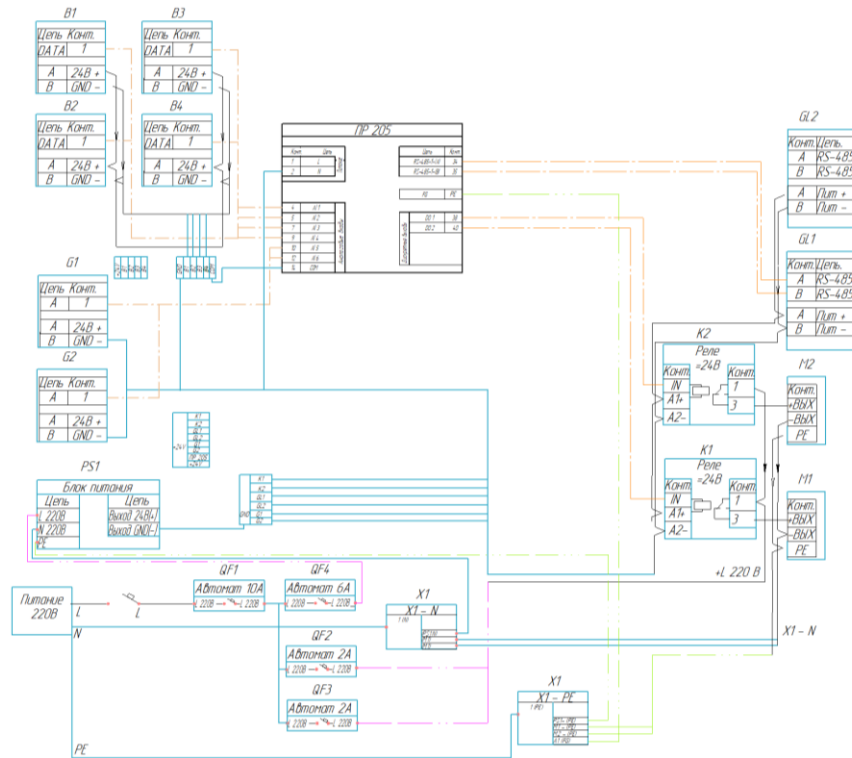


Рисунок 2. Принципиальная электрическая схема системы

Подключение датчиков к аналоговым входам ПЛК выполнено по трёхпроводной схеме. К аналоговому входу AI1 (клемма 7) подключён ПБТ10-1 (температура овощного погреба), к AI2 (клемма 8) – ПБТ10-2 (влажность овощного погреба), к AI3 (клемма 9) – ПГУ-А-1 (CO₂ овощного), к AI4 (клемма 10) – ПБТ10-3 (температура винного), к AI5 (клемма 11) – ПБТ10-4 (влажность винного) и к AI6 (клемма 14) – ПГУ-А-2 (CO₂ винного). Клемма 34 (A) ПЛК подключена к клеммам А обоих регуляторов Гидролок параллельно, а клемма 35 (В) – к клеммам В. Линия связи выполнена экранированной витой парой, экран которой подключён к шине РЕ только со стороны ПЛК.

У ПЛК ОВЕН PR205 имеется отдельная клемма FG (функциональное заземление), предназначенная для отвода высокочастотных помех и электростатических разрядов. Эта клемма соединена отдельным жёлто-зелёным проводом сечением 0,75 квадратных миллиметра с общей шиной защитного заземления РЕ, что позволяет стабилизировать потенциал «земли» контроллера и улучшить помехоустойчивость аналоговых входов и

интерфейса RS-485. Расчётные параметры системы. Выполненный расчёт потребляемой мощности по цепи 24 вольта показал, что ПЛК потребляет около 15 ватт (0,625 ампера), четыре датчика ПВТ10 – в сумме не более 6 ватт (0,25 ампера), два газоанализатора ПГУ-А – не более 4 ватт (0,166 ампера), а два регулятора Гидролок при работе – около 10 ватт (0,4 ампера). Таким образом, суммарное энергопотребление по цепи 24 вольта составляет 35 ватт при токе 1,44 ампера. Блок питания MeanWell DR-60-24 имеет номинальный ток 2,5 ампера, поэтому запас по току составляет более 70 процентов, что гарантирует надёжную работу всех компонентов.

