

УДК 631.171 : 637.12

**ПОЛНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА
ВИТАМИНИЗИРОВАННОГО МОЛОКА КАК ПРЕДПОСЫЛКА
ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

Якубовская Е.С., Щепко Н.Ю.

Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск, Беларусь

В статье анализируются плюсы и минусы цифровой трансформации сельскохозяйственного производства. Раскрываются предпосылки цифровизации, одной из которых является полная автоматизация технологической линии. На примере линии производства витаминизированного молока определены функции системы автоматического управления, обеспечивающей полную автоматизацию. Определен объем датчиков, исполнительных механизмов и других технических средств как основы для цифровизации производства. Проведена идентификация объекта управления с целью моделирования работы автоматической системы. Найденные в процессе моделирования параметры настройки программного регулятора обеспечат оптимальную работу системы. Визуализация управления может быть реализована через панель оператора, подключенная к контроллеру, либо через интернет-приложение.

Ключевые слова: цифровизация, линия производства витаминизированного молока, объем автоматизации, система автоматического регулирования, температура, пастеризация, моделирование.

**FULL AUTOMATION OF THE PRODUCTION LINE FORTIFYING
MILK AS A PREREQUISITE FOR DIGITALIZATION OF PRODUCTION**

Yakubovskaya E.S., Shchapko M.Y.

Belarusian State Agrarian Technical University
Minsk, Belarus

The article analyzes the pros and cons of digital transformation of agricultural production. It reveals the prerequisites for digitalization, one of which is the full automation of the process line. Using the example of a fortified milk production line, the functions of the automatic control system that ensures full automation are defined. The volume of sensors, actuators and other technical means as the basis for digitalization of production is determined. The control object is identified in order to simulate the operation of the automatic system. The parameters of the software controller settings found during the modeling process will ensure optimal operation of the system. Visualization of control can be implemented through the operator panel connected to the controller, or through an Internet application.

Key words: digitalization, fortified milk production line, automation volume, automatic control system, temperature, pasteurization, modeling.

Цифровая трансформация сельского хозяйства является сегодня необходимым шагом для повышения эффективности производства и основным инновационным направлением в мировой экономике последних лет [1]. Цифровые технологии стали неотъемлемой частью современного мира. Суть

Цифровая трансформация сельского хозяйства

цифровизации состоит во внедрении современных цифровых технологий и решений для улучшения эффективности и производительности производства [2]. Цифровизация дает возможность собирать и анализировать большие объемы данных, что позволяет принимать более точные решения [3]. Кроме того, она позволяет обеспечить экономное расходование ресурсов, оптимальное качество продукции, уменьшить количество ошибок, связанных с человеческим фактором.

Цифровизация основывается на развитии технических средств автоматизации, внедрении интеллектуальных датчиков, обеспечивающих передачу данных не только к устройствам управления, но и в сеть интернет. Это дает возможность анализировать данные, используя средства информационных технологий, подключать к анализу и принятию решений и прогнозированию искусственный интеллект.

Еще одним существенным условием цифровизации производства является полная автоматизация технологических процессов. Полная автоматизация технологических процессов подразумевает полную передачу функций контроля и управления техническим средствам автоматизации [4].

Разработка полной автоматизации требует четкого анализа операций, подлежащих осуществлению техническими средствами автоматизации на основе выявленного комплекса требований к технологическому процессу, формулирования алгоритма управления, его формализации, подбора комплекса датчиков и исполнительных механизмов, устройств, обеспечивающих передачу данных на более высокий уровень управления, в «облачные» ресурсы, настройки и конфигурирования программно-технических средств, программирования работы автоматической системы, моделирования ее работы, визуализации управления и наладки работы системы в целом.

