

Модернизация системы автоматизированного управления технологической линией по производству полутвердых сыров

Марина Викторовна Чкалова, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры

E-mail: chkalovamv@mail.ru

Виктория Дмитриевна Павлидис, д-р пед. наук, профессор, профессор кафедры

E-mail: pavlidis@mail.ru

Юрий Иванович Федоров, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры

E-mail: yurf0023@mail.ru

Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург

В работе определены основные направления модернизации технологической линии по производству полутвердых сыров, функционирующей на базе сыро-масленного завода компании ООО «Регион-трейд». Достигнуто повышение эффективности действующей технологической линии, основанное на оптимизации системы управления производственными процессами. В структурную схему системы управления включен датчик расходомера жидкости для контроля подачи сырья ДРС-М-25300, для которого сформирован дополнительный канал обратной связи, и подключен программируемый логический контроллер Owen KMY1-230.P, к которому подведены каналы обратной связи всех функциональных элементов системы управления. Математическая модель системы управления производственными процессами представлена обобщенной передаточной функцией системы, верификация которой проведена в среде динамического моделирования SimInTech, в результате чего получены оценки качественных показателей системы управления до и после модернизации. Расчеты, выполненные с помощью авторского программного средства (программа оценки качественных показателей линейных динамических систем), показали снижение времени регулирования с 11,1 до 2,9 с и повышение степени устойчивости системы с 0,27 до 1,03, надежность системы после модернизации не изменилась и определялась на уровне не менее 90 %. Устойчивость и быстродействие системы управления после модернизации возросли, что способствовало повышению эффективности и функциональности технологической линии по производству полутвердых сыров. Для оценки качества готового продукта проводились серии сканирований анализатором FOODSCAN образцов проб полутвердого сыра до и после модернизации, определялся суммарный показатель качества. Зафиксировано повышение данного показателя на 10,3 %. Прогнозируемый срок окупаемости модернизации составляет 3 мес., расчетная экономическая выгода от модернизации составит 4 руб. на каждый рубль капитальных вложений.

Ключевые слова: технологическая линия, полутвердые сыры, система управления, модернизация, эффективность, показатели качества

Для цитирования: Чкалова, М. В. Модернизация системы автоматизированного управления технологической линией по производству полутвердых сыров / М. В. Чкалова, В. Д. Павлидис, Ю. И. Федоров // Сыроделие и маслоделие. 2025. № 3. С. 86–94. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-3-29>



Источник изображения: freepik.com

Введение

В рамках задачи обеспечения населения РФ высококачественными продуктами молочного производства проблема повышения качества сыров становится весьма актуальной. С нею непосредственно связана необходимость повышения эффективности технологической линии за счет автоматизации производственных процессов.

С учетом динамичного развития технологий и повышения требований к качеству продукции, существующая система управления требует обновления и оптимизации, что будет способствовать повышению эффективности производства, снижению затрат и улучшению качества готового продукта [1, 2].

Исследование проводилось на базе сыро-масленного завода компании ООО «Регион-трейд», производящей сыро-молочную продукцию

под торговой маркой «Пестровка», которая не раз была удостоена золотых медалей на престижных региональных, федеральных и международных конкурсах. На сегодняшний день предприятие испытывает ряд проблем, связанных с автоматизацией действующей технологической линии по производству полутвердых сыров, что мешает достижению более высокого уровня качества продукции.

Целью данной работы является разработка и обоснование технического решения повышения эффективности функционирующей технологической линии по производству полутвердых сыров.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- определен способ модернизации технологической линии по производству полутвердых сыров;
- разработано инженерно-техническое решение по модернизации системы управления;
- проведена оценка качества готовой продукции в процессе моделирования эффективности системы управления технологической линией по производству полутвердых сыров;
- проведена оценка экономической эффективности модернизации.

