

Интеллектуальный модуль-дегустатор для прогнозирования вкуса кефира

Музыка Максим Юрьевич

*Московский государственный университет пищевых производств
125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: muzyka@mgupp.ru*

Благовещенский Иван Германович

*Московский государственный университет пищевых производств
125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: igblagov@mgupp.ru*

Благовещенская Маргарита Михайловна

*Московский государственный университет пищевых производств
125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: mmb@mgupp.ru*

Бунеев Алексей Владимирович

*Московский государственный университет пищевых производств
125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: alex-ey.buneev@eu.omron.com*

Благовещенский Владислав Германович

*Московский государственный университет пищевых производств
125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: bvg1996@mail.ru*

В настоящее время основным показателем качества кефира является вкус, который на данный момент определяется органолептическими методами в лабораториях молочных предприятий. В статье рассмотрены проблемы органолептического контроля вкуса кефира. Показано, что такие оценки качества субъективны и несовершенны, а для получения достоверных и эффективных результатов проводимых исследований в процесс производства кефира необходимо внедрять интеллектуальные технологии. Успешное решение задачи автоматизации контроля вкуса кефира в потоке при минимальных затратах на подготовку и проведение анализов будет возможным благодаря внедрению в производственный процесс интеллектуального модуля-дегустатора (программно- аппаратного комплекса), в основе алгоритма работы которого заложены нейросетевые технологии. Для реализации этой задачи разработаны и апробированы методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение создания виртуального датчика контроля в потоке вкуса готового кефира с использованием нейросетевых технологий. Показана перспективность использования таких датчиков в условиях действующих молочных предприятий. Проведен анализ существующих автоматизированных систем управления технологическими процессами на предприятиях молочной промышленности, который показал, что, в большинстве случаев, реализованные в настоящее время автоматизированные системы отвечают только за управление оборудованием технологической линии, а взаимодействие с уровнем управления технологическим процессом производства отсутствует. Это в значительной мере сказывается на уровне автоматизации предприятия в целом. В статье подчеркивается важность создания интеллектуальной системы автоматического прогнозирования вкуса кефира. Подчеркнуто, что для функционирования такой системы необходимо разработка соответствующей модели прогнозирования, позволяющей увеличить точность прогноза и свести к приемлемому минимуму ошибку, тем самым уменьшив убытки, связанные с неопределенностью при принятии решений. Отмечено, что в последнее время наблюдается тенденция возрастания интереса к использованию моделей искусственных нейронных сетей для решения задач прогнозирования в различных сферах человеческой деятельности. Представлены решаемые ими задачи. Разработана интеллектуальная система диспетчерского управления производством кефира с входящим в ее состав интеллектуальным модулем- дегустатором прогнозирования вкуса кефира.

Ключевые слова: прогнозирование, интеллектуальный модуль- дегустатор, вкус, кефир, нейросетевые технологии, системы управления

Введение

Одним из главных приоритетных направлений научно-технологического развития РФ является «переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта». В молочном производстве существует проблема контроля в потоке органолептических показателей качества поступающего сырья и готовой продукции с использованием цифровых, интеллектуальных технологий.

В конечной стоимости молочной продукции 65-80 % составляет стоимость сырья. Проблема обеспечения проверки качества готовой продукции в потоке имеет конкретное экономическое значение для предприятия, акционеров. В среднем для линии по производству кефира средней мощности затраты на сырьё исчисляются несколькими миллионам рублей ежедневно. Именно внедрение цифровых, интеллектуальных технологий в контроль и управление этими производствен-

ными процессами позволят эффективно решать эту проблему. Основные стадии технологического процесса (ТП) производства кефира резервуарным способом представлены на Рисунке 1 и состоят из следующих технологических операций (Благовецкая & Злобин, 2005):

- приемка молока и оценка его качества;
- подготовка сырья к производству кефира, включающая очистку молока, термизацию (т.е. тепловую обработку молока при более мягких режимах, чем режимы пастеризации); охлаждение и промежуточное резервирование;
- нормализация молока по жиру;
- гомогенизация,
- пастеризация;
- заквашивание (с поступлением закваски);
- сквашивание в специальных емкостях;
- перемешивание и охлаждение массы;
- созревание (получение кефира);
- перемешивание и розлив в бутылки и маркировка (фасовка и маркировка).

Каждая стадия включает в себя набор операций, способствующих изменению свойств технологиче-

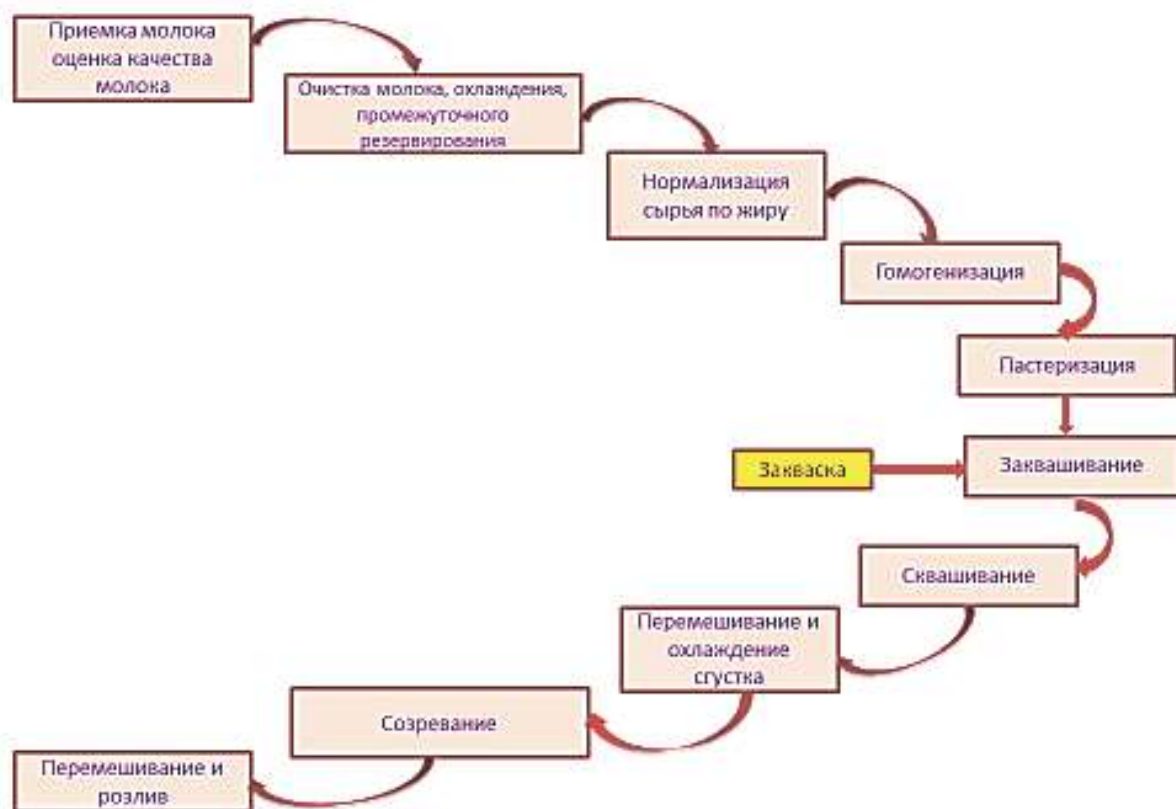


Рисунок 1. Основные стадии ТП производства кефира резервуарным способом

ских материалов, которые в итоге преобразуются в готовый продукт. В получении готового продукта заданного качества большое влияние оказывают также различные материальные потоки производства, такие как пар, сжатый воздух, техническая вода, хладагент, электроэнергия, режимы работы используемого оборудования и др. (Благовещенская, 2009).

Своевременная и точная оценка качества и безопасности молочных продуктов питания, а также их идентификация позволят улучшить качество жизни населения страны. При этом идентификация проводится для подтверждения качества и пищевой ценности готовых изделий на соответствие обязательным требованиям технических регламентов, стандартов, сводов правил, технических условий (Благовещенская и др., 2015). Признаками идентификации кефира по органолептическим показателям качества являются: внешний вид, консистенция, запах, вкус и цвет (Балыхин и др., 2017; Благовещенский и др., 2016).

Органолептический контроль на производстве занимает важное место при определении показателей качества готовой продукции (Благовещенский и др., 2015; Благовещенский & Благовещенская, 2017; Благовещенский & Носенко, 2015). При этом важную роль играют эксперты-дегустаторы, которые проводят на протяжении всей смены производства оценку органолептических показателей качества (ОПК) кефира. Но так как это является невыполнимой задачей, то контроль в процессе производства проводят лишь выборочно, отбирая из партии отдельные образцы изделий. Результатом такой оценки является заключение об органолептических показателях качества изготовленного кефира. В случае положительного результата анализа готовая продукция поступает на реализацию, а в случае отрицательного – бракуется (Савостин и др., 2016; Петряков и др., 2018; Крылова и др., 2017).

Одним из основных ОПК кефира является вкус. Вкус должен быть у кефира чистым кисломолочным, свойственным данному виду продукта, без посторонних привкусов (Карелина и др., 2019; Назойкин & Благовещенский, 2019). Однако проводимый в лабораториях предприятия органолептический контроль вкуса имеет существенные недостатки (Иванов и др., 2012). Так, оценка качества кефира органолептическими методами может привести к субъективным ошибкам из-за так называемых «человеческих факторов»: изменение восприятия вкуса у человека, неверная трактовка вкусовых результатов, вследствие болезней, усталости и непрофессионализма дегустаторов.

Обзор и анализ научной литературы (Благовещенский, 2015; Апанасенко и др., 2012; Балыхин и др., 2019; Балыхин и др., 2017; Благовещенская и др., 2005; Благовещенская и др., 2017; Благовещенский, 2021; Крылова и др., 2017; Савостин, 2014; Савостин и др., 2016; Сантос, 2017) показал перспективность использования для автоматизации контроля вкуса кефира нейросетевые технологии.

Перспективным направлением решения этой проблемы является автоматизация контроля вкуса кефира с использованием интеллектуальных технологий (Балыхин и др., 2019а; Балыхин и др., 2019б; Апанасенко и др., 2012; Благовещенский, 2015; Благовещенский, 2017).

Для решения задачи объективной оценки качества готового продукта необходимо разработать и внедрить в линию производства кефира модуль-дегустатор прогнозирования вкуса кефира, разработанного на основе искусственных нейронных сетей (ИНС).