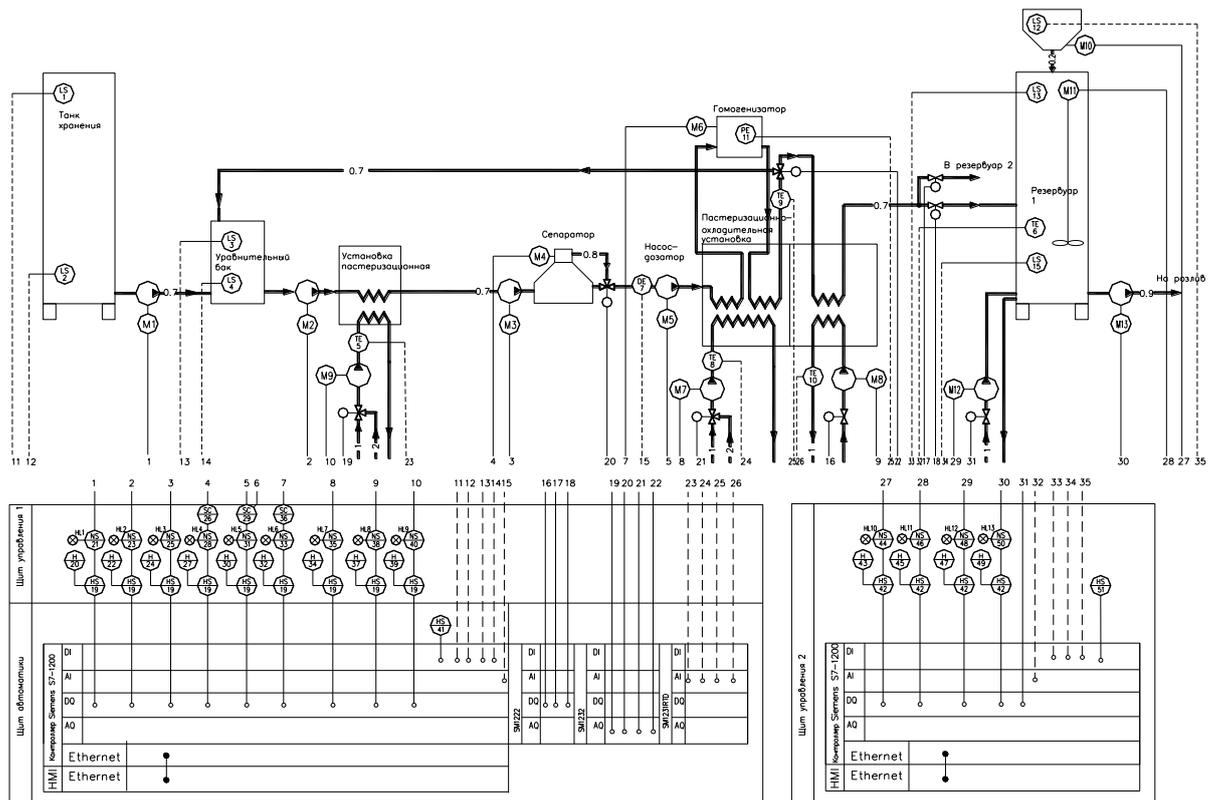
Рассмотрим пример такого анализа на примере линии производства витаминизированного молока.

Молоко из танка охладителя через уравнительный бак (для стабилизации его расхода) подается в первую установку пастеризации, где должен обеспечиваться его подогрев до температуры 40-50 °С. Далее происходит нормализация молока до нужной жирности в сепараторе. После этого молоко с помощью насоса-дозатора подается во вторую установку пастеризации, где происходит пастеризация при температуре 78 °С в течение 20 с. Гомогенизированное молоко подается в резервуар для охлаждения до температуры 6 ± 2 °С. После охлаждения с помощью дозатора в молоко дозируется витамин С в порошке при перемешивании в течение 20 мин. Промежуточное хранение в резервуаре может быть обеспечено в течение не более 6 часов, после чего молоко поступает на розлив и далее может храниться при температуре 4 ± 2 °С не более 5 суток.

Цифровая трансформация сельского хозяйства

Технологические требования состоят в необходимости поддержания заданной температуры молока в пастеризационных установках, резервуаре, требуемой жирности, точном дозировании витамина С на заданный объем молока в резервуаре. Кроме того, должна быть обеспечена согласованная работа оборудования линии при стабилизированном расходе молока в потоке.

Для обеспечения полной автоматизации линии должен быть предусмотрен объем датчиков, приведенных на схеме автоматизации рисунка 1.



решений или на верхний уровень управления для анализа работы предприятия в целом.

Автоматизированная система управления на базе контроллера выполняет следующие функции: управление работой оборудования линии (по правилам работы поточной линии), регулирование температуры пастеризации молока, поддержание температуры охлаждения молока, точное дозирование витамина С, контроль уровня по технологическим емкостям (функция визуализации).