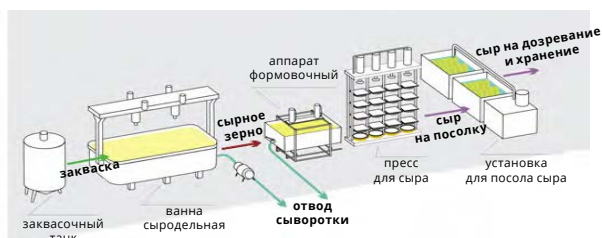


Рисунок 1. Принципиальная схема технологической линии по производству полутвердых сыров

Объекты и методы исследования

Технологическая линия по производству полутвердых сыров, предназначенная для изготовления блочного сыра, представлена своей принципиальной схемой на рисунке 1 [3–6].

Под эффективностью функционирования технологической линии по производству полутвердых сыров будем понимать наилучшую результативность ее работы при минимуме всех возможных затрат [7]. Структурная схема эффективности технической системы показана на рисунке 2.

Готовый сыр оценивается по ряду качественных характеристик, которые влияют на его внешний вид, вкусовые свойства, текстуру, аромат и сохраняемость [8]. Основные показатели качества для оценки готового полутвердого сыра представлены в таблице 1.

Существенную роль в технологическом процессе играет анализатор сыра, который является важным инструментом для контроля и оценки качества сыра, обеспечивая стабильность производства и соответствие стандартам [8]. В ходе исследования использовался анализатор сыров и твердых и вязких молочных продуктов FoodScan, который требует



Рисунок 2. Структурная схема эффективности функционирования технологической линии по производству полутвердых сыров

Таблица 1. Основные показатели качества полутвердого сыра

Показатель	Критерии	Описание	Функциональный элемент технологической линии
Внешний вид	Цвет	Зависит от вида сыра	Ванна сыроделия
	Форма	Без дефектов	
	Консистенция	Однородная	
Аромат	Насыщенность	Характерный аромат	Ванна сыроделия
	Свежесть	Чистый и приятный аромат	
Вкус	Соленость	Сбалансированная	Заквасочный танк
	Кислотность	Сбалансированная	
	Твердость	Зависит от вида сыра	
	Жирность	Равномерная	
Текстура	Резистентность	Удержание формы	Формировочный аппарат



Источник изображения: Geerik.com

минимальной подготовки проб и выдает результаты за 50 с. Авторами предложен контрольный параметр качества готового продукта – суммарный показатель качества (СПК), который включает в себя основные физико-химические показатели качества сыра: массовая доля влаги (МДв), массовая доля белка (МДб), массовая доля жира (МДж), массовая доля поваренной соли (МДпс), массовая доля кисломолочных микроорганизмов (МДкм):

$$\text{СПК} = \text{МДв} + \text{МДб} + \text{МДж} + \text{МДпс} + \text{МДкм} \quad (1)$$

Проанализируем влияние системы управления технологическим процессом производства полутвердого сыра (с точки зрения наличия каналов обратной связи и устройств обратной связи) на показатели качества готового продукта (рис. 3) [8].

Влияние системы управления производственным процессом на качество готового продукта выражается в следующем: минимизация влияния оператора и снижение риска ошибок; регулирование параметров производства и предотвращение появления дефектов в готовом продукте; отслеживание соответствия продукции стандартам качества на различных этапах производства с помощью устройств обратной связи; снижение затрат на производство и повышение эффективности технологических процессов (табл. 2).



Примечание: УОС – устройство обратной связи

Рисунок 3. Схема влияния функциональных элементов системы управления на информативность о состоянии технологического процесса

Таблица 2. Физико-химические показатели качества полутвердого сыра и связанные с ними функциональные элементы системы управления