Таким образом, тема настоящей статьи актуальна и позволяет решить проблему автоматизации контроля вкуса кефира с использованием ИНС. В качестве основных задач исследования выделены следующие:

- исследовать преимущества ИНС для контроля вкуса кефира;
- разработать необходимую для этой задачи структуру нейронной сети;
- провести анализ существующих автоматизированных систем управления технологическими процессами на предприятиях молочной промышленности;
- разработать интеллектуальную систему диспетчерского управления производством кефира с входящим в ее состав интеллектуальным модулем-дегустатором для прогнозирования вкуса кефира.

Научная новизна данного исследования заключается в следующем:

- разработан метод автоматизации контроля органолептического показателя вкуса кефира;
- разработана оптимальная НСМ принятия решений о вкусе кефира;
- получен алгоритм процесса автоматического контроля вкуса кефира.

Целью данной работы является разработка интеллектуальной системы диспетчерского управления производством кефира с входящим в ее состав ин-

теллектуальным модулем- дегустатором для прогнозирования вкуса кефира.

Реализация на производстве модуля- дегустатора дает возможность применять автоматическую систему определения качества исследуемого продукта, уменьшит влияние человеческого фактора на объективность анализа, а также сократит производственный цикл выпуска кефира, исключив стадию органолептической оценки вкуса.

Теоретическое обоснование

Непрерывным контролем в потоке и управлением процессами производства различных пищевых продуктов занимались ученые (Балыхин и др., 20176; Бычков и др., 2015; Харитонов и др., 2019; Balykhin, M. и др., 2018; Blagoveshchenskiy, I. G. и др., 2020). Автоматизация контроля показателей качества пищевых масс с использованием интеллектуальные технологии описана в работах: А.Н. Петрякова, М.М. Благовещенской, В.Г. Благовещенского, В.В. Митина, И.Г. Благовещенского «Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стерео изображениях при помощи алгоритмов построения карты глубины» (Петряков и др., 2019); Е.А. Назойкина, И.Г. Благовещенского, В.М. Синча, М.В. Жирова, В.В. Митина «Использование имитационного моделирования для идентификации состояния предприятий в пищевой промышленности» (Назойкин и др., 2019); В.Г. Благовещенского, В.О. Новицкого, Л.А. Крыловой, М.Ю. Никитушкиной «Постановка задачи создания интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом производства халвы» (Благовещенский и др., 2019); И.Г. Благовещенского, В.Г. Благовещенского, Е.А. Назойкина, А.Н. Петрякова «Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции» (Благовещенский и др., 2020).

Разработкой и использованием экспертных систем для создания интеллектуальных систем контроля и управления производствами пищевой продукции занимались: И.Г. Благовещенский «Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий» (Благовещенский, 2018); И.А. Бычков, М.М. Благовещенская, А.С. Носенко, И.Г. Благовещенский «Метод обобщенных интервальных оценок для поддержки групповых экспертных решений в условиях неопределенности» (Бычков и

др., 2015); М.Г. Балыхин, А.Б. Борзов, И.Г. Благовещенский И.Г. «Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции» (Балыхин и др., 2017а); И.Г. Благовещенский, С.М. Носенко «Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения» (Благовещенский & Носенко, 2015).

Использованием нейросетевых технологий для разработки АСУТП пищевых производств занимались: И.Г. Благовещенский «Автоматизированная экспертная система контроля в потоке показателей качества помадных конфет с использованием нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения» (Благовещенский, 2015); С.И. Апанасенко, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский «О перспективах создания системы автоматического контроля влажности кондитерских масс в потоке с использованием аппарата искусственных нейронных сетей» (Апанасенко и др., 2012); М.М. Благовещенская, М.П. Сантон Куннихан «Структура систем управления дозирования с использованием нейронных сетей» (Благовещенская & Сантон Куннихан, 2017); Е.Б. Карелина, В.Г. Благовещенский, С.В. Чувахин, Д.Ю. Клехо, И.Г. Благовещенский «Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы хранения и созревания сыпучих пищевых продуктов» (Карелина и др., 2019); Е.Б. Карелина, М.Г. Балыхин, И.М. Донник, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, З.В. Макаровская, Д.Ю. Клехо «Разработка интеллектуального комплекса для адаптивного управления технологическими процессами текстильной промышленности с применением нейросетевых регуляторов» (Карелина и др., 2019; Сантос & Благовещенская, 2017); С.Д. Савостин, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский «Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размолла с использованием интеллектуальных технологий» (Савостин и др., 2016). Также важно в этой области отметить следующие научные работы: M. Balykhin, M. Blagoveschenskaya, I. Blagoveschenskiy, E. Karelina 2018; Ramirez et al., 2009; Wilson & Threapleton, 2003; Legin et al., 1999).

В ФГБОУ ВО «МГУПП» в 2019 г. проводились такие работы как «Использование имитационного моделирования для идентификации состояния предприятий в пищевой промышленности» (Назойкин и др., 2019) и «Автоматизация технологического процесса производства вафель и возможность использования цифрового двойника в качестве инновационного инструмента» (Гарев, Карелина,

Благовещенская, Клехо, Благовещенский, 2019). Кроме того, было защищено несколько диссертаций по автоматизации определения состояния пищевых продуктов: Роденков Е.В. «Математическое и алгоритмическое обеспечение задачи автоматизации процесса дезинфекции ПЭТ-бутылок с помощью озона» (Роденков, 2005), Апанасенко Сергей Игоревич «Автоматизация контроля влажности кондитерских масс с применением интеллектуальных технологий» (Апанасенко и др., 2010); Артамонов А.В. «Разработка информационно-измерительной системы для мониторинга динамики замеса пшеничного теста» (Артамонов, 2012); Иванов Я.В. «Математическое и алгоритмическое обеспечение автоматизации процесса формирования кондитерских масс с использованием цифровой видеосъемки» (Иванов, 2014); Савостин С.Д. «Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размола с использованием интеллектуальных технологий» (Савостин, 2014); Благовещенский И.Г. «Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий» (Благовещенский, 2018); Карелина Е.Б. «Разработка интеллектуального комплекса для адаптивного управления параметрами микроклимата процессов хранения муки» (Карелина, 2018); Благовещенский В.Г. «Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий» (Благовещенский, 2021).

В проводимом исследовании был учтен и проработан опыт предыдущих исследований, использованы рекомендации, приводимые авторами перечисленных трудов. Однако, не было исследований в данной области по такому распространенному в нашей стране кисломолочному диетическому напитку, занимающему по праву доминирующее положение среди всех продуктов переработки молока, как кефир. Поэтому ключевые задачи, связанные с исследованием и анализом возможности контроля вкуса кефира в потоке остаются открытыми. Также, нет разработок интеллектуальных систем диспетчерского управления производством кефира.

Целью прогнозирования является уменьшение риска при принятии решений. При этом прогноз обычно зависит от используемой прогнозирующей системы. Предоставляя модели прогнозирования больше ресурсов, мы можем увеличить точность прогноза и свести к приемлемому минимуму ошибку, тем самым уменьшив убытки, связанные с неопределенностью при принятии решений.

Прогнозирование является одним из ключевых моментов при принятии решений в управлении. Конечная эффективность любого решения зависит от последовательности событий, возникающих уже после принятия решения. Возможность заранее предсказать неуправляемые аспекты этих событий позволяет сделать наилучший выбор, который в противном случае мог бы быть не таким удачным. Поэтому системы контроля и управления, обычно, реализуют функцию прогноза. Необходимо отметить, что прогнозирование - это не конечная цель данного исследования. Прогнозирующая подсистема - это часть большой системы менеджмента и она взаимодействует с другими компонентами системы контроля и управления, играя немалую роль в получаемом оптимальном результате (Blagoveshchenskiy et al., 2020).

Успешное решение задачи автоматизации контроля в потоке вкуса готового кефира при минимальных затратах на подготовку и проведение анализов станет возможным благодаря внедрению в производственный процесс интеллектуального модуля-дегустатора прогнозирования вкуса кефира, в основе алгоритма работы которого заложены нейросетевые технологии (НСТ) (Благовещенский и др., 2019).

Материалы и методы исследования

Объект исследования

Поточная линия производства кефира и процессы органолептического контроля и управления всеми этапами производства этого продукта.

Материалы

При проведении исследований использовался кефир из обезжиренного молока классической жирности без добавлений витамина С. Основные сырьевые компоненты кефира соответствовали традиционной рецептуре по ГОСТ 31454-2012 (Межгосударственный стандарт. КЕФИР. Технические условия).

На Рисунке 1 представлена используемая на молочных предприятиях блок-схема точек контроля кефира, где ОП – органолептические показатели: внешний вид, вкус, консистенция, запах и цвет; ФХП – физико-химические показатели (массовая доля жира, массовая доля белка, кислотность и СОМО; МП – микробиологические показатели: молочнокислые микроорганизмы, пробиотики, дрожжи («Кефир. Технические условия»).

Методы

При проведении исследований применялись: основные положения теории автоматического управления; элементы теории искусственного интеллекта; общие принципы математического моделирования; теория нейронных сетей; методы системного анализа и математической статистики.

При проведении исследований и органолептического контроля дегустационной комиссией определялся балл вкуса кефира, который выражает интенсивность вкуса по балльной шкале. Балльная шкала служит для количественной оценки уровня вкуса и представлена в Таблице 1 гедонической шкалой (шкала предпочтений) органолептической оценки вкуса молочных продуктов.

Процедура исследования

Для проведения исследований по автоматизации определения в потоке вкуса готового кефира была разработана агентная имитационная модель процесса производства кефира, представленная на Рисунке 2.

Разработка агентной имитационной модели позволила структурировано виртуально отобразить все этапы производства кефира и оценить ее эф-

Таблица 1
Шкала органолептической оценки вкуса кефира

Сводная органолептическая оценка	Балл
Превосходно	10
Отлично (прекрасно)	9
Очень хорошо	8
Хорошо	7
Нормально	6
Удовлетворительно	5
Не очень нравится	4
Плохо	3
Очень плохо	2
Не приемлемо (брак)	1

фективность, поскольку данная имитационная модель не только виртуально отображает действительность процессов с той или иной степенью точности, а имитирует работу всей линии производства кефира. Также модель дает возможность прокрутить работу системы в ускоренном или замедленном формате. Время в модели, технологические и режимные параметры можно изменять по необходимости.