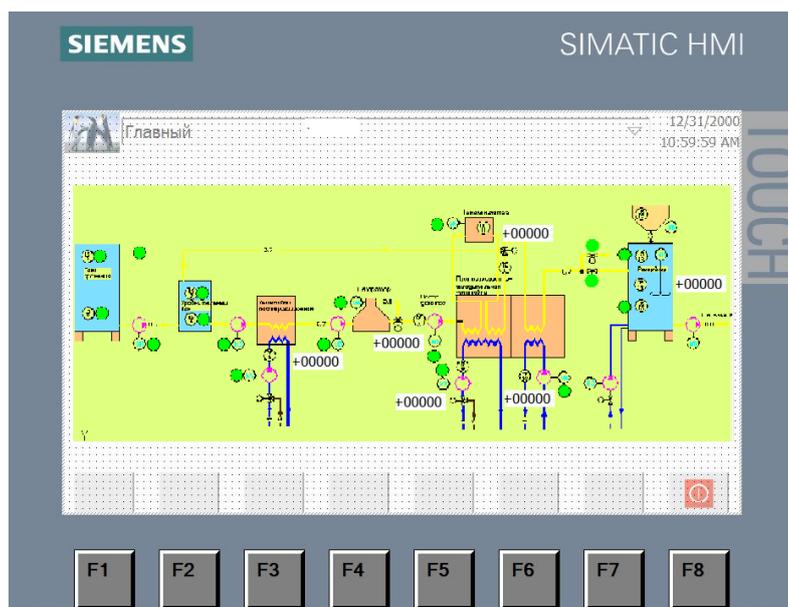


Рисунок 2 – Информация о технологических параметрах на панели оператора

Качество витаминизированного молока зависит от точности поддержания температуры его пастеризации, а также дозирования витамина С.

Пастеризационная установка как объект автоматизации, как показывают исследования [5, с. 149], описывается математически передаточной функцией аperiodического звена первого порядка с запаздыванием:

$$W(S) = \frac{k_0}{T_1 S + 1} e^{-\tau_1 S}, \quad (1)$$

где k_0 – коэффициент передачи (2300);

T_0 – постоянная времени (369 с);

S – оператор Лапласа;

τ_0 – время запаздывания (12 с).

Кроме объекта автоматизации ОА в контур регулирования входит (рисунок 3): датчик температуры Д, регулятор Р, функцию которого выполняет контроллер, клапан подачи пара КЛ для обеспечения температуры горячей воды в секции нагрева. Управляемая величина – температура пастеризации молока Θ_m ; управляющая – температура горячей воды Θ_n , возмущающее – наружная температура Θ_n . Кроме того, в процессе работы установки на

Цифровая трансформация сельского хозяйства

пластинах пастеризатора может осаждаться белок и это также искажает свойства объекта автоматизации. Регулятор определяет сигнал ошибки e и формирует управляющее воздействие в виде напряжения U на клапан, который изменяет подачу пара.

Определив математическое описание всех звеньев контура регулирования получаем структурную схему (рисунок 4), адаптированную для моделирования в пакете MATLAB [6].

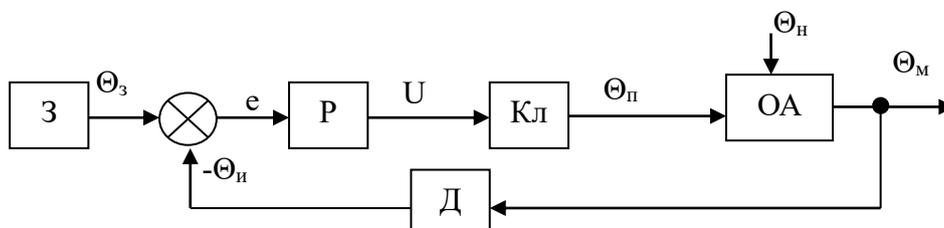


Рисунок 3 – Функциональная схема контура регулирования температуры пастеризации молока: З – задатчик, Р – регулятор (контроллер), Кл – клапан, ОА – объект автоматизации, Д – датчик

Оптимизацию проведем с помощью блока Signal Constraint по переходной функции объекта, подав на вход единичное ступенчатое воздействие и задав следующие ограничения: перерегулирование не более 20%, статическая ошибка должна отсутствовать, время регулирования не более 200 с. Варьируемые переменные – k_p (коэффициент пропорциональности), k_i (коэффициент интегрирования), k_d (коэффициент дифференцирования).