Показатель	Значение, % на 1 г массы	Функциональные элементы	Устройство обратной связи контроля показателей
Массовая доля влаги (МДв)	64,0 ± 1,0	Ванна сыродельная	Датчик влажности
Массовая доля белка (МДб)	22,0 ± 1,0	Заквасочный танк, ванна сыродельная	Датчик pH
Массовая доля жира (МДж)	50,5 ± 1,0	Ванна сыродельная	
Массовая доля поваренной соли (МДс)	2,5 ± 0,5	Установка для посола сыра	Датчик концентрации соли
Массовая доля кисломолочных микроорганизмов (МДкм)	133 × 10 ³	Заквасочный танк, ванна сыродельная	Датчик pH

Результаты и их обсуждение

Предложенная авторами модернизация системы управления технологической линией по производству полутвердого сыра включает в себя следующие этапы:

- установка датчика расходомера жидкости для контроля подачи сырья;
- формирование дополнительного канала обратной связи для датчика расходомера;
- подключение программируемого логического контроллера и подведение к нему всех каналов обратной связи.

В качестве управляющего элемента системы был выбран программный комплекс для управления пастеризаторами и сырными ваннами Owen КМУ1 (модификация КМУ1-230.Р), состоящий из контроллера и сенсорной панели оператора. Контроллер оснащен специализированным программным обеспечением, а панель оператора имеет визуализацию, подготовленную для работы с технологическим процессом пищевого производства.

Датчик расходомера сырной массы должен обладать следующими характеристиками: точность, гигиеничность, устойчивость к агрессивным средам, надежность. С учетом специфики сырной массы (вязкая, неоднородная структура, наличие твердых частиц) были выбраны датчики российского производства ДРС.М-25300, ТЕМПЕР-2, подходящие для данной технологической линии, проведен их сравнительный анализ (табл. 3) [9–11].

Таким образом, наиболее подходящим вариантом для данной линии по производству полутвердого сыра является датчик расходомера ДРС.М-25300.



Источник изображения: freerik.com

Таблица 3. Сравнение характеристик выбранных датчиков

Характеристика	ДРС.М-25300	ТЕМПЕР-2
Тип датчика	Кориолисовый расходомер	Ультразвуковой расходомер
Принцип действия	Измерение ЭДС, возникающей при движении проводящей жидкости в магнитном поле	Измерение разницы времени прохождения ультразвукового сигнала по потоку и против потока
Диапазон измерения	0,03–10 м/с	0,01–10 м/с
Точность	± 1 %	± 2,5 %
Диаметр трубопровода	DN 10	DN 15
Материалы корпуса	Нержавеющая сталь, полипропилен	Нержавеющая сталь, титан, алюминий
Рабочая температура	–40 ... +150 °С	–30 ... +150 °С
Рабочее давление	До 1,6 МПа	До 1,6 МПа
Интерфейсы	RS-485, HART, токовый выход	RS-485, Modbus, M-Bus, импульсный выход



Источник изображения: freerik.com

На основе принципиальной схемы технической системы, нормативных документов и мнемосхем, выданных на предприятии, была построена функциональная схема системы управления до и после модернизации (рис. 4) [11].

На основании нормативного документа «Технологические параметры и технические характеристики оборудования», выданного на предприятии, получена таблица динамических звеньев с определением коэффициентов каждого звена (табл. 4)¹ [11].

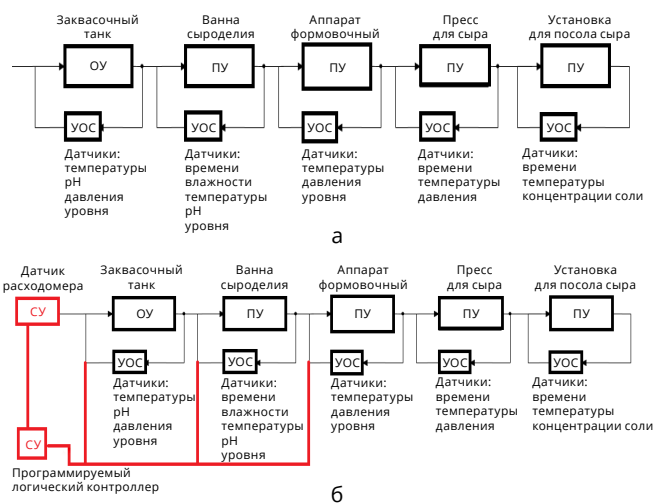


Рисунок 4. Функциональная схема системы управления технологической линией: а) до модернизации; б) после модернизации