Для разработки мультиагентной имитационной модели производства кефира была выбрана

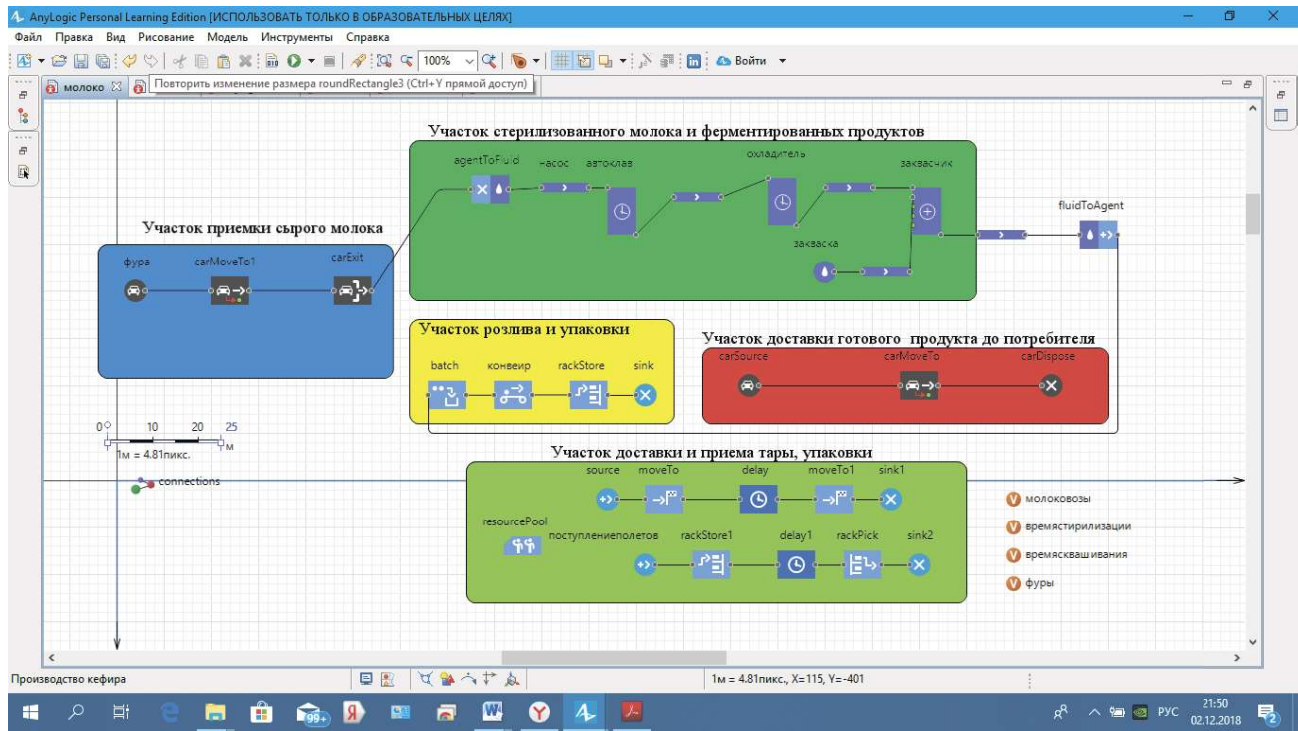


Рисунок 2. Агентная имитационная модель процесса производства кефира

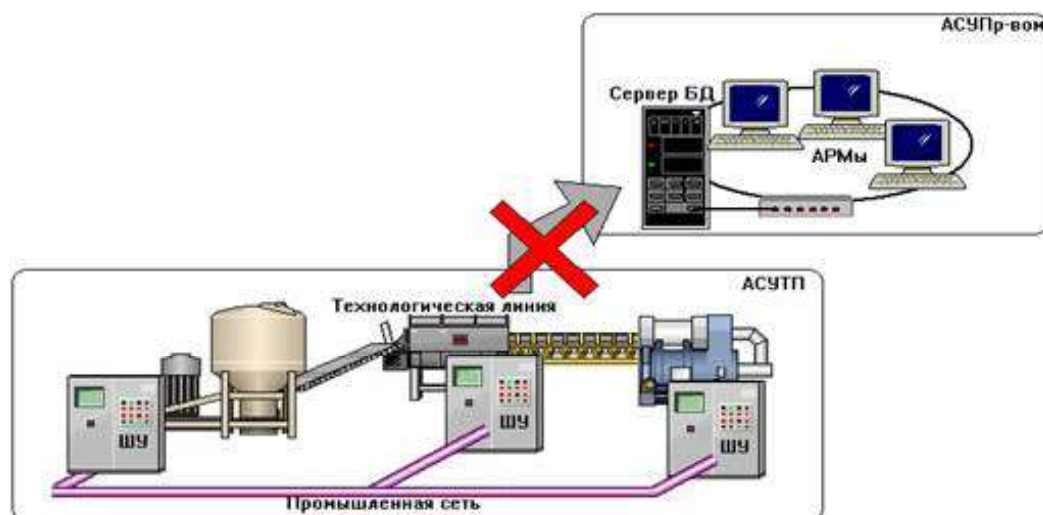


Рисунок 3. Структура молочного производства

среда AnyLogic – наиболее эффективное программное обеспечение (ПО) для мультиагентного моделирования (Петряков и др., 2018). В AnyLogic агентное моделирование комбинируется с дискретно-событийным подходом или системной динамикой. Также разработка модели сопровождается дружественным и удобным в среде разработки интерфейсом, позволяющим не затрагивать код программы. Важным дополнением является наличие библиотеки моделирования процессов. Она позволяет реализовывать сложные процессы, разделяя их на связанные между собой отдельные составляющие, и преобразовывать процессы, используя агентные модели. Кроме того, доступно совмещение с другими библиотеками без потери единства процесса. Имеется встроенная визуализация процесса и статистика по времени с отображением её во временном графике. Благодаря разработке данной модели экспериментальные исследования проводились в виртуальном пространстве с применением технологий имитационного моделирования. При этом были рассмотрены разнообразные варианты управления процессами производства кефира и оценки вкуса готового продукта. При проведении экспериментов варьировались технологические и режимные параметры производства, что позволило в короткие сроки и без лишних затрат увидеть получаемые результаты.

Для решения задачи объективной оценки вкуса готового кефира был проведен анализ существующих автоматизированных систем управления технологическими процессами на предприятиях молочной промышленности, который показал,

что, в большинстве случаев, реализованные в настоящее время системы отвечают только за управление оборудованием технологической линии, а взаимодействие с уровнем управления всем производством отсутствует (Рисунок 3) (Благовещенский и др., 2019).

Это в значительной мере сказывается на уровне автоматизации предприятия в целом. В частности, без указанного выше взаимодействия становится невозможным создание интеллектуального модуля-дегустатора для прогнозирования вкусовых качеств кефира. Для функционирования такого модуля необходимо, чтобы на его вход поступали в реальном времени данные из общей системы управления технологическим процессом всего производства.

Для оптимального функционирования данного модуля необходима выборка большого количества измеряемых в процессе производства технологических параметров за продолжительный период времени. Такое возможно при интеграции модуля прогнозирования с базой данных системы диспетчерского управления (Рисунок 4.).

Информация со всех контроллеров технологической линии по промышленной сети поступает в базу данных производства и хранится в ней достаточно продолжительное время. С помощью специальных запросов на входе интеллектуального модуля прогнозирования формируется выборка необходимой информации в определенной структурированной, понятной для обработки модулем форме. Полнота и достоверность данных, получаемых с датчиков автоматизированной техноло-

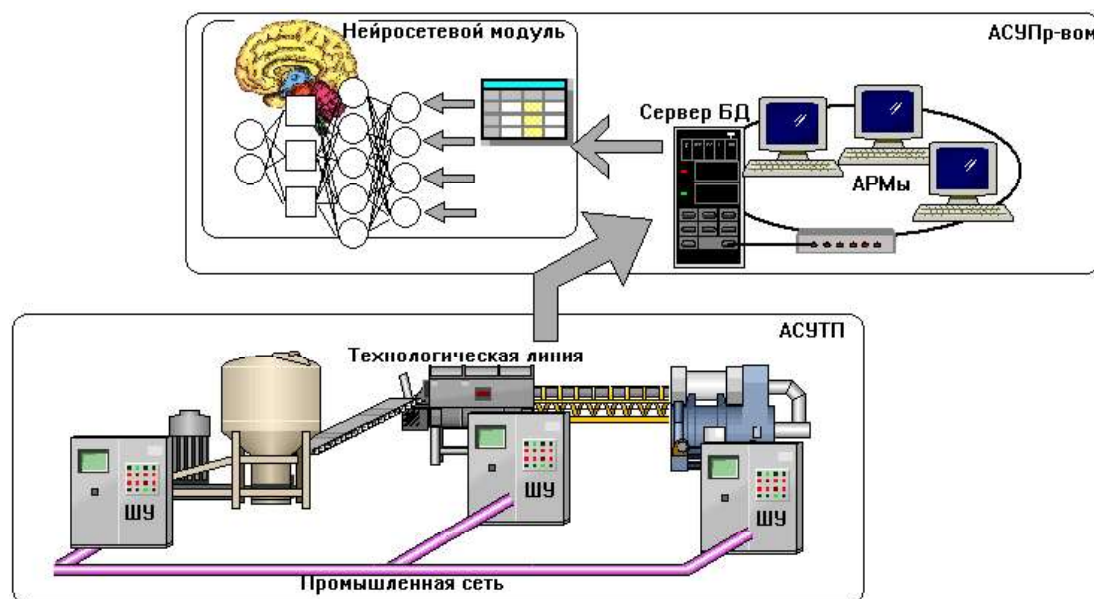


Рисунок 4. Применение нейросетевого модуля прогнозирования вкуса

гической линии, способствует снижению ошибки прогнозирования.

Проведенные исследования выявили контрольные точки для составления достаточной выборки входных параметров НСМ. Группа дополнительных информативных параметров формировалась на стадии проведения обучения НСМ. К указанной категории были отнесены те параметры, весовые коэффициенты которых при обучении НСМ имели значения, оказывающие влияние на показатели выходного слоя НС. Параметры, в которых весовые коэффициенты оказывались незначительное влияние на показатели качества не учитывались.

