

На правах рукописи

Токарев

ТОКАРЕВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ
КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА**

Специальность 05.18.04 - Технология мясных, молочных и рыбных продуктов
и холодильных производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена на кафедре «Информационные технологии» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г.

Разумовского (Первый Казачий Университет)»
(ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К. Г. Разумовского (ПКУ)»)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Карпов Валерий Иванович

Официальные оппоненты: **Бобренева Ирина Владимировна**
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств», профессор кафедры «Технологии и биотехнологии продуктов питания животного происхождения»

Веретов Леонид Александрович
кандидат технических наук, главный специалист-эксперт отдела технического регулирования и стандартизации Департамента технического регулирования и аккредитации Евразийской экономической комиссии

Ведущая организация: ФГБНУ «Всероссийский научно - исследовательский институт мясной промышленности им. В.М. Горбатова»

Защита диссертации состоится «16» февраля 2017 г. в 11-00 ч на заседании диссертационного совета Д 307.004.03 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО») по адресу: 107140, г. Москва, ул. В. Красносельская, 17.

Факс: (499) 264-91-87, e-mail: fishing@vniro.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «ВНИРО» и на сайте <http://www.vniro.ru>.

Автореферат разослан «13» января 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Татарников Вячеслав Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Рацион человека содержит пищевые продукты, рецептурный состав которых очень сложен. Для их выпуска требуется современная организация и управление производством. При разработке новых рецептур большое значение имеет возможность моделирования потребительских характеристик готовых изделий, прогнозирование их функционально-технологических характеристик на стадии составления рецептурных смесей, что позволяет в конечном итоге повысить их качество.

Сырьевая база мясной промышленности насчитывает огромное количество ингредиентов, каждый из которых имеет свои особенности. Поэтому технологу предприятия достаточно трудно принимать объективные управленческие решения в режиме реального времени. Использование современных информационных технологий позволяет оперативно реагировать на изменение качественных характеристик сырьевых ингредиентов, а также потребительских предпочтений и создавать продукты с заранее заданным составом, функциональной направленностью и пищевой ценностью.

Оптимальные решения этих задач могут быть получены с помощью математических моделей, которые в аналитическом виде показывают множество функциональных связей между параметрами рецептурных ингредиентов, требуемыми характеристиками готовых продуктов и ограничений, соответствующие требованиям нормативной документации.

В результате, математическое моделирование и системы поддержки принятия решений становятся для технолога одним из важнейших инструментов решения задач по оптимизации комплекса свойств пищевого продукта (физико-химических, органолептических и др.) по заданным критериям и ограничениям на каждом технологическом этапе его разработки.

Мясная отрасль является ключевым элементом агропромышленного комплекса страны, т.к. обеспечивает население продуктами, содержащими полноценные белки животного происхождения. Одно из перспективных направлений в мясной

промышленности – создание новых продуктов, имеющих конкурентные преимущества. Вхождение России в мировое экономическое пространство повлекло за собой повышение вероятных рисков, угрожающих динамическому развитию мясной отрасли со стороны мирового рынка продовольствия. В связи с этим, необходимость внедрения новых технологий, в т.ч. информационных, становится очевидной.

Степень разработанности темы. Исследования различных авторов (Муратова Е.М., Рогов И.А., Дунченко Н.И. и др.) показывают, что в настоящее время, несмотря на различные международные предложения, потребители предпочитают мясную продукцию высокого качества с натуральным вкусом и текстурой. Однако, процесс совершенствования существующих или создание принципиально новых рецептур и технологий мясных продуктов, по-прежнему, традиционен и основан на априорном или экспериментальном выборе и количественном соотношении компонентов в составе рецептуры мясного продукта. Способ субъективен, требует наличия высокой квалификации технолога предприятия. При этом, одной из основных целей создания нового продукта, по-прежнему остается сырьевая себестоимость, химический состав и энергетическая ценность, а такие базовые показатели качества, как структурно-механические, биологическая ценность, усвояемость не регламентируются.

Вопросами использования информационных технологий и методов системного анализа в процессе управления технологическим процессом производства мясных продуктов занимались в 70 – 80 годы прошлого столетия многие выдающиеся советские учёные. В области системно-информационного обеспечения отдельных технологических операций или групп операций известны работы Татулова Ю.В., Лисицына А.Б., Ивашова В.И., Большакова О.В. и др.