Таблица 4. Динамические звенья и коэффициенты передаточных функций

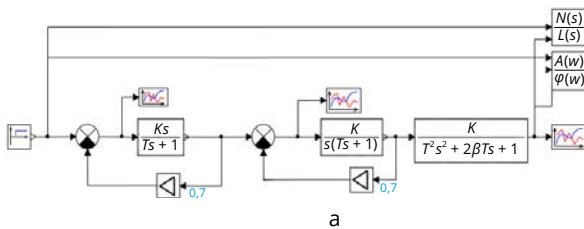
Элемент функциональной схемы	Элемент технической системы	Динамические звенья и передаточные функции	Значения коэффициентов
Сравнивающее устройство (СУ)	Датчик расходомера	$W(s) = \frac{K}{T_s + 1}$ инерционное 1-го порядка	$K = 12$ $T = 0,05$
Объект управления (ОУ)	Заквасочный танк	$W(s) = \frac{Ks}{T_s + 1}$ инерционно-дифференцирующее	$K = 30$ $T = 1,3$
	Ванна сыродельная	$W(s) = \frac{K}{T_s + 1}$ инерционное 1-го порядка	$K = 18$ $T = 0,16$
Преобразующие устройства (ПУ)	Аппарат формовочный	$W(s) = \frac{K}{T^2s^2 + 2BTs + 1}$ колебательное	$K = 7$ $T = 0,7$ $B = 0,06$
	Пресс для сыра		
	Установка для посола сыра		
Регулирующий орган (РО)	Программируемый логический контроллер	$W(s) = \frac{T_1s + 1}{T_2s + 1}$ инерционно-форсирующее	$T_1 = 23$ $T_2 = 14$
Устройство обратной связи (УОС)	Датчик температуры	$W(s) = K$ усилительное	$K = 0,7$
	рН уровень		
	Датчик времени		
	Датчик влажности		
	Датчик концентрации соли		

¹Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022664211 РФ. Программа расчета качественных показателей линейных динамических систем: № 2022663564: заявл. 12.07.2022; опубл. 26.07.2022 / В. Д. Павлидис, М. В. Чкалова, Д. Р. Хафизов, А. А. Степанов.

На основе функциональной схемы и динамических звеньев из таблицы 4 была построена структурная схема системы управления до и после модернизации (рис. 5).

Визуализация и расчеты базовых качественных показателей системы управления (устойчивости, надежности и быстродействия) проводились в среде динамического моделирования технических систем SimInTech² [11].

Визуализируем время регулирования на графике переходного процесса до и после проведенной модернизации (рис. 6), где красная линия – уровень стабилизации параметров процесса управления, зеленая линия – график переходного процесса.



Визуализируем динамическую ошибку регулирования на графике ошибки рассогласования до и после проведенной модернизации (рис. 7).

В качестве инженерно-математической модели системы управления технологической линией по производству полутвердых сыров были приняты передаточные функции системы управления до модернизации (2) и после модернизации (3):

$$W(s) = \frac{37,92s^3 + 62,45s^2 + 32,61s + 7,95}{s^5 + 11,44s^4 + 14,04s^3 + 8,27s^2 + 2,82s + 7,95} \quad (2)$$

$$W(s) = \frac{4,80s^5 + 6,49s^4 + 10,14s^3 + 5,35s^2 + 9,03s + 10,51}{s^6 + 11,41s^5 + 15,45s^4 + 10,19s^3 + 4,58s^2 + 8,27s + 10,51} \quad (3)$$