Основные этапы построения виртуального датчика автоматического контроля органолептического показателя на основе НСТ и встраивание его в интеллектуальный модуль дегустатор в общем случае подробно изложен в кандидатской диссертации И.Г. Благовещенского (Благовещенский, 2015; Благовещенский, 2017). В соответствии с расписанным алгоритмом построения виртуального датчика определена архитектура НС и алгоритм обучения для реализации НСМ. В процессе реализации подбора были проклассифицированы основные типы архитектур НС. После чего был проведен анализ на возможность использования различных архитектур для решения задачи оценки вкуса кефира.

В итоге была создана параметрическая модель для решения задачи автоматического контроля

вкуса готового пищевого продукта. Дальнейшая экспериментальная часть работы проводилась с применением многослойных НС прямого распространения, типа многослойный персептрон. Работа модуля- дегустатора на основе разработанной НСМ была проверена в экспериментальных условиях.

Анализ данных

Вычисления в процессе исследований, численная и графическая обработка результатов производилась с применением математического аппарата прикладных программ. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследований по автоматизации определения в потоке вкуса готового кефира показали, что к настоящему времени все органолептические показатели качества кефира, в том числе вкус, определяются лабораторными методами (Рисунок 5). Оперативный контроль данного показателя качества осуществляется 1 раз в смену органолептическими методами. Инструментальных средств автоматизации контроля этого показателя нет. В настоящее время этот показатель определяется только в лабораторных условиях. Основным заключающим документом об органолептических показателях качества (ОПК) кефира является оценка дегустаторов-технологов.

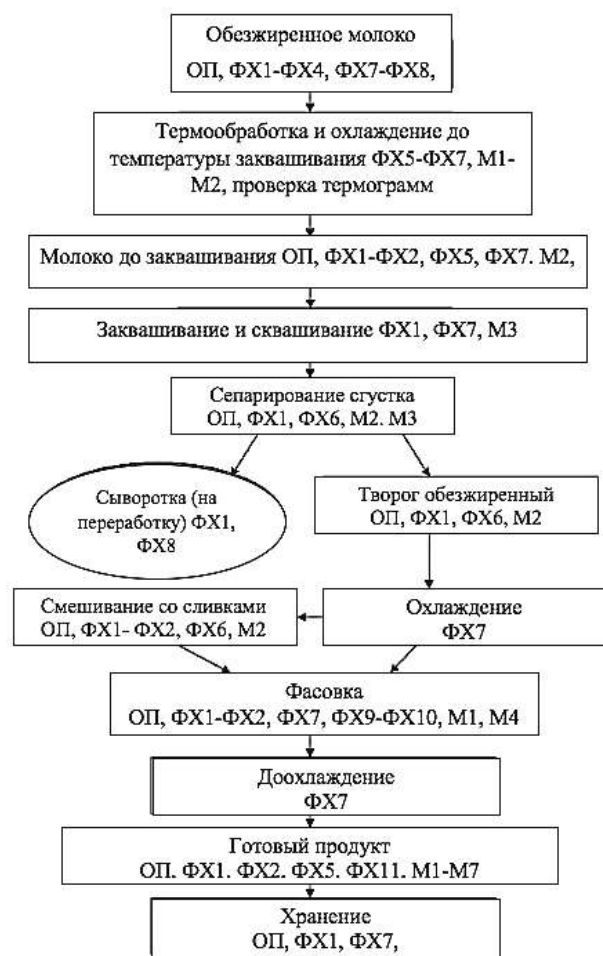


Рисунок 5. Блок-схема точек контроля кефира

Параметры и режимы проведения процессов производства кефира

Проведенные предварительные исследования позволили выявить необходимые для решения намеченных задач параметры и режимы работы оборудования производства кефира, представленные на Рисунке 6.

Как видно из Рисунка 6, температурные режимы важны при всех стадиях производства кефира: подготовке сырья, его сепарировании, при гомогенизации, стерилизации и т.д. Проведенный нами обзор и анализ работ по влиянию тепловой обработки производственной закваски показал, что на органолептические показатели качества готового кефира большое влияние оказывают температурные режимы сквашивания и созревания. Также на органолептические показатели качества кефира большое влияние оказывают режимы работы используемого оборудования и технологические параметры ведения всех стадий производства.

Автоматизации контроля в потоке вкуса готового кефира

В последнее время наблюдается тенденция возрастания интереса к использованию моделей нейросетевых технологий (НСТ) для решения задач контроля и прогнозирования в различных сферах человеческой деятельности (Благовещенский и др., 2020). НСТ являются одним из направлений развития искусственного интеллекта и представляют собой математический аппарат, позволяющий воспроизводить достаточно сложные зависимости. Их применение целесообразно для решения сложно формализуемых задач, в которых входные данные слабо коррелируют с выходными (Благовещенская и др., 2015).

Искусственные нейронные сети – это совокупность моделей биологических нейронных сетей. Они представляют собой набор элементов – искусственных нейронов, связанных между собой синаптическими соединениями. Сеть обрабатывает входную информацию и в процессе изменения своего состояния во времени формирует совокупность выходных сигналов (Крылова и др., 2017). Работа сети состоит в преобразовании входных сигналов во времени, в результате чего меняется внутреннее состояние сети и формируются выходные воздействия. Применение аппарата нейронных сетей для определения вкуса кефира в ходе технологического процесса до его завершения позволит решать ряд следующих задач:

- определение оптимального сочетания большинства органолептических характеристик кефира (аромат, цвет, вкус, консистенция и внешний вид);
- сокращение времени производственного цикла;
- снижение материальных затрат на проведение лабораторного анализа;
- возможность получения новых рецептур и др.;
- повышение эффективности производства кефира.

На сегодняшний день влияние физико-химических и реологических параметров сырья, а также различных технологических режимов на формирование совокупности органолептических характеристик кефира определяется только на основе глубокого лабораторного анализа. Этот процесс занимает достаточно длительное время и требует наличие квалифицированных специалистов. В свою очередь, прогнозирование с помощью нейронных сетей обладает рядом недостатков. Как правило, необходимо порядка ста наблюдений для создания приемлемой нейросетевой модели. Это достаточ-

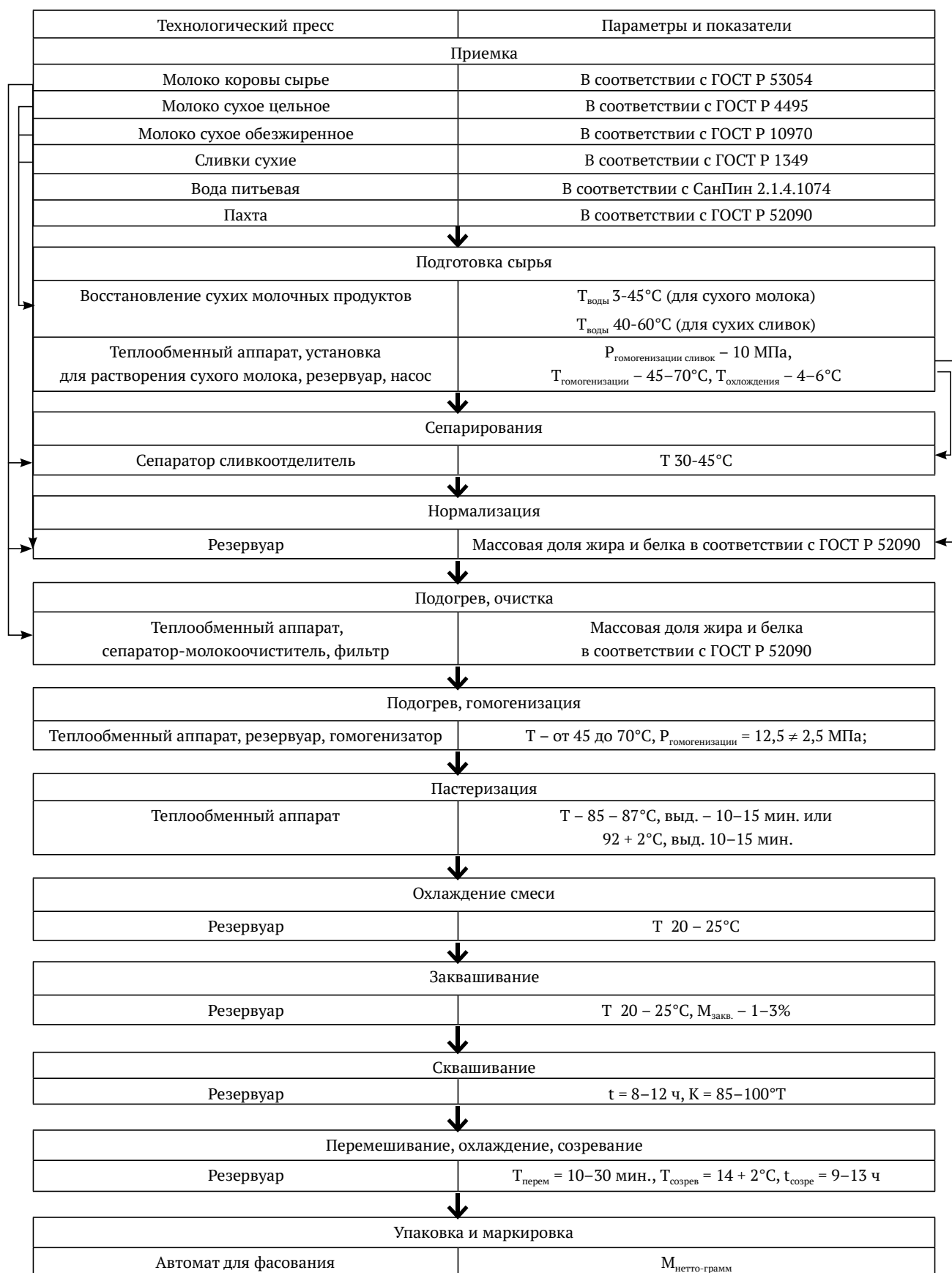


Рисунок 6. Параметры и режимы производства кефира

но большое число данных и, в ряде случаев, такое количество исторических данных недоступно. Однако, необходимо отметить, что возможно построение удовлетворительной модели на нейронных сетях даже в условиях нехватки данных. Модель может уточняться по мере того, как свежие данные становятся доступными. Описанные недостатки становятся решаемыми при взаимодействии программного обеспечения, в основу которого заложена нейросетевая модель с АСУТП, развернутыми на современных автоматизированных технологических линиях молочных предприятий.