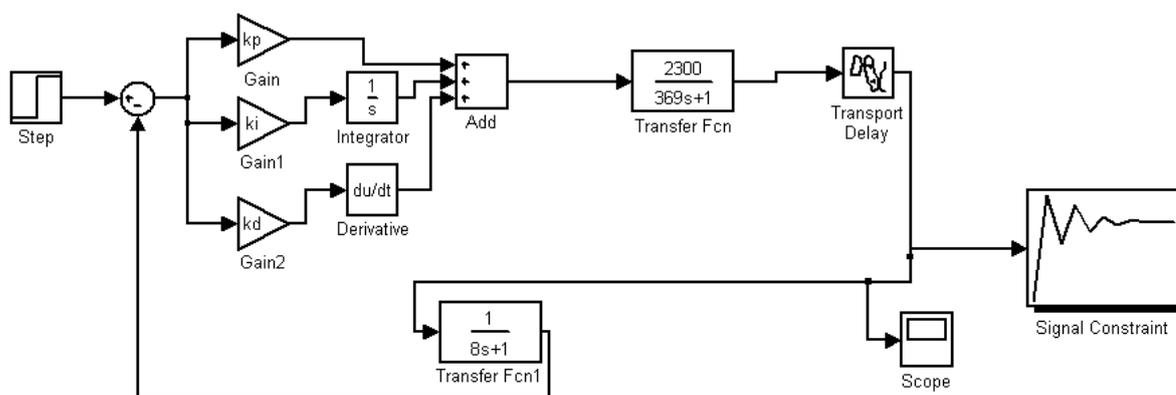


Рисунок 4 – Структурная алгоритмическая схема контура регулирования температуры пастеризации молока

В результате подбора параметров (рисунок 5) заикливание происходит в точке со следующими значениями коэффициентов настройки: коэффициент пропорциональности – 0,003, интегрирования – $6 \cdot 10^{-6}$, дифференцирования – 0,05. Данные значения должны быть установлены в программном регуляторе,

Цифровая трансформация сельского хозяйства

реализуемом в контроллере, чтобы обеспечить требуемую точность поддержания температуры пастеризации.

Результаты моделирования работы системы автоматического регулирования показали приемлемое качество регулирования выражаемое следующими параметрами: статическая ошибка отсутствует, перерегулирование – 10%, время регулирования 130 с.

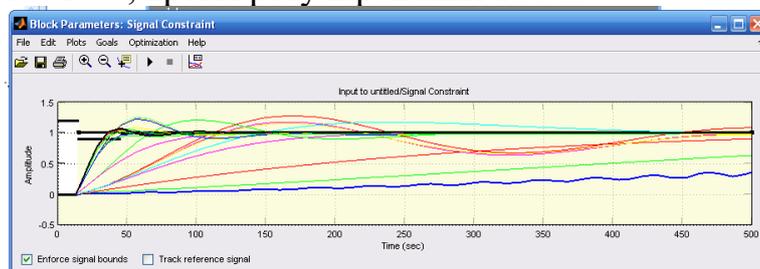


Рисунок 5 – Подбор параметров настройки регулятора в контуре регулирования температуры пастеризации молока

Таким образом, цифровая трансформация требует комплексных действий по внедрению цифровых технологий в производство на базе полной автоматизации производства с учетом особенностей технических средств автоматизации.

Список литературы

1. Яковчик, Н. С. Цифровизация как важнейший инструмент эффективного управления аграрным бизнесом в Республике Беларусь / Н. С. Яковчик, И. В. Брыло, А. Э. Шибeko // Цифровизация отраслей АПК и аграрного образования : Материалы III Международной научно-практической конференции Андреевские чтения, Москва, 20 января 2022 г. - Москва : ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2022. - С. 183-193
2. Цифровизация сельского хозяйства / Агроштурман [Электронный ресурс]. – URL: <https://agrosturman.ru/blog/tpost/zs3kbc9a51-tsifrovizatsiya-selskogo-hozyaistva>. – 31.03.2025.
3. Каманина, А. Н. Современные тренды цифровой трансформации экономической деятельности сельского хозяйства: анализ отечественной и мировой практики / А. Н. Каманина // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15. – № 3. – URL: <https://esj.today/PDF/26FAVN323.pdf>
4. Автоматизация технологических процессов/ Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%B2. – 3.04.2024.
5. Якубовская, Е.С. Автоматизация технологических процессов и оборудования в АПК. Лабораторный практикум : учебное пособие / Е.С Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2024. – 308 с.
6. Дьяконов, В. П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании. Сер. «Библиотека профессионала» / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.