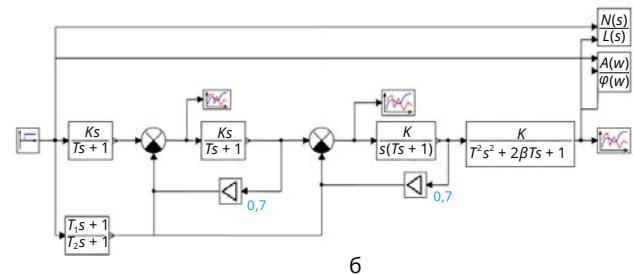


Рисунок 5. Структурная схема системы управления: а) до модернизации; б) после модернизации

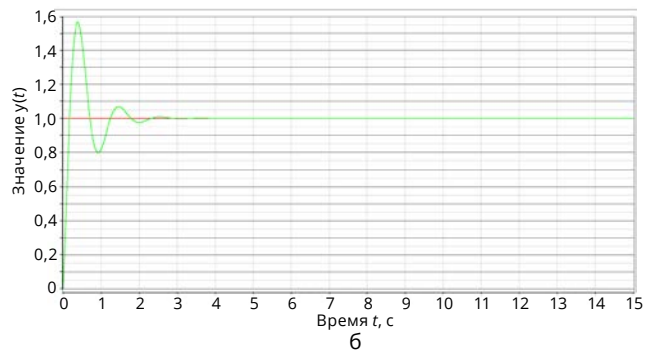
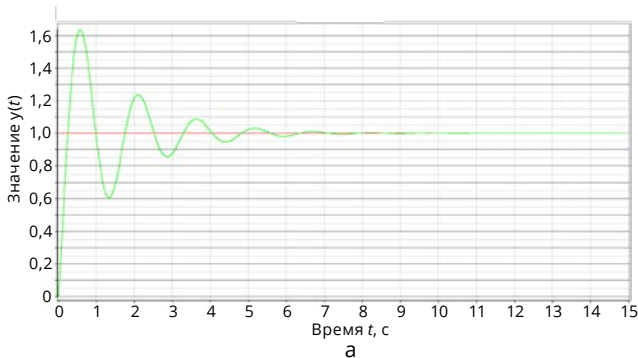


Рисунок 6. График переходного процесса АСУ ТП производства полутвердого сыра: а) до модернизации; б) после модернизации

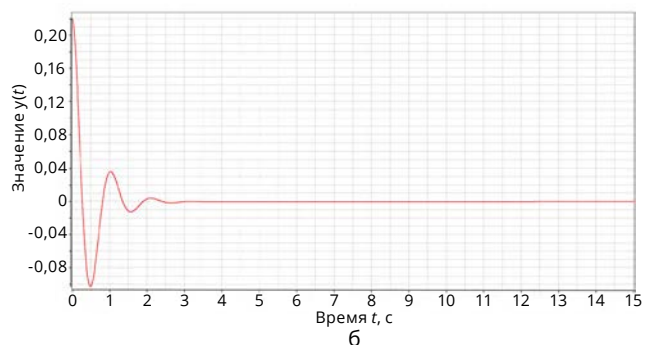
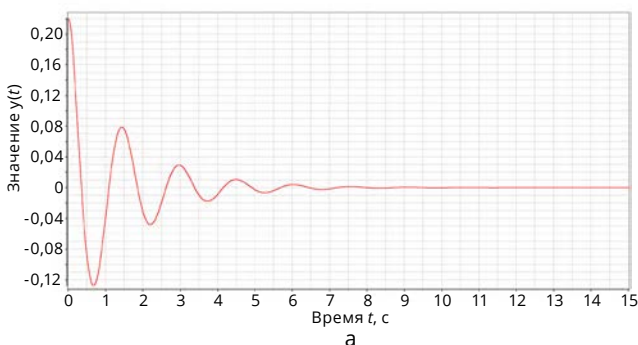


Рисунок 7. График ошибки рассогласования АСУ ТП производства полутвердого сыра: а) до модернизации; б) после модернизации

²Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022664211 РФ...