В настоящее время при оснащении предприятий молочной промышленности современными автоматизированными технологическими линиями заказчик получает в свое пользование оборудование, укомплектованное огромным количеством разнообразных интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов. В отличие от используемых ранее, эти устройства позволяют не только измерять параметры и вырабатывать управляющие воздействия, но и осуществлять различного рода интеллектуальные операции, такие как: подстройка параметров, оцифровка сигнала, самодиагностика и др. Это позволяет свести к минимуму потери, связанные с износом оборудования, а также в кратчайшие сроки определить неисправность устройства, тем самым снизить процент брака выпускаемой продукции.

В таких системах информация с датчиков поступает на программируемые логические контроллеры. Контроллеры размещены таким образом, чтобы осуществлять управление отдельными узлами технологической линии. Одна современная автоматизированная линия может включать в себя десятки таких устройств. Основной задачей программируемого логического контроллера является отработка алгоритма хода технологического процесса, а также синхронизация работы отдельных узлов линии между собой. Передача информации между узлами осуществляется с помощью промышленных сетей полевого уровня, таких как: Profibus DP, Foundation Fieldbus, CAN open и др.

Наличие в современных АСУТП панелей операторов, с используемым в них интуитивно понятным интерфейсом, дает возможность обслуживающему персоналу без труда корректировать рецептуру изготавливаемой продукции, а также осуществлять ручное управление, как отдельными агрегатами, так и всей линией целиком. Внедрение системы диспетчерского управления открывает возможности централизованного сбора и хранения информации измеряемых параметров на всех стадиях производства, что позволяет осуществлять анализ

различных показателей, необходимых для повышения конкурентоспособности выпускаемой на рынок продукции. Один из таких показателей - вкус кефира. Решение задачи автоматизации контроля вкуса кефира будет возложено на интеллектуальный программный модуль-дегустатор (интеллектуальный программно-аппаратный комплекс) контроля вкуса, в алгоритм работы которого заложена нейросетевая модель прогнозирования.

Для решения задачи автоматического контроля вкуса готового пищевого продукта создана параметрическая модель, представленная на Рисунке 7.

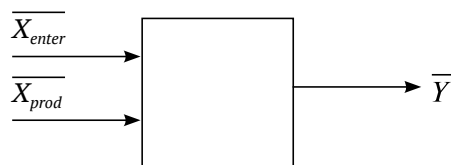


Рисунок 7. Обобщенная параметрическая модель автоматического контроля вкуса кефира

Математически, задачу определения величины вкуса кефира S_k можно сформулировать следующим образом:

$$\bar{Y}_t = [\bar{X}_{amt}, \bar{X}_{lmt}]; \underline{Y} = F(\underline{X}_{am}, \underline{X}_{lm}), \quad (1)$$

где:

$\underline{X}_{am}$ – (automation measurement) входной вектор, характеризующий параметры технологического процесса, полученные в результате автоматических измерений, производимых существующей на производстве АСУ;

$\underline{X}_{lm}$ – (laboratory measurement) входной вектор, характеризующий исходные показатели качества сырья (молока), закваски и полуфабрикатов, определенные в процессе входного контроля и полученные в результате лабораторных измерений.

При постановке задачи в виде формулы (1) на модель ложится проблема определения единственного параметра технологического процесса: величины вкуса кефира. Основой для определения искомого показателя служат разнообразные статистические данные о ходе ТП и органолептические параметры молока и закваски, корреляция которых с определяемым параметром выражена не явно. Таким образом, в случае использования для построения модели аппарата ИНС, задача нейронной сети в данной системе сводится к задаче прогнозирования результата. При правильном формировании обучающей выборки, значения

параметров которой будут охватывать весь допустимый диапазон изменения их значений, задача прогнозирования искомого показателя представляет собой задачу интерполяции результатов. Это означает, что данный виртуальный датчик будет стабильно работать с заданной погрешностью в данном диапазоне значений технологических параметров. Таким образом, нейросетевая модель, обученная по выборке, в которой проводилось соотношение величины вкуса кефира и характерных для данного значения параметров ТП, имеет вид:

$$\underline{y}_i = F(\underline{X}_{ami}, \underline{X}_{lmi}) \quad (2)$$

и производит интерполяцию значения величины вкуса кефира, основываясь на имеющихся данных о процессе.

Определение вкуса кефира посредством обработки технологических измерений программным модулем, работающем на основе нейросетевой модели, является одной из задач разрабатываемой системы управления производством. Таким образом, создаются объективные предпосылки для внедрения на предприятиях молочной промышленности целостной системы автоматического управления производством. Структура такой системы должна иметь модульную концепцию, которая открывает возможности гибкого, планомерного исследования различных классов задач, возникающих на всех стадиях производства.

Полученные данные показали, что оптимальной архитектурой сети будет являться гибридная сеть, сочетающая в себе организацию связей между нейронами как в многослойном персептроне, со значениями выходного слоя выраженными нечеткими правилами, что позволяет получить результат о принадлежности вкуса исследуемого кефира к критериям, по которым осуществляется эта оценка.

Осуществлен подбор количества слоев и количества нейронов для каждого слоя НС. По результатам обучения был проведен анализ работоспособности НСМ, а также анализ степени влияния входных параметров на критерии вкуса по значениям весовых коэффициентов НС. По результатам анализа из входной выборки были удалены те показатели, у которых средние значения весовых коэффициентов, относящихся к связям между входным и промежуточным слоем, не превышало 0,1. Такая модификация входного слоя НС позволила после повторного обучения снизить значения средней погрешности по каждому из критериев на 1% – 1,5%. По результатам исследу-

ований был построен профиль вкуса исследуемого образца кефира.

Для реализации выдачи управляющего воздействия на исполнительные механизмы технологической линии был составлен перечень основных параметров, по которым осуществляется корректировка показателей вкуса. При отклонении параметра полученного профиля вкуса от эталонного происходит изменение уставки корректирующего параметра. Непосредственное воздействие на исполнительный механизм осуществляется посредством передачи команды контроллера с учетом скорректированной уставки.

Разработана структура программно-аппаратного комплекса (ПАК) - интеллектуального модуля-дегустатора автоматического контроля вкуса кефира. Подобран комплекс технических средств для физической реализации ПАК. Разработан алгоритм работы комплекса для всех элементов структуры. Разработаны интерфейсы пользователя для ввода данных в систему и аналитической обработки полученных результатов.

Разработанная структура интеллектуального модуля-дегустатора (ПАК) контроля показателей вкуса кефира позволяет реализовать функции присущие автоматизированным системам управления (Рисунок 9), которые позволяют выполнить необходимые условия для корректной работы ПАК.

Работа модуля-дегустатора на основе разработанной НСМ была проверена в экспериментальных условиях. Функции модуля-дегустатора вкуса:

- автоматический сбор данных с объекта управления (линия производства кефира);
- ввод данных о сырье и полуфабрикатах, посредством человеко-машинного интерфейса;
- обработка данных;
- хранение данных;
- выборка данных;
- реализация работы НСМ;
- статистическая обработка полученных результатов;
- вывод данных в удобной для пользователя форме;
- выдача управляющего воздействия на объект управления.

По результатам проведенных экспериментальных исследований разработана структура модуля – дегустатора (программно-аппаратного комплекса) прогнозирования вкуса кефира с

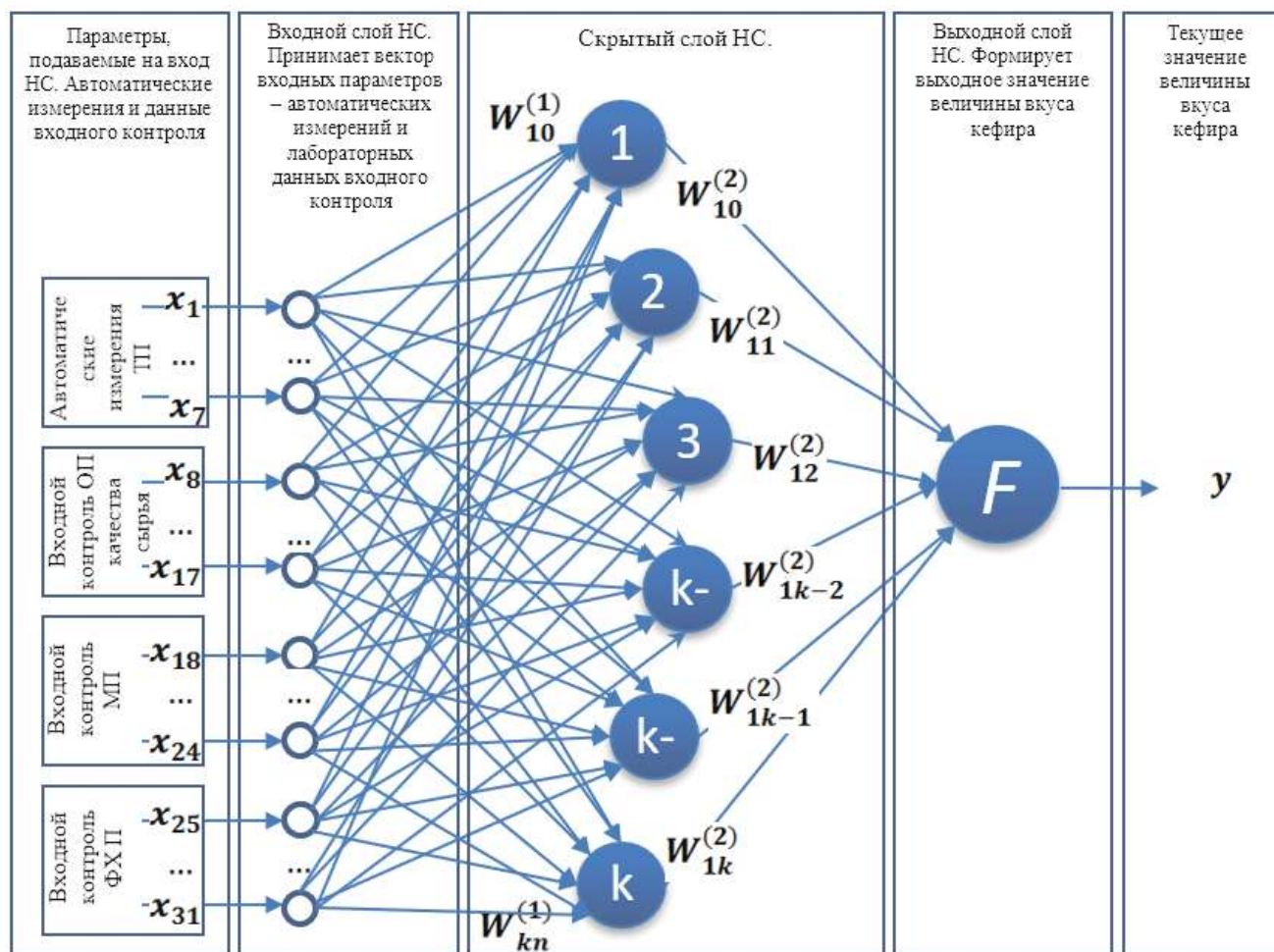


Рисунок 8. Структура НС

использованием нейросетевой модели, позволяющей увеличить точность прогноза и свести к приемлемому минимуму ошибку, тем самым уменьшив убытки, связанные с неопределенностью при принятии решений. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о перспек-

тивности применения интеллектуального модуля- дегустатора для прогнозирования вкуса кефира и использовать его для повышения эффективности и обеспечения стабилизации производства кефира в условиях колебаний свойств поступающего сырья.