Для оптимизации отдельных технологических операций широко используется методология моделирования, как инструмент изучения поведения объекта с помощью его математического описания. В этом направлении известны работы Мизерецкого Н.Н., Ивашкина Ю.А., Косога В.Д., Горбатова В.М. и др.

В связи с отсутствием финансирования научных проектов в 90-е годы прошлого столетия и в нулевые годы XXI века работы в этом направлении были

практически свёрнуты, хотя актуальность этого направления не исчезла, особенно, учитывая информационную неопределённость сырья и ингредиентов, отсутствием надежных и недорогих экспресс-анализаторов для определения качественных показателей сырья, полуфабрикатов (фарша) и готовых продуктов, снижение квалификационного уровня сотрудников мясоперерабатывающих производств, ухудшение экологической обстановки, повышение антропологической нагрузки на среду обитания, демографический спад и другие негативные факторы.

Имеются отдельные работы, посвященные вопросам нечеткого моделирования технологий мясной промышленности в условиях неопределенности (Митин В.В., Протопопов И.И., Рогов И.А., Красуля О.Н., Краснов А.Е.).

Анализ зарубежного опыта свидетельствует о масштабных исследованиях, проводимых в области совершенствования моделей и методов моделирования технологическими процессами в колбасном производстве (A. Diplock, A. Wollen, S. Barbut, G.S. Mittal, W. Osborne) в условиях наличия сырья и ингредиентов заданного качества. В связи с этим, разработка моделей и методов управления производством мясopодуKтов заданного качества, в условиях информационной неопределенности, является актуальной задачей.

Цель работы – оптимизировать методологию управления технологией колбасных изделий заданного качества в условиях нестабильности характеристик сырья и ингредиентов с использованием информационных технологий.

Достижение поставленной цели связано с решением следующих задач.

Задачи исследования.

1. Разработать структурно-функциональную модель технологии колбасных изделий заданного качества и провести анализ факторов, обуславливающих неопределенность существующих технологий.
2. Разработать математическую модель оптимизации оперативной рецептуры мясopодуKта заданного качества на этапе составления фарша (на примере вареных колбасных изделий).
3. Разработать структурно-функциональную модель управления процессом реализации в производственных условиях оптимальной оперативной

рецептуры мясопродукта с участием экспертной системы, разработать информационно-логическую модель экспертной системы, разработать математическую модель для определения оптимального набора управляющих воздействий при наличии технологических дефектов сырья и предложить алгоритм ее решения.

4. Разработать информационно-управляющую систему технологией колбасных изделий заданного качества и проверить ее на адекватность в условиях реального производства.

Научная новизна работы. Научная новизна работы заключается в следующем.

Впервые:

1. Обоснована методология технологической системы производства колбасных изделий заданного качества, основанная на включении в традиционную технологию моделей оптимизации управляющих воздействий на этапе составления рецептуры колбасного фарша и формирования производственного задания в условиях нестабильности качества исходного сырья и ингредиентов.
2. Разработана математическая модель оптимизации оперативной рецептуры колбасного изделия с применением методов линейного программирования, которая учитывает коэффициент водоудержания. В отличие от известных моделей, использование этого параметра позволяет спрогнозировать возможность образования технологического дефекта на стадии моделирования и предложить меры по его устранению.
3. Предложена модель оптимизации набора управляющих воздействий на этапе приготовления фарша колбасных изделий при наличии технологических особенностей сырья и алгоритм ее решения.
4. Разработаны структурно-функциональные модели, алгоритмы и программы реализации моделей оптимизации управляющих воздействий в технологическом процессе производства вареных колбасных изделий в информационном пространстве управляющей и экспертной систем.

Практическая значимость работы

1. Результаты диссертационного исследования использованы в учебном пособии «Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика», рекомендованное Учебно-методическим объединением по образованию в области технологии продуктов питания и пищевой инженерии для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров 260100 «Продукты питания из растительного сырья», 260200 «Продукты питания животного происхождения» и 260500 «Высокотехнологичные производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения».
2. Разработаны автоматизированная экспертная система и АРМ технолога – «МультиМит Эксперт» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616949 от 29.07.2013 г.). Система внедрена на мясоперерабатывающих предприятиях России и Республики Казахстан (ЗАО «Мясная галерея», ООО «Кузбасмясопром», ООО НПФ «Здоровое питание Ставрополя», ООО фирма «Торес», ООО «Альмак-мясопродукт», ТОО «АСТАНА АГРОПРОДУКТ», ТОО «Дедов», и др.), а также в учебном процессе ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» (справка о внедрении результатов диссертационного исследования приведены в Приложении 1 диссертации). Экономическая эффективность заключается в снижении издержек производства и составляет около 20 млн. руб./год (в ценах 2015 г.) для мясоперерабатывающего предприятия, производственной мощностью 4-5 тыс. тонн/год готовой продукции. Социальная значимость работы заключается в улучшении культуры производства, повышении степени объективности принимаемого управленческого решения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Структурно-функциональная модель технологической системы производства колбасных изделий. Теоретико-множественная модель

обобщенной задачи управления основными операциями колбасного производства и формирования производственного задания при нестабильности качественных характеристик используемого сырья.

2. Математическая модель оптимизации оперативной рецептуры колбасного изделия заданного качества на этапе составления фарша при нестабильности качества используемого сырья.
3. Математическая модель и алгоритм решения задачи определения оптимального набора управляющих воздействий при наличии технологических особенностей сырья при производстве колбасных изделий.
4. Методология создания информационно-управляющей системы технологии колбасных изделий заданного качества и результаты ее экспериментально-производственной проверки.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует пунктам 1,2,5 паспорта специальности 05.18.04 – «Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств» и задаче специальности: «анализ, систематизация и развитие теоретических и практических основ технологии пищевых производств (мясных, молочных, рыбных и холодильных), методов их моделирования, оптимизации процессов, обеспечивающих получение биологически безопасных пищевых продуктов с заданными качественными характеристиками».

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы были доложены и обсужданы на практическом семинаре «Пищевые добавки нового поколения», проведенном научно-производственной компанией «Коллекция вкусов» (г. Санкт-Петербург, 2011 г.), на Всероссийской научно-практической конференции «Школьное питание: инновационные технологии и современные формы организации» (г. Ульяновск, 2012 г.); на форуме 18-й международной выставке «АГРОПРОДМАШ-2013» (г. Москва, 2013 г.); на форуме 23-й Международной выставке продуктов питания «World Food» (г. Москва, 2014 г.); на научно-практических семинарах ООО «Сириус» (г. Воронеж, 2013-2015 гг); на

курсах повышения квалификации «Инновационные подходы и технологии для повышения эффективности пищевого производства в современных условиях» в МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ) (г. Москва, 2015 г.).

Публикации. Основное содержание работы изложено в 12 публикациях, из них 4 в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ. Среди публикаций - учебное пособие «Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика» (глава 5 написана лично автором), рекомендованное Учебно-методическим объединением по образованию в области технологии продуктов питания и пищевой инженерии для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров 260100 «Продукты питания из растительного сырья», 260200 «Продукты питания животного происхождения» и 260500 «Высокотехнологичные производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов по работе, списка использованных информационных источников в количестве 155 наименований и приложения. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В главе 1 проведен анализ технологии колбасного производства как объекта управления. Анализ результатов исследований современного мясного производства показал, что в современных условиях для повышения эффективности производства технологи вынуждены использовать в рецептуре различные ингредиенты, которые не гарантируют корректировку качества мясопродуктов из-за нестабильности качества сырья и ингредиентов. При этом, существует противоречие между возрастающими требованиями к качеству продукции мясного производства и методами расчета рецептур мясных продуктов, которые основаны, как правило, на опыте и интуиции технологов колбасного производства. Разрешение этого

противоречия возможно при использовании методов системного анализа и информационных технологий.

В главе 2 представлена схема проведения исследований (рис. 1), дана характеристика объектов и методов исследований. На этапе 2.1. рисунка 1 использовался метод структурно-системного анализа по стандарту IDEF0, для разработки формализованного описания технологии производства колбасных изделий заданного качества (этап 2.2) и постановки задачи управления качеством (этап 2.3) – метод постепенной формализации моделей; для разработки технологии решения этой задачи с учетом нестабильности качества исходного сырья (этап 2.4) – методы исследования и моделирования сложных систем управления. На этапе 3.1 для разработки базы знаний автоматизированной экспертной системы и алгоритма ее наполнения использовался метод информационно-логического моделирования по стандарту IDEF1X, для постановки и разработки алгоритма решения задачи определения оптимального набора управляющих воздействий при наличии технологических дефектов в рецептурах колбасных изделий (этап 3.2) – метод динамического программирования, усовершенствованный правилами отсева неперспективных вариантов. На этапе 4 для проектирования интегрированного информационного пространства, информационно-управляющей системы производства колбасных изделий заданного качества использовался метод информационно-логического моделирования по стандарту IDEF1X; для разработки структуры программного обеспечения, интерфейсов, базовых классов и программных модулей системы (этап 4.1) – методы объектно-ориентированного программирования, стандарт ISO 9241-12-1998, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-94.

Объектом настоящего исследования являлся набор взаимосвязанных операций технологического процесса производства вареных колбас и система их управления, а также мясное сырье, используемое при их производстве (говядина высшего, 1 и 2 сортов, свинина полужирная, мясо цыплят ручной обвалки - все образцы получены из фермерских хозяйств Воронежской области), комплексные и адаптивные пищевые добавки, выпускаемые ООО «Коллекция вкусов» и образцы вареных колбасных изделий – сосиски «Венские с сыром», которые вырабатывались согласно ТУ 9213-010-40155161-2002 и колбаса «Докторская» - согласно ГОСТ Р 52196-2011.

Экспериментально-производственные исследования системы (этап 4.2) проведены при передаче системы в промышленную эксплуатацию на 10 предприятиях мясной промышленности.

Для оценки качества мяса и мясных продуктов использовали следующие методы: содержание влаги – по ГОСТ Р 51479-99 (ИСО 1442-97), жира – по ГОСТ 23042-86, белка – по ГОСТ 25011-81, поваренной соли – по ГОСТ 9957, определение остаточного содержания нитрита натрия – по ГОСТ 29299-92, величину pH измеряли с помощью портативного pH-метра непосредственно в мышечной ткани по ГОСТ Р 51478-99 (ИСО 2917-74), влагосвязывающую способность определяли методом прессования навески образца по методике Грау-Хамма в модификации Воловинской-Кельман, показатель предельного напряжения сдвига фарша – с использованием пенетрометра ППМ-4, коэффициент водоудержания фарша – по формуле (7), предложенной автором диссертационного исследования. Сенсорную оценку продукции проводила квалифицированная дегустационная комиссия в составе 7 человек. Обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики. Повторность анализов при выполнении экспериментальных исследований 3-х кратная, количество параллельных определений – 3-х кратное.

В главе 3 приведены результаты диссертационного исследования. **В разделе 3.1** в соответствии с методологией IDEF0 разработана структурно-функциональная модель технологии вареных колбасных изделий. На рисунке 2 показан фрагмент этой модели после первого этапа декомпозиции верхнего уровня технологической системы «Изготовить вареные колбасные изделия». Выделены основные операции управления: разработка оперативной рецептуры и производственного задания, реализующие фазу оперативного планирования.

Одним из важнейших блоков системы управления, определяющих заданное качество мясопродуктов, является блок «Подготовка сырья и ингредиентов для получения полуфабриката(фарша)» (рисунок 2, блок 2).

Выполнен анализ качества используемого мясного сырья при производстве вареных колбасных изделий. Информация, приведенная в таблице 1, свидетельствует, что базовые показатели химического состава сырья (полученного

из хозяйств Воронежской области) имеют нестабильные характеристики, о чем свидетельствует большой разброс значений измеренных показателей.

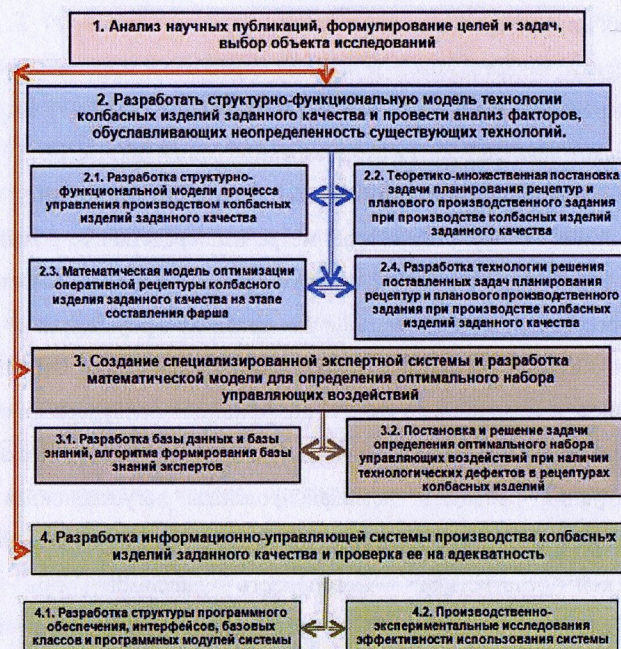


Рисунок 1. Структурная схема диссертационного исследования

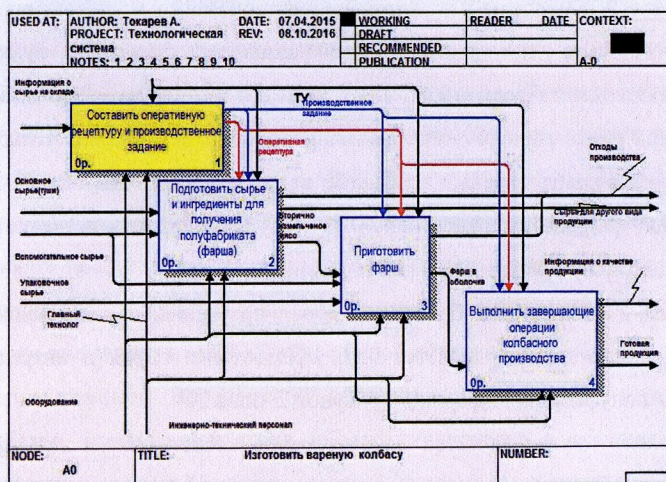


Рисунок 2. Декомпозиция верхнего уровня технологической системы «Изготовить вареные колбасные изделия»

Таблица 1. Показатели качества образцов мясного сырья

Сырье и показатели его хим. состава	Средне-квадратичное отклонение, σ	Коэффициент вариации, $\sigma/\langle s \rangle$, %	Значение показателя, %		
			мин.	сред.	макс.
Говядина высшего сорта					
влага	6,94	9,25	67,5	75	79,5
жир	3,6	75,31	0,21	4,78	5,4
белок	2,05	10,73	15	19,1	25
Говядина первого сорта					
влага	3,4	4,85	63,1	70,1	74
жир	3,7	51,39	1,5	7,2	16,8
белок	2,15	11,78	13	18,25	25,4
Говядина второго сорта					
влага	3,25	4,64	62,3	70	77,5
жир	4,1	35,65	2,6	11,5	19,1
белок	2,61	15,26	11,5	17,1	25
Свинина полужирная					
влага	8,05	13,53	53,7	59,5	69,41
жир	8,51	27,72	12,4	30,7	52,3
белок	2,9	20,30	7,5	14,28	24,2
Мясо цыплят бройлеров					
влага	5,5	8,55	57	64,3	70
жир	7,1	42,51	2	16,7	30
белок	2,96	13,96	13	21,2	28

Как следует из рисунка 3, наблюдается значительная дифференциация сырья по показателю активной кислотности (рН). В настоящее время, по данным информационных источников, по регионам России количество говядины с пороком автолиза DFD составляет от 28 до 35%, свинины и мяса птицы с пороком автолиза PSE и RSE - 40-45%.

Мясное сырье с аномальными признаками автолиза (DFD, PSE, RSE) имеет особенности, касающиеся консистенции, вкуса, запаха и цвета, что существенно затрудняет его использование при производстве мясных продуктов заданного качества.

Кроме того, в целях снижения стоимости готового продукта, на мясоперерабатывающих предприятиях в период экономического кризиса значительно возросла доля используемого жиросодержащего сырья (тримминг, мясо птицы механической обвалки), а также сырья длительного хранения в замороженном состоянии (особенно, импортной говядины).

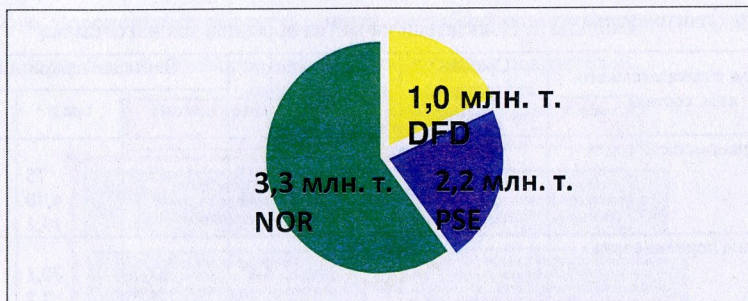


Рисунок 3. Распределение мясного сырья на российском рынке в зависимости от показателя активной кислотности (pH)

Для корректировки вышеназванных факторов неопределенности, касающихся качества мясного сырья, при производстве мясопродуктов, в качестве управляющих воздействий, в отечественной практике широко используются комплексные пищевые добавки, которые значительно упрощают процесс составления фарша. Как правило, они состоят из двух составляющих – функциональной и вкусоароматической и разработаны под конкретную рецептуру мясопродукта с четко заданными функциональными характеристиками и химическим составом используемых ингредиентов. При отсутствии мясного сырья с заданным качеством, процесс управления с их помощью становится неэффективным.

В разделе 3.2 приведено описание разработанной математической модели оптимизации оперативной рецептуры мясопродукта заданного качества на этапе составления фарша (на примере вареных колбасных изделий).

Пусть дано множество ингредиентов, представленных кортежами Y :

$$Y(i) = \langle y(i,k) \rangle \quad i=1,N, \quad k=1,K$$

где $y(i,1)$ – минимально допустимая доля i -го ингредиента в фарше,

$y(i,2)$ – максимально допустимая доля i -го ингредиента в фарше,

$y(i,3), y(i,4), \dots, y(i,10)$ – содержание в i -ом ингредиенте влаги (K_v), белка (K_b), жира (K_j), нитрита натрия (K_{nit}), поваренной соли (K_{sol}), pH (K_{ph}), коэффициент водоудержания (K_{gid}), предельное напряжение сдвига (ПНС) фарша (K_{pns}), соответственно.

$y(i,11)$ – цена 1 кг i -го ингредиента, руб.

С учетом потерь при термообработке:

- $K_{vk} = K_v / (1,00 - K_{tp})$, //массовая доля влаги после термообработки,
- $K_{bk} = K_b * (1,00 - K_{tp})$, // массовая доля белка после термообработки,
- $K_{jk} = K_j * (1,00 - K_{tp})$, // массовая доля жира после термообработки,
- $K_{nitk} = K_{nit} / (1,00 - K_{tp})$, //массовая доля нитрита натрия после термообработки,
- $K_{solk} = K_{sol} * (1,00 - K_{tp})$, // массовая доля поваренной соли после термообработки.

При перечисленных исходных данных требуется определить вектор $x = \langle x(i) \rangle$,

$i=1,N$

где $x(i)$ – относительная доля i -го ингредиента в фарше.

Допустимое решение является вектор x , удовлетворяющий ограничениям (1) –

(10):

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i,3) \leq K_{vk} \quad //ограничение по содержанию влаги (1)$$

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i,4) \geq K_{bk} \quad //ограничение по содержанию белка (2)$$

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i,5) \leq K_{jk} \quad //ограничение по содержанию жира (3)$$

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i,6) \leq K_{nitk} \quad //ограничение по содержанию остаточного количества нитрита натрия (4)$$

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i,7) \leq K_{solk} \quad //ограничение по содержанию поваренной соли (5)$$

$$\sum_{i=1}^N x(i) * 10^{-y(i,8)} \leq 10^{-K_{pH}} \quad //ограничение по показателю активной кислотности (pH) (6)$$

$$\sum_{i=1}^N x(i) * y(i,9) \geq K_{gid} \quad //ограничение по коэффициенту водоудержания (7)$$

$$K_{1pns} \leq \sum_{i=1}^N x(i) * y(i,10) \leq K_{2pns} \quad //ограничение по показателю предельного напряжения сдвига (8)$$

$$\sum_{i=1}^N x(i) = 1 \quad //сумма массовых долей ингредиентов рецептуры должна быть равна единице (9)$$

$$\forall i (y(i,1) \leq x(i) \leq y(i,2)) \quad //ограничения на использование ингредиентов (10)$$

Оптимальным решением поставленной задачи будем считать такой вектор x , который минимизирует линейную форму - критерий $Q(x)$:

$$Q(x) = \sum_{i=1}^N x(i) * y(i,1) \rightarrow \min \quad // \text{ критерий минимума