

Матвейчук Наталья Михайловна – к.ф.-м.н., доцент, заведующая кафедрой автоматизированных систем управления производством учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Беларусь, e-mail: matsveichuk.asup@bsatu.by.

Information about the authors

Shcharbak Uladzislav Igorevich – student of the Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: vladik15511@gmail.com.

Matsveichuk Natalja Mikhailovna – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Automated Production Control Systems, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: matsveichuk.asup@bsatu.by.

УДК 004.9:637.1+37

Е.С. Якубовская, Н.Ю. Щенко

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА
В ЛИНИИ ВИТАМИНИЗИРОВАННОГО МОЛОКА И ОСОБЕННОСТИ
ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Аннотация. В данной статье рассмотрены принципы исследования технической системы с помощью цифрового моделирования в системе Matlab. Раскрываются особенности использования такой методики в образовательном процессе.

Ключевые слова: система автоматического управления, моделирование, образовательный процесс.

E.S. Yakubouskaya, M.Y. Shchapko

**RESEARCH METHODOLOGY OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
OF MILK PASTEURIZATION TEMPERATURE IN THE VITAMINIZED
MILK LINE AND FEATURES OF ITS USE IN THE EDUCATIONAL PROCESS**

Abstract. This article discusses the principles of research of a technical system using digital modeling in the Matlab system. Features of using such a technique in the educational process are revealed.

Keywords: automatic control system, modeling, educational process.

В процессе подготовки современного специалиста необходимо обеспечить формирование его компетентности на высоком уровне [1, с. 21]. Современный инженер по автоматизации должен обладать компетентностью в вопросах исследования технической системы и определения качества регулирования технологических параметров. Полноценно обеспечить данное требование возможно при широком использовании цифровых технологий в образовательном процессе, но в этом случае необходимо учитывать особенности их использования.

Исследование технической системы в реальных условиях осуществить сложно, а в отдельных случаях и опасно (вредное или опасное производство), а также дорого. Современные математические пакеты, такие как Matlab [2], позволяют провести цифровое моделирование работы технической системы. Благодаря расширению Simulink в системе Matlab можно обеспечить блочное моделирование линейных и нелинейных динамических систем, но для этого необходимо знать математическое описание блоков технической системы. Таким образом,

чтобы использовать цифровое моделирование, необходимо изучить техническую систему, определить ее состав и взаимодействие, определить математическое описание звеньев, составить модель системы, использовать средства для моделирования современных математических пакетов, при этом, определив начальную точку для цифрового эксперимента, условия оптимизации и ограничения, проанализировать результаты цифрового эксперимента.

Рассмотрим пример цифрового моделирования при исследовании системы автоматического управления температурой пастеризации молока в линии витаминизированного молока. В состав линии входит установка пастеризации, сепаратор, гомогенизатор, резервуары с дозатором витаминного порошка [3]. Технологический процесс изготовления витаминизированного молока состоит из следующих операций: приёмка и подготовка сырья; подогрев до температуры 40-50 °С; нормализация; пастеризация при температуре 78 °С в течение 20 с; гомогенизация; охлаждение до температуры $6 \pm 2^\circ\text{C}$; внесение витамина С в порошок при перемешивании в течение 20 мин; промежуточное хранение в течение не более 6 часов; розлив.

Система автоматического управления линией должна обеспечивать контроль уровня по емкостям и резервуарам с помощью датчиков уровня, точное поддержание температуры нагрева молока, пастеризации, с помощью датчиков температуры, также поддерживать жирность молока в потоке, дозировать витамин С с одновременным перемешиванием, обеспечивать согласованную работу оборудования поточной линии.

Качество молочной продукции на выходе линии определяется точностью поддержания температуры пастеризации молока, что в свою очередь, требует обеспечения качества регулирования температуры. В этом случае необходимо подобрать настроечные параметры программного регулятора, реализуемого контроллером. Это в свою очередь требует моделирования работы системы с целью подбора оптимальных параметров настройки. В случае использования цифрового моделирования систему автоматического управления следует описать математически.