Оценки качественных показателей были получены корневым методом³: устойчивость системы управления оценивалась степенью устойчивости η_0 ; быстродействие системы оценивалось временем регулирования $t_p \geq 3/\eta_0$; надежность системы оценивалась динамической ошибкой регулирования:

$$\sigma < e^{-\frac{\pi}{\beta}} \times 100 \%, \text{ где } \mu = \left| \frac{\beta}{\alpha} \right|_{\max} \quad (4)$$

где α – действительная, β – мнимая часть характеристических корней передаточной функции (табл. 5).

Таким образом, оценки качественных показателей системы управления технологической линией по производству полутвердых сыров, полученные корневым и графическим методами, свидетельствуют о том, что основные принципы управления после модернизации не нарушены, быстродействие и устойчивость системы улучшены, надежность системы остается на прежнем уровне, не менее 90 %.

Проведем моделирование эффективности технической системы, выделяя структурный показатель – качество готовой продукции. Для этого рассчитаем суммарный показатель качества после серий сканирований 10 проб полутвердого сыра до и после модернизации с помощью анализатора FOODSCAN [12].

Аналоговый сигнал после сканирования образца с помощью интеллектуального модуля сканера переводится в цифровой сигнал, который интерпретируется в виде значений массовых долей (табл. 6).

Таким образом, увеличение суммарного показателя качества на 10,3 % свидетельствует об улучшении качества готового продукта после модернизации системы управления технологической линией по производству полутвердых сыров.

Таблица 5. Качественные показатели системы управления до и после модернизации

Оценки качественных показателей	До модернизации	После модернизации
Корни характеристического многочлена	$S_1 = -100,4 + 0i$ $S_2 = -0,27 + 0,34i$ $S_3 = -0,27 - 0,34i$ $S_4 = -6,13 + 1,87i$ $S_5 = -6,13 - 1,87i$ в области устойчивости	$S_1 = -100,08 + 0i$ $S_2 = -1,98 + 1,91i$ $S_3 = -1,98 - 1,91i$ $S_4 = -1,03 + 0i$ $S_5 = -6,5 + 0i$ $S_6 = -3,35 + 0i$ в области устойчивости
Степень устойчивости (η)	0,27	1,03
Время регулирования (t_p), с, не менее	11,1	2,9
Динамическая ошибка регулирования (σ), %, не более	3,9	3,7

Таблица 6. Результаты сканирования образцов по сериям испытаний анализатором FOODSCAN

До модернизации						После модернизации					
№	МДв	МДб	МДж	МДпс	МДкм	№	МДв	МДб	МДж	МДпс	МДкм
1	63,2	20,5	50,2	2,7	132,1	1	63,2	21,8	50,2	2,7	133,4
2	63,0	21,0	50,1	2,9	131,9	2	63,8	21,0	50,6	2,9	133,0
3	63,9	20,1	50,6	2,4	132,0	3	63,7	21,3	50,0	2,1	132,9
4	63,5	20,8	50,5	2,1	131,8	4	63,2	21,7	50,4	2,3	133,1
5	64,1	20,9	50,0	2,3	131,2	5	63,6	22,1	50,3	2,8	132,8
6	63,7	20,4	50,4	2,5	132,2	6	63,5	21,9	50,1	3,0	133,0
7	63,2	20,6	50,3	2,8	131,7	7	63,0	21,6	50,2	2,2	133,3
8	63,6	20,8	50,3	3,0	131,5	8	63,8	21,4	50,5	2,4	133,0
9	63,8	20,3	50,1	2,2	132,0	9	63,9	22,0	50,2	2,2	133,2
10	63,7	20,9	50,4	2,3	132,3	10	64,1	21,5	50,6	2,5	132,9
Ср. зн.	63,2	20,9	50,2	2,7	132,1	Ср. зн.	64,2	22,8	50,2	2,7	133,4
СПК	261,1					СПК	287,9				

Примечание: МДв – массовая доля влаги; МДб – массовая доля белка; МДж – массовая доля жира, МДпс – массовая доля поваренной соли, МДкм – массовая доля кислomолочных микроорганизмов, СПК – суммарный показатель качества.

³Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022664211 РФ...

Годовой экономический эффект от модернизации системы управления технологической линией по производству полутвердых сыров ($\mathcal{E}_{\text{год}}$, руб.) может быть определен следующим образом^{4, 5}:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \Delta\Pi - E_n \times K_{\text{ед}} \quad (6)$$

где $\Delta\Pi$ – прирост прибыли, вызванный внедрением средств автоматизации (в данном случае равен условно-годовой экономии), руб.; E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности средств автоматизации; $K_{\text{ед}}$ – доля средств капитальных вложений, относящихся к представленной технологической линии, руб.

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 120\,000 - 0,17 \times 30\,000 = 114\,900 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости затрат на модернизацию ($T_{\text{ок}}$, мес.), показывающий время, в течение которого капитальные вложения окупят себя за счет дополнительной прибыли или экономии, определялся по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{ед}}}{\Delta\Pi} \quad (7)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{30\,000}{120\,000} = 0,25 \text{ г.} = 3 \text{ мес.}$$

Коэффициент экономической эффективности ($K_{\text{эф}}$), показывающий, какая экономия будет получена после модернизации системы управления на каждый рубль капитальных вложений, рассчитывался по формуле:

$$K_{\text{эф}} = \frac{\Delta\Pi}{K_{\text{ед}}} \quad (8)$$

$$K_{\text{эф}} = \frac{120\,000}{30\,000} = 4$$

Проведенные расчеты показывают, что проект модернизации технологической линии можно признать эффективным и экономически целесообразным.

Выводы

В результате выполнения технического задания заказчика авторами было предложено инженерно-техническое решение проблемы повышения эффективности технологической линии по производству полутвердых сыров.



Источник изображения: freerplk.com

⁴Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661064 РФ. Программа расчета инженерной эффективности модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом: № 2023660254: заявл. 22.05.2023; опублик. 29.05.2023 / В. Д. Павлидис, М. В. Чкалова, К. В. Скопинцев, А. А. Степанов.

⁵Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615845 Российская Федерация. Программа расчета экономической эффективности модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом: № 2023613153: заявл. 21.02.2023; опублик. 20.03.2023 / В. Д. Павлидис, М. В. Чкалова, В. Ю. Скопинцева, А. А. Степанов.

Проведенная модернизация системы управления привела к улучшению быстродействия за счет снижения времени регулирования с 11,1 до 2,9 с и повышению устойчивости системы за счет увеличения степени устойчивости с 0,27 до 1,03.

Оценка качества готовой продукции в процессе моделирования эффективности системы управления технологической линией показала увеличение суммарного показателя качества на 10,3 % и соответственно – улучшение качества готового продукта.

Экономическая выгода от модернизации системы управления технологической линией по производству полутвердого сыра составила 4 руб. на каждый вложенный рубль.

Небольшой объем относительно недорогого оборудования для модернизации системы управления и типовое управляющее программное обеспечение позволят с минимальными изменениями тиражировать предложенное авторами решение. ■

Поступила в редакцию: 11.04.2025
Принята в печать: 12.08.2025

Advanced Automated Control for Semi-Hard Cheese Production Line

Marina V. Chkalova, Victoria D. Pavlidis, Yuri I. Fedorov
Orenburg State Agrarian University, Orenburg

The paper introduces the case of modernizing a semi-hard cheese production line at the OOO Region-treid cheese and butter plant, Samara, Russia. An optimized control system allowed the plant to increase its performance. The modernization involved a flux meter sensor DRS.M-25300 to monitor the supply of raw materials, an additional feedback channel, and a programmable logic controller Owen KМУ1-230.R, connected to all functional feedback channels. The mathematical model of the production control system was represented as a generalized transfer function verified in the SimInTech dynamic modeling environment: it compared the quality indicators before and after modernization. The authors developed a software for assessing the quality indicators of the linear dynamic systems. As a result, the control time dropped from 11.1 s to 2.9 s while the system stability increased from 0.27 to 1.03. After the modernization, the system retained its original reliability of 90%. The control system demonstrated a higher stability and speed, which improved the performance of the technological line. The quality of the finished product before and after modernization was assessed using a FOODSCAN analyzer. The total quality indicator increased by 10.3%. For the payback period of 3 months, the estimated economic benefit was 4 rubles per 1 ruble of capital investment.