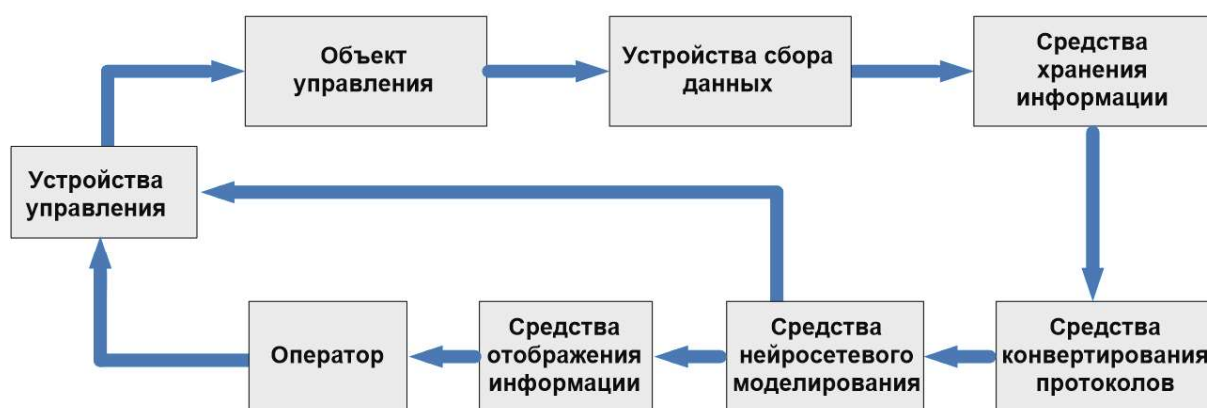


Рисунок 9. АСУТП производства кефира

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения искусственных нейронных для автоматизации контроля в потоке вкуса кефира. Разработана структура интеллектуального модуля-дегустатора контроля показателей вкуса кефира. Представлены функции интеллектуальной системы диспетчерского управления производством кефира с входящим в ее состав интеллектуальным модулем-дегустатором для прогнозирования вкуса кефира.

Полученные данные свидетельствуют о том, что автоматизация контроля качества кефира с использованием искусственных нейронных сетей позволит повысить эффективность производства и обеспечит выработку высококачественного кефира.

Литература

- Апанасенко, С. И., Благовещенская, М. М., & Благовещенский, И. Г. (2012). О перспективах создания системы автоматического контроля влажности кондитерских масс в потоке с использованием аппарата искусственных нейронных сетей. В *Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины: Материалы первой международной научно-практической конференции – выставки* (с. 212-214). М.: МГУПП.
- Артамонов А.В. (2012). *Разработка информационно-измерительной системы для мониторинга динамики замеса пшеничного теста* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Балыхин, М. Г., Благовещенский, И. Г., Благовещенский, В. Г., & Крылова, Л. А. (2019а). Разработка нейросетевой модели для управления процессом дозирования сыпучих масс. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 6-20). М.: МГУПП.
- Балыхин, М. Г., Благовещенский, И. Г., Назойкин, Е. А., & Благовещенский, В. Г. (2019б). Адаптивная система управления с идентификатором нестационарными технологическими процессами в отраслях пищевой промышленности. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 32-39). М.: МГУПП.
- Балыхин, М. Г., Борзов, А. Б., & Благовещенский, И. Г. (2017а). Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции. *Пищевая промышленность*, 11, 60-63.
- Балыхин, М. Г., Борзов, А. Б., & Благовещенский, И. Г. (2017б). *Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий*. М.: Франтера.
- Благовещенская, М. М. (2009). *Основы стабилизации процесса приготовления многокомпонентных масс*. М.: Франтера.
- Благовещенская, М. М., Благовещенский, И. Г., & Назойкин, Е. А. (2015). Методика автоматической оценки качества пищевых изделий на основе теории искусственных нейронных сетей. *Пищевая промышленность*, 7, 42-49.
- Благовещенская, М. М., & Злобин, Л. А. (2005). *Информационные технологии систем управления технологическими процессами*. М.: Высшая школа.
- Благовещенская, М. М., & Сантон Куннихан, М. П. (2017). Структура систем управления дозирования с использованием нейронных сетей. В *День науки: Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых* (т. 5, с. 263-267). М.: МГПУПП.
- Благовещенский В.Г. (2021). *Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий*. [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Благовещенский, В. Г., & Благовещенская, М. М. (2017). Разработка экспертной системы контроля качества в процессе приготовления халвы. В *Живые системы и биологическая безопасность населения: Сборнике материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых* (с. 132-137). М.: МГУПП.
- Благовещенский, В. Г., Новицкий, В. О., Крылова, Л. А., & Никитушкина, М. Ю. (2019). Постановка задачи создания интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом производства халвы. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 21-31). М.: МГУПП.
- Благовещенский, И. Г. (2015). *Автоматизированная экспертная система контроля в потоке показателей качества помадных конфет с использованием нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Благовещенский, И. Г. (2018). *Методологические основы создания экспертных систем контроля и*

- прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий [Докторская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Благовещенский, И. Г. (2017). Оценка диапазонов изменения входных параметров для получения желаемого качества пищевой продукции. В *Живые системы и биологическая безопасность населения: Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых* (с. 116-121). М.: МГУПП.
- Благовещенский, И. Г., Благовещенская, М. М., Носенко, А. С., & Носенко, С. М. (2016). Методика построения автоматизированных экспертных систем контроля и прогнозирования органолептических показателей качества конфет в потоке. *Кондитерское производство*, 5, 24-27.
- Благовещенский, И. Г., Благовещенский, В. Г., Назойкин, Е. А., & Петряков, А. Н. (2020). Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции. В *Цифровизация агропромышленного комплекса: Сборник научных статей* (т. 1, с. 105-110). Тамбов: ТГТУ.
- Благовещенский, И. Г., & Носенко, С. М. (2015). Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формования помадных конфет с использованием системы технического зрения. *Пищевая промышленность*, 6, 53-58.
- Бычков, И. А., Благовещенская, М. М., Носенко, А. С., & Благовещенский, И. Г. (2015). Метод обобщенных интервальных оценок для поддержки групповых экспертных решений в условиях неопределенности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 63-65.
- Гарев К.В.И., Карелина Е.Б.И., Благовещенская М. М., Клехо Д.Ю., & Благовещенский И.Г. (2019). Автоматизация технологического процесса производства вафель и возможность использования цифрового двойника в качестве инновационного инструмента. В сборнике: *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. Сборник материалов конференции.* (с. 40-46). М.: МГУПП.
- Иванов Я.В. (2014). *Математическое и алгоритмическое обеспечение автоматизации процесса формования кондитерских масс с использованием цифровой видеосъемки* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Иванов, Ю. В., Благовещенская, М. М., & Благовещенский, И. Г. (2012). Автоматизация процесса формования карамельных масс на основе математического и алгоритмического обеспечения с использованием цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика. В *Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для пищевой промышленности и медицины: Материалы первой международной научно-практической конференции и-выставки* (с. 215-218). М.: МГУПП.
- Карелина Е.Б. (2018). *Разработка интеллектуального комплекса для адаптивного управления параметрами микроклимата процессов хранения муки.* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Карелина, Е. Б., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Клехо, Д. Ю., & Благовещенский, И. Г. (2019). Интеграция адаптивного управления в технологические процессы пищевой отрасли. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Материалы научно-практической конференции с международным участием* (с. 81-89). М.: МГУПП.
- Крылова, Л. А., Благовещенский, В. Г., & Татаринов, А. В. (2017). Разработка интеллектуальных аппаратно- программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий. В *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: Кадры и наука* (с. 199-201). М.: МГУПП.
- Назойкин, Е. А., & Благовещенский, И. Г. (2019). Применение методов имитационного моделирования для идентификации процессов тестоприготовительного отделения на хлебопекарном предприятии. В *Имитационное моделирование и его применение в науке и промышленности: Сборник трудов девятой всероссийской научно-практической конференции* (с. 468-472). М.: МГУПП.
- Назойкин, Е. А., Благовещенский, И. Г., Синча, В. М., Жиров, М. В., & Митин, В. В. (2019). Использование имитационного моделирования для идентификации состояния предприятий в пищевой промышленности. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 147-155). М.: МГУПП.
- Петряков, А. Н., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., & Крылова, Л. А. (2018). Применение методов объектно-ориентированного программирования для контроля показателей качества кондитерской продукции. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, 5-6, 21-23.
- Петряков, А. Н., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Митин, В. В., & Благовещенский, И. Г. (2019). Применение методов объектно-ориентированного программирования для контроля показателей качества кондитерской продукции. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 147-155). М.: МГУПП.