Как показывают исследования пастеризационной установки [4, с. 149], уравнение теплового баланса по каналу «расход пара – температура молока» в установившемся режиме имеет вид:

$$C_m G_m (1 - \xi)(\theta_{ми} - \theta_{мк}) = G_p (i - C_v \theta_v), \quad (1)$$

где C_m, C_v – теплоемкость молока и воды, кДж/кг; G_m, G_p – расход молока и пара, кг/с; ξ – коэффициент регенерации теплоты; $\theta_{ми}, \theta_{мк}$ – температура молока на входе и на выходе пастеризатора, °С; i – энтальпия пара, кДж/кг; θ_v – температура воды, °С.

Взяв отношение изменения выходной величины к входному воздействию, перейдя к изображению Лапласа, получим передаточную функцию объекта управления, соответствующую апериодическому звену первого порядка с запаздыванием с числовым выражением коэффициентов: $k_0 = 3620$, $T_0 = 369$ с, $\tau_0 = 30$ с.

Проводя математический анализ других звеньев системы получаем структурную схему для моделирования работы системы в Matlab (рис. 1).

Для оптимизации системы регулирования воспользуемся блоком Signal Constraint. В результате подбора параметров зацикливание происходит в точке

со следующими значениями коэффициентов настройки: коэффициент пропорциональности – 0,0025, интегрирования – $6 \cdot 10^{-6}$, дифференцирования – 0,046.

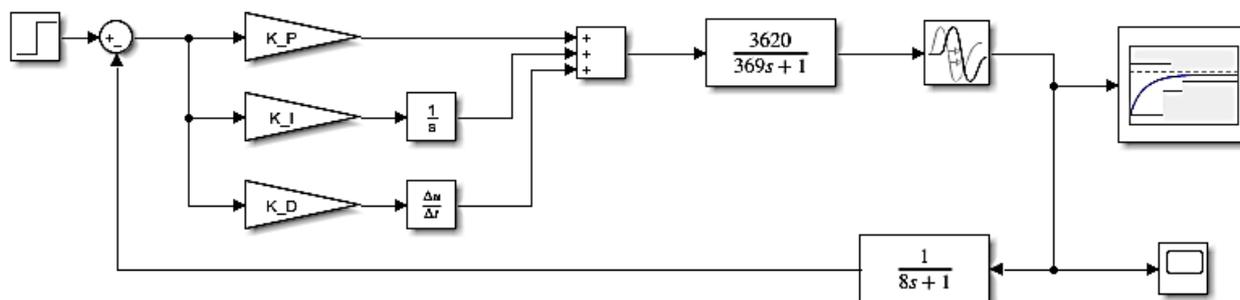


Рисунок 1 Структурная алгоритмическая схема системы автоматического регулирования температуры пастеризации молока

Таким образом, использование систем цифрового моделирования в образовательном процессе требует математической подготовки студентов, аналитических навыков для теоретического исследования технической системы, а также навыков анализа полученных в компьютерном пакете результатов оптимизации технической системы.

Библиографический список

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : Протокол заседания Президиума Совета Министров Респ. Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10. Минск, 2017. 148 с.
2. 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.
3. Технология молочных продуктов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://milk-industry.ru/tehnologiya-molochnyh-produktov/192-moloko-vitaminizirovannoe.html> (Дата обращения: 10.11.2024).
4. Якубовская Е.С. Автоматизация технологических процессов и оборудования в АПК. Лабораторный практикум : учеб. пособие. Минск: БГАТУ, 2024. 308 с.

Информация об авторах

Якубовская Елена Степановна – старший преподаватель кафедры автоматизированных систем управления производством Учреждения образования Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: ylena.asup@bsatu.by.

Щепко Никита Юрьевич – студент четвертого курса агроэнергетического факультета Учреждения образования Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: nikita375257357996@gmail.com.

Information about the authors

Yakubouskaya Alena Styapanauna – senior teacher of the Department of Automated Production Management Systems, Educational establishment Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: ylena.asup@bsatu.by.

Shchapko Mikita Yuryavich – fourth-year student of the Faculty of Agroenergy of the Department of Automated Production Management Systems, Educational establishment Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: nikita375257357996@gmail.com.