Keywords: technological line, semi-hard cheese, control system, modernization, efficiency, quality indicators

Список литературы

1. Шапошникова, Е. С. Технология и этапы производства сыра / Е. С. Шапошникова, Д. Н. Катусов // Приднепровский научный вестник. 2024. Т. 1, № 2. С. 186–191. <https://elibrary.ru/vboljs>
2. Попова, А. Ю. Risk analysis as a strategic sphere in providing food products safety / А. Ю. Popova // Health Risk Analysis. 2018. Vol. 4. P. 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.01.eng>; <https://elibrary.ru/vhbaif>
3. Васючкова, Д. Н. Технология производства полутвердых сычужных сыров / Д. Н. Васючкова, И. В. Гаврюшина // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 184–186. <https://elibrary.ru/wvntdj>
4. Богданов, А. С. Технология производства полутвердых сыров / А. С. Богданов, Я. С. Павлова // Молодежь и наука. 2022. № 5. <https://elibrary.ru/pjgrps>
5. Золотарев, Е. Н. Сыры с мытой коркой. Особенности технологии производства / Е. Н. Золотарев, Г. Н. Рогов // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 1. С. 26–33. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2024-1-6>; <https://elibrary.ru/npndej>
6. Бабкина, Н. Г. Основные тренды и технологические аспекты производства полутвердых сыров. Функции заквасочной и защитной микрофлоры / Н. Г. Бабкина // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 1. С. 22–24. <https://elibrary.ru/udrwaq>
7. Борцова, Е. Л. Системный подход к управлению качеством молочной продукции / Е. Л. Борцова, Л. Ю. Лаврова, С. А. Ермаков // Молочная промышленность. 2022. № 12. С. 36–38. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-12-36-38>; <https://elibrary.ru/uwugcs>
8. Драгич, О. А. Оценка качества твердых сыров, реализуемых в торговой сети / О. А. Драгич, К. А. Сидорова, Н. Н. Рябова // АгроЭкоИнфо. 2018. № 4(34). С. 27. <https://elibrary.ru/vsgkbi>
9. Плотников, А. П. Система автоматизированного управления производством продукции на основе принципов теории автоматического управления / А. П. Плотников, П. А. Плотников // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2017. Т. 17, № 1. С. 44–49. <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2017-17-1-44-49>; <https://elibrary.ru/yjvwan>
10. Ишмухаметова, А. А. Модернизация автоматизированной системы управления процессом приготовления сыра / А. А. Ишмухаметова, А. Е. Остапенко, Е. В. Одиноква // Научное пространство: актуальные вопросы, достижения и перспективы развития: Сборник научных трудов по материалам XV Международной научно-практической конференции. – Анапа: Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов, 2023. – С. 15–19. <https://elibrary.ru/jqvpx>
11. Кажанов, С. М. Разработка системы автоматического управления технологической линией по производству полутвердых сыров / С. М. Кажанов, В. Д. Павлидис // В фокусе достижений молодежной науки: материалы ежегодной итоговой научно-практической конференции. – Оренбург: ООО «Типография “Агентство Пресса”», 2023. – С. 596–598. <https://elibrary.ru/agcvjs>
12. Маяускайте, В. Ю. Снижение вариативности показателей в производстве сыров: Почему это важно для управления процессом / В. Ю. Маяускайте // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 1. С. 54–60. <https://elibrary.ru/gzcfjs>