- щенский, И. Г. (2019). Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стерео изображениях при помощи алгоритмов построения карты глубины. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 133-138). М.: МГУПП.
- Роденков, Е. В. (2005). *Математическое и алгоритмическое обеспечение задачи автоматизации процесса дезинфекции ПЭТ-бутылок с помощью озона* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Савостин С.Д. (2014). *Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размола с использованием интеллектуальных технологий* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Савостин, С. Д., Благовещенская, М. М., & Благовещенский, И. Г. (2016). *Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размола с использованием интеллектуальных технологий*. М.: Франтера.
- Сантос, М. Р., & Благовещенская, М. М. (2017). Использование нейронной сети для автоматизации процесса управления объемным дозированием молотого кофе. В *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: Кадры и наука: Научная конференция с международным участием* (с. 102-106). М.: МГУПП.
- Харитонов, П. Н., Карелина, Е. Б., Благовещенский, В. Г., Клехо, Д. Ю., & Благовещенский, И. Г. (2019). Внедрение цифрового двойника управления в технологическое производство. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 171-180). М.: МГУПП.
- Balykhin, M., Blagoveschenskaya, M., Blagoveschenskiy, I., & Petryakov, A. (2018). Designing a course in system modeling for "system analysis and management" and "information systems" majors. In *5th international multidisciplinary scientific conference on social sciences and arts sgem 2018: Conference proceedings* (pp. 167-174). Moscow: Moscow State University of Food Production. <https://doi.org/10.5593/sgemsocial2018/3.5/S13.021>
- Blagoveshchenskiy, I. G., Blagoveshchenskiy, V. G., Besfamilnaya, E. M., & Sumerin, V. A. (2020). Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators. In *Journal of Physics: Conference Series* (Article 012019). Moscow: Moscow State University of Food Production. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1705/1/012019>
- Legin, A., Rudnitskaya, A., Vlasov, Yu., di Natale, C., & d'Amico, A. (1999). *Sensors and actuators*. West Publishing Company.
- Ramirez, M. T. M., Garelli, F., Dominguez, A., & Angulo, M. (2009). Simulacion de un algoritmo para controlar el nivel en tolva nate la alimentacion discontinua de caña. *Revista iberoamericana de automatica e informatica industrial*, 6(3), 54-60. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(09\)70264-X](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(09)70264-X)
- Wilson, C. I., & Threapleton, L. (2003). *Application of artificial intelligence for predicting beer flavours from chemical analysis*. Coors Brewers, Technical Centre.

Intelligent Module-Taster for Prediction of the Taste of Kefir

Maxim Yu. Muzyka

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: muzyka@mgupp.ru*

Ivan G. Blagoveshchensky

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: igblagov@mgupp.ru*

Margarita M. Blagoveshchenskaya

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: mmb@mgupp.ru*

Alexey V. Buneev

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: alex-ey.buneev@eu.omron.com*

Vladislav G. Blagoveshchensky

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: bvg1996@mail.ru*

One of the most important indicators of the quality of finished kefir is taste, which is currently determined by organoleptic methods in the laboratories of dairy enterprises. The article deals with the problems of organoleptic control of the taste of kefir. It is shown that such quality assessments are subjective and imperfect. Obtaining reliable results and increasing the objectivity of control of the taste of finished kefir is possible due to the introduction of highly effective intelligent technologies into the production process. The successful solution of this problem with minimal costs for preparing and conducting analyzes will be possible due to the introduction of an intelligent taster module (hardware and software complex) into the production process for quality control of kefir taste indicators, the algorithm of which is based on neural network technologies. To solve the problem of an objective assessment of the taste of finished kefir, a neural network structure was developed, such as a multilayer perceptron with one hidden layer, an analysis of existing automated control systems for technological processes at dairy enterprises was carried out, which showed that in most cases, currently implemented automated systems respond only to for the control of the technological line equipment, and there is no interaction with the production management level. This significantly affects the level of automation of the enterprise as a whole. The article emphasizes the importance of creating an intelligent system for automatically predicting the taste of kefir. It is emphasized that for the functioning of such a system, it is necessary to develop an appropriate forecasting model that makes it possible to increase the forecast accuracy and reduce the error to an acceptable minimum, thereby reducing the losses associated with uncertainty in decision-making. It is noted that recently there has been a tendency of increasing interest in the use of models of artificial neural networks for solving forecasting problems in various spheres of human activity. The tasks solved by them are presented. An intelligent system for dispatching kefir production has been developed with an intelligent taster module included in it to predict the taste of kefir.

Keywords: forecasting, intelligent module-taster, taste, kefir, neural network technologies, control systems

References

Apanasenko, S. I., Blagoveshchenskaya, M. M., & Blagoveshchenskii, I. G. (2012). O perspektivakh

sozdaniya sistemy avtomaticheskogo kontrolya vlazhnosti konditerskikh mass v potoke s ispol'zovaniem apparata iskusstvennykh neironnykh setei [On the prospects for creating a system for auto-

- matic control of the moisture content of confectionery masses in a stream using the apparatus of artificial neural networks]. In *Planirovaniye i obespecheniye podgotovki i perepodgotovki kadrov dlya otraslei pishchevoi pro-myshlennosti i meditsiny: Materialy pervoi mezhdunarodnoi nauchno- prakticheskoj konferentsii – vystavki* [Planning and providing training and retraining of personnel for the food industry and medicine: Proceedings of the first international scientific and practical conference - exhibition] (pp. 212-214). Moscow: MGUPP.
- Artamonov A.V. (2012). *Development of an information-measuring system for monitoring the dynamics of wheat dough kneading* [Razrabotka informatsionno- izmeritel'noy sistemy dlya monitoringa dinamiki zamesa pshenichnogo testa] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Balykhin, M. G., Blagoveshchenskii, I. G., Blagoveshchenskii, V. G., & Krylova, L. A. (2019a). Razrabotka neirosetevoi modeli dlya upravleniya protsessom dozirovaniya sypuchikh mass [Development of a neural network model for controlling the process of bulk mass dosing]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii* [Intelligent Systems and Technologies in the Food Industry: Collection of Conference Proceedings] (pp. 6-20). Moscow: MGUPP.
- Balykhin, M. G., Blagoveshchenskii, I. G., Nazoikin, E. A., & Blagoveshchenskii, V. G. (2019b). Adaptivnaya sistema upravleniya s identifikatorom nestatsionarnymi tekhnologicheskimi protsessami v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti [Adaptive control system with an identifier for non-stationary technological processes in the food industry]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii* [Intelligent Systems and Technologies in the Food Industry: Collection of Conference Proceedings] (pp. 32-39). Moscow: MGUPP.
- Balykhin, M. G., Borzov, A. B., & Blagoveshchenskii, I. G. (2017a). Arkhitektura i osnovnaya kontseptsiya sozdaniya intellektual'noi ekspertnoi sistemy kontrolya kachestva pishchevoi produkt-sii [Architecture and basic concept of creating an intelligent expert system for food quality control]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 11, 60-63.
- Balykhin, M. G., Borzov, A. B., & Blagoveshchenskii, I. G. (2017b). Metodologicheskie osnovy sozdaniya ekspertnykh sistem kontrolya i prognozirovaniya kachestva pishchevoi produkt-sii s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologii [Methodological foundations for the creation of expert systems for monitoring and predicting the quality of food products using intelligent technologies]. Moscow: Frantera.
- Blagoveshchenskaya, M. M. (2009). *Osnovy stabilizatsii protsessa prigotovleniya mnogokomponentnykh mass* [Fundamentals of stabilization of the process of preparing multicomponent masses]. Moscow: Frantera.
- Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskii, I. G., & Nazoikin, E. A. (2015). Metodika avtomaticheskoi otsenki kachestva pishchevykh izdelii na osnove teorii iskusstvennykh neuronnykh setei [Methodology for automatic assessment of the quality of food products based on the theory of artificial neural networks]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 7, 42-49.
- Blagoveshchenskaya, M. M., & Zlobin, L. A. (2005). *Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami* [Information technology of process control systems]. Moscow: Vysshaya shkola.
- Blagoveshchensky V.G. (2021). *Intelligent automated halva quality management system using hybrid methods and technologies* [Intellektual'naya avtomatizirovannaya sistema upravleniya kachestvom khalvy s ispol'zovaniem gibridnykh metodov i tekhnologii] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Blagoveshchenskaya, M. M., & Santon Kunnikhan, M. P. (2017). Struktura sistem upravleniya dozirovaniya s ispol'zovaniem neuronnykh setei [Structure of dosing control systems using neural networks]. In *Den' nauki: Obshcheuniversitetskaya studentskaya konferentsiya studentov i molodykh uchenykh* [Science Day: All-University Student Conference of Students and Young Scientists] (vol. 5, pp. 263-267). Moscow: MGUPP.
- Blagoveshchensky V.G. (2021). *Intelligent automated halva quality management system using hybrid methods and technologies*. [Intellektual'naya avtomatizirovannaya sistema upravleniya kachestvom khalvy s ispol'zovaniem gibridnykh metodov i tekhnologii] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Blagoveshchenskii, V. G., & Blagoveshchenskaya, M. M. (2017). Razrabotka ekspertnoi sistemy kontrolya kachestva v protsesse prigotovleniya khalvy [Development of an expert quality control system in the process of preparing halva]. In *Zhivye sistemy i biologi-cheskaya bezopasnost' naseleniya: Sbornik materialov XV mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh* [Living systems and biological safety of the population: Proceedings of the 15th international scientific conference of students and young scientists] (pp. 132-137). Moscow: MGUPP.