Обсуждение

Разработанная система имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными решениями. В отличие от бытовых терморегуляторов и гигростатов, которые управляют только одним параметром и не имеют связи между собой, что приводит к конфликтам (например, когда нагрев и вентиляция включаются одновременно), предложенная система учитывает три параметра одновременно с заданными приоритетами.

По сравнению с системами на базе Arduino, которая представляет собой учебную платформу и не предназначена для работы в промышленных условиях (высокая влажность, отрицательные температуры), ПЛК ОВЕН ПР205 имеет рабочий диапазон от минус 20 до плюс 55 градусов, степень защиты IP20 и аппаратные аналоговые входы 4-20 мА. Для Arduino потребовались бы дополнительные модули и библиотеки, тогда как ПЛК поддерживает протокол Modbus RTU «из коробки». В сравнении с промышленными климатическими комплексами, которые имеют высокую точность, но стоят сотни тысяч рублей, разработанная система из отечественных компонентов обходится примерно в 83 тысячи рублей, что вполне доступно для частного домовладельца или малого фермерского хозяйства.

Следует отметить, что в разработанной системе не предусмотрено управление увлажнителем, поскольку по техническому заданию он был исключён. Поддержание влажности осуществляется только за счёт вентиляции, что приемлемо для климатических условий большинства регионов России, где влажность в погребах редко опускается ниже нижнего порога. Система также не измеряет внешние параметры (температуру грунта и наружного воздуха), однако это ограничение компенсируется замкнутой структурой управления – ПЛК реагирует на изменения внутренних параметров, вызванные внешними возмущениями, и корректирует управляющие воздействия.

Выбор замкнутой структуры управления с отрицательной обратной связью обеспечивает стабильную работу системы даже при изменении внешних условий, например

при занесении свежего урожая, который начинает активно дышать и выделять тепло и углекислый газ. Применение датчиков с унифицированным сигналом 4-20 мА позволило упростить монтаж (все датчики подключаются по одинаковой трёхпроводной схеме) и повысить надёжность системы – при обрыве провода ПЛК фиксирует нулевой ток и может сигнализировать об аварии. Полученные результаты согласуются с данными, приведёнными в работах [2], [3], [7], где обоснована необходимость автоматизации микроклимата для снижения потерь продукции. Применение отечественного ПЛК ОВЕН ПР205 в системах автоматизации хранения сельскохозяйственной продукции ранее рассматривалось в ограниченном числе публикаций, и предложенное решение восполняет этот пробел.

Заключение

В статье представлено технико-экономическое обоснование разработки системы автоматизации микроклимата для овощных и винных погребов.

Экономическая эффективность проекта подтверждается расчётами, учитывающими затраты на оборудование, монтаж и эксплуатацию системы. Внедрение автоматизации позволяет сократить потери продукции, повысить её сохранность и продлить сроки хранения. Кроме того, система обеспечивает возможность удалённого мониторинга и управления через облачный сервис OwenCloud, что упрощает техническое обслуживание и снижает эксплуатационные расходы.

Определены целевые параметры микроклимата: для овощного погреба температура поддерживается в диапазоне 1-3 градуса Цельсия (целевое значение 2 градуса) при влажности 80-90 процентов (целевое значение 85 процентов) и концентрации CO₂ не более 800 ppm; для винного погреба температура поддерживается в диапазоне 10-14 градусов (целевое значение 12 градусов) при влажности 65-75 процентов (целевое значение 70 процентов) и той же концентрации CO₂.

Обоснован выбор технических средств, включающий четыре датчика ПВТ10 с выходом 4-20 мА, два газоанализатора ПГУ-А, один ПЛК ОВЕН ПР205, два регулятора Гидролок Pro BS RS-485, два вентилятора ВЕНТС 100 ВКО, один блок питания MeanWell DR-60-24, четыре автоматических выключателя ВА47-29 и два промежуточных реле РЭК 77. Разработана структурная схема, реализующая замкнутое комбинированное регулирование: двухпозиционное для вентиляции и непрерывное для регулирования температуры. Выполнен расчёт потребляемой мощности, подтверждающий правильность выбора блока питания.

Разработанная система может быть собрана из серийно выпускаемых отечественных компонентов и установлена в частном доме или малом фермерском хозяйстве.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются подключение панели оператора для визуализации параметров, интеграция с облачным сервисом OwenCloud для удалённого мониторинга, добавление датчика этилена для более точного управления вентиляцией и использование ПИД-регуляторов для точного поддержания температуры в винном погребе.

Список литературы

1. Крапива Т.В., Давыденко Н.И., Маюрникова Л.А. Цифровая трансформация пищевой промышленности России – фудтех. Состояние и структура отрасли // Продовольственная политика и безопасность. 2024. Т. 11, № 3. С. 519-540. DOI 10.18334/ppib.11.3.121591. EDN RHELKB.
2. Трисвятский Л.А. Хранение зерна, плодов, овощей и винограда. М.: Колос, 2008. 352 с.
3. Монастырский О.А., Тарасенко В.П. Автоматизация технологических процессов в сельском хозяйстве. М.: КолосС, 2010. 328 с.
4. Петров В.И. Системы автоматизации в сельском хозяйстве. СПб.: Лань, 2022. 256 с.
5. ГОСТ Р 55901-2013. Хранение картофеля, овощей и плодов. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
6. Джонсон Х. Иллюстрированная энциклопедия вин. М.: ВВРГ, 2014. 416 с.
7. Рыбальченко А.В. Потери сельскохозяйственной продукции: масштабы и пути снижения // Агроинженерное обеспечение устойчивого развития АПК. 2019. № 3. С. 45-50.
8. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 2020. 464 с.
9. CODESYS: от основ программирования до промышленной автоматизации. М.: Инфра-Инженерия, 2022. 408 с.

FEASIBILITY STUDY FOR THE DEVELOPMENT OF A MICROCLIMATE AUTOMATION SYSTEM IN VEGETABLE AND WINE CELLARS BASED ON THE OWEN PR205 PLC

Vazhdaev Konstantin Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Head of the Department of «Water Supply and Sanitation»,
Ufa State Petroleum Technological University Russian Federation;
Associate Professor of the Department of «Electronics and Physics of Nanostructures»,
Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation

Smirnov Nikolay Vladislavovich

Research engineer,
Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation

Yusupov Artur Mansafovich

Research engineer,
Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation

Abstract. This article presents a feasibility study for developing a microclimate automation system for vegetable and wine cellars.

The developed system optimizes product storage conditions through precise temperature and humidity control. The use of modern equipment and software enables high-precision maintenance of specified parameters, thereby preserving product quality.

The project's economic efficiency is confirmed by calculations that take into account the costs of equipment, installation, and system operation. Implementing automation reduces product loss, improves product safety, and extends shelf life. Furthermore, the system enables remote monitoring and management via the OwenCloud cloud service, simplifying maintenance and reducing operating costs.

This feasibility study demonstrates the potential of the Owen PR205 PLC for automating the microclimate in cellars, ensuring optimal product storage quality at minimal cost.

Key words: feasibility study, economic efficiency, optimization of product storage modes; microclimate automation.

References

1. Krapiva T.V., Davydenko N.I., Mayurnikova L.A. Digital transformation of the Russian food industry – foodtech. The state and structure of the industry // Food policy and security. 2024. Vol. 11, № 3. P. 519-540. DOI 10.18334/ppib.11.3.121591. EDN RHELKB.
2. Trisvyatskiy L.A. Storage of grain, fruits, vegetables and grapes. Moscow: Kolos, 2008. 352 p.
3. Monastyrsky O.A., Tarasenko V.P. Automation of technological processes in agriculture. Moscow: KolosS, 2010. 328 p.
4. Petrov V.I. Automation systems in agriculture. St. Petersburg: Lan Publ., 2022. 256 p.
5. GOST R 55901-2013. Storage of potatoes, vegetables and fruits. General requirements. Moscow: Standartinform, 2014. 12 p.
6. Johnson H. The illustrated encyclopedia of wines. Moscow: BBPG, 2014. 416 p.
7. Rybalchenko A.V. Losses of agricultural products: scales and ways of reduction // Agroengineering for sustainable development of the agroindustrial complex. 2019. № 3. P. 45-50.

-
8. PUE. Rules for the installation of electrical installations. Moscow: Energoatomizdat, 2020. 464 p.
 9. CODESYS: from the basics of programming to industrial automation. Moscow: Infra-Engineering, 2022. 408 p.