- Blagoveshchenskii, V. G., Novitskii, V. O., Krylova, L. A., & Nikitushkina, M. Yu. (2019). Postanovka zadachi sozdaniya intellektual'noi avtomatizirovannoi sistemy upravleniya protsessom proizvodstva khalvy [Statement of the problem of creating an intelligent automated control system for the production of halva]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii* [Intelligent Systems and Technologies in the Food Industry: Collection of Conference Proceedings] (pp. 21-31). Moscow: MGUPP.
- Blagoveshchenskii, I. G. (2015). *Avtomatizirovannaya ekspertnaya sistema kontrolya v po-toke pokazatelei kachestva pomadnykh konfet s ispol'zovaniem neirosetevykh tekhnologii i sistem komp'yuternogo zreniya* [Automated expert control system in the flow of fondant candy quality indicators using neural network technologies and computer vision systems] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Blagoveshchenskii, I. G. (2018). *Metodologicheskie osnovy sozdaniya ekspertnykh sistem kontrolya i prognozirovaniya kachestva pishchevoi produktsii s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologii* [Methodological foundations for creating expert systems for monitoring and predicting the quality of food products using intelligent technologies] [Doctoral Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Blagoveshchenskii, I. G. (2017). Otsenka diapazonov izmeneniya vkhodnykh parametrov dlya polucheniya zhelaemogo kachestva pishchevoi produktsii [Evaluation of the ranges of input parameters to obtain the desired quality of food products]. In *Zhivye sistemy i biologicheskaya bezopasnost' naseleniya: Sbornik materialov XV mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh* [Living Systems and Biological Safety of the Population: Proceedings of the 15th International Scientific Conference of Students and Young Scientists] (pp. 116-121). Moscow: MGUPP.
- Blagoveshchenskii, I. G., Blagoveshchenskaya, M. M., Nosenko, A. S., & Nosenko, S. M. (2016). Metodika postroeniya avtomatizirovannykh ekspertnykh sistem kontrolya i prognozirovaniya organolepticheskikh pokazatelei kachestva konfet v potoke [Methodology for constructing automated expert systems for monitoring and predicting organoleptic indicators of the quality of sweets in a stream]. *Konditerskoe proizvodstvo* [Confectionery], 5, 24-27.
- Blagoveshchenskii, I. G., Blagoveshchenskii, V. G., Nazoikin, E. A., & Petryakov, A. N. (2020). Intellektual'nyi analiz dannykh dlya sistem podderzhki prinyatiya reshenii dia-gnostiki protsessov proizvodstva pishchevoi produktsii [Data Mining for Decision Support Systems for Diagnostics of Food Production Processes]. In *Tsifrovizatsiya agropro-myshlennogo kompleksa: Sbornik nauchnykh statei* [Digitalization of the agro-industrial complex: Collection of scientific articles] (vol. 1, pp. 105-110). Tambov: TGTU.
- Blagoveshchenskii, I. G., & Nosenko, S. M. (2015). Ekspertnaya intellektual'naya sistema monitoringa protsessa formovaniya pomadnykh konfet s ispol'zovaniem sistemy tekhnicheskogo zreniya [Expert intelligent system for monitoring the molding process of fondant candies using a vision system]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 6, 53-58.
- Bychkov, I. A., Blagoveshchenskaya, M. M., Nosenko, A. S., & Blagoveshchenskii, I. G. (2015). Metod obobshchennykh interval'nykh otsenok dlya podderzhki gruppovykh ekspertnykh reshenii v usloviyakh neopredelennosti [The Method of Generalized Interval Estimations for Supporting Group Expert Decisions under Uncertainty]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], 4, 63-65.
- Garev K.V.I., Karelina E.B.I., Blagoveshchenskaya M.M., Klekho D.Yu., & Blagoveshchensky I.G. (2019). Automation of the technological process of waffle production and the possibility of using a digital twin as an innovative tool [Avtomatizatsiya tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva vafel' i vozmozh-nost' ispol'zovaniya tsifrovogo dvoynika v kachestve innovatsionnogo instrumenta]. In *the collection: Intelligent systems and technologies in the food industry. Collection of conference materials* [V sbornike: Intellektual'nyye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoy promyshlennosti. Sbornik materialov konferentsii]. S. 40-46.
- Ivanov Ya.V. (2014). *Mathematical and algorithmic support for automating the process of forming confectionery masses using digital video recording* [Matematicheskoye i algoritmicheskoye obespecheniye avtomatizatsii protsessa formovaniya konditerskikh mass s ispol'zovaniyem tsifrovoy videoes"yemki] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Ivanov, Yu. V., Blagoveshchenskaya, M. M., & Blagoveshchenskii, I. G. (2012). Avtomatizatsiya protsessa formovaniya karamel'nykh mass na osnove matematicheskogo i algoritmi-cheskogo obespecheniya s ispol'zovaniem tsifrovoy videokamery v kachestve intellektual'nogo datchika [Automation of the caramel mass molding process based on mathematical and algorithmic support using a digital video camera as an intelligent sensor]. In *Planirovanie i obespechenie pod-*

- gotovki i perepodgotovki kadrov dlya pishchevoi promyshlennosti i meditsiny: Materialy pervoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii-vystavki [Planning and provision of training and retraining of personnel for the food industry and medicine: Proceedings of the first international scientific and practical conference-exhibition] (pp. 215-218). Moscow: MGUPP.
- Karelina E.B. (2018). *Development of an intelligent complex for adaptive control of microclimate parameters of flour storage processes*. [Razrabotka intellektual'nogo kompleksa dlya adaptivnogo upravleniya parametrami mikroklimate protsessov khraneniya muki] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Karelina, E. B., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskii, V. G., Klekho, D. Yu., & Blagoveshchenskii, I. G. (2019). Integratsiya adaptivnogo upravleniya v tekhnologicheskie protsessy pishchevoi otrasli [Integration of adaptive control into the technological processes of the food industry]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Intelligent systems and technologies in the food industry: Proceedings of a scientific and practical conference with international participation] (pp. 81-89). Moscow: MGUPP.
- Krylova, L. A., Blagoveshchenskii, V. G., & Tatarinov, A. V. (2017). Razrabotka intellektual'nykh apparatno-programmnykh kompleksov monitoringa protsessov separirovaniya dispersnykh pishchevykh mass na osnove intellektual'nykh tekhnologii [Development of intelligent hardware and software systems for monitoring the separation of dispersed food masses based on intelligent technologies]. In *Razvitiye pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti Rossii: Kadry i nauka* [Development of the food and processing industry in Russia: Personnel and science] (pp. 199-201). Moscow: MGUPP.
- Nazoikin, E. A., & Blagoveshchenskii, I. G. (2019). Primenenie metodov imitatsionnogo modelirovaniya dlya identifikatsii protsessov testoprigotovitel'nogo otdeleniya na khlebopekarnom predpriyatii [The use of simulation methods to identify the processes of the dough preparation department at a bakery]. In *Imitatsionnoe modelirovanie i ego primeneniye v nauke i promyshlennosti: Sbornik trudov devyatoi vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Simulation modeling and its application in science and industry: Proceedings of the ninth all-Russian scientific and practical conference] (pp. 468-472). Moscow: MGUPP.
- Nazoikin, E. A., Blagoveshchenskii, I. G., Sincha, V. M., Zhironov, M. V., & Mitin, V. V. (2019). Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya identifikatsii sostoya-niya predpriyatii v pishchevoi promyshlennosti [Using simulation modeling to identify the state of enterprises in the food industry]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii* [Intelligent Systems and Technologies in the Food Industry: Collection of Conference Proceedings] (pp. 147-155). Moscow: MGUPP.
- Petryakov, A. N., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskii, V. G., & Krylova, L. A. (2018). Primenenie metodov ob'ektno-orientirovannogo programmirovaniya dlya kontrolya pokazatelei kachestva konditerskoi produktsii [Application of object-oriented programming methods for quality control of confectionery products]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and Bakery Production], 5-6, 21-23.
- Petryakov, A. N., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskii, V. G., Mitin, V. V., & Blagoveshchenskii, I. G. (2019). Povyshenie kachestva identifikatsii i pozitsionirovaniya ob'ekta na tsifrovyykh stereo izobrazheniyakh pri pomoshchi algoritmov postroeniya karty glubiny [Improving the Quality of Object Identification and Positioning on Digital Stereo Images Using Depth Mapping Algorithms]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii* [Intelligent Systems and Technologies in the Food Industry: Collection of Conference Proceedings] (pp. 133-138). Moscow: MGUPP.
- Rodenkov, E. V. (2005). *Mathematical and algorithmic support for the task of automating the process of disinfection of PET bottles using ozone* [Matematicheskoye i algoritmicheskoye obespecheniye zadachi avtomatizatsii protsessa dezinfektsii PET-butylkov s pomoshch'yu ozona] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Savostin S.D. (2014). *Automation of the control of flour quality indicators in the grinding process using intelligent technologies* [Avtomatizatsiya kontrolya pokazateley kachestva muki v protsesse razmola s ispol'zovaniyem intellektual'nykh tekhnologiy] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Savostin, S. D., Blagoveshchenskaya, M. M., & Blagoveshchenskii, I. G. (2016). Avtomatizatsiya kontrolya pokazatelei kachestva muki v protsesse razmola s ispol'zovaniyem intellektual'nykh tekhnologii [Automation of the control of flour quality indicators in the grinding process using intelligent technologies]. Moscow: Frantera.
- Santos, M. R., & Blagoveshchenskaya, M. M. (2017). Ispol'zovanie neironnoi seti dlya avtomatizatsii protsessu upravleniya ob'emnym dozirovaniem

- molotogo kofe [Using a neural network to automate the process of controlling the volumetric dosing of ground coffee]. In *Razvitie pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti Rossii: Kadry i nauka: Nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem* [Development of the food and processing industry in Russia: Personnel and science: Scientific conference with international participation] (pp. 102-106). Moscow: MGUPP.
- Karelina E.B. (2018). *Development of an intelligent complex for adaptive control of microclimate parameters of flour storage processes*. [Razrabotka intellektual'nogo kompleksa dlya adaptivnogo upravleniya parametrami mikroklimate protsessov khraneniya muki] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Kharitonova, P. N., Karelina, E. B., Blagoveshchenskii, V. G., Klekho, D. Yu., & Blagoveshchen-skii, I. G. (2019). Vnedrenie tsifrovogo dvoynika upravleniya v tekhnologicheskoe proizvodstvo [Implementation of the digital twin of control in technological production]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi pro-myshlennosti: Sbornik materialov konferentsii* [Intelligent Systems and Technologies in the Food Industry: Collection of Conference Proceedings] (pp. 171-180). Moscow: MGUPP.
- Balykhin, M., Blagoveschenskaya, M., Blagoveschenskii, I., & Petryakov, A. (2018). Designing a course in system modeling for “system analysis and management” and “information systems” majors. In *5th international multidisciplinary scientific conference on social sciences and arts sgem 2018: Conference proceedings* (pp. 167-174). Moscow: Moscow State University of Food Production. <https://doi.org/10.5593/sgemsocial2018/3.5/S13.021>
- Blagoveshchenskiy, I. G., Blagoveshchenskiy, V. G., Besfamilnaya, E. M., & Sumerin, V. A. (2020). Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators. In *Journal of Physics: Conference Series* (Article 012019). Moscow: Moscow State University of Food Production. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1705/1/012019>
- Legin, A., Rudnitskaya, A., Vlasov, Yu., di Natale, C., & d'Amico, A. (1999). *Sensors and actuators*. West Publishing Company.
- Ramirez, M. T. M., Garelli, F., Dominguez, A., & Angulo, M. (2009). Simulacion de un algoritmo para controlar el nivel en tolva nate la alimentacion discontinua de caña. *Revista iberoamericana de automatica e informatica industrial*, 6(3), 54-60. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(09\)70264-X](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(09)70264-X)
- Wilson, C. I., & Threapleton, L. (2003). *Application of artificial intelligence for predicting beer flavours from chemical analysis*. Coors Brewers, Technical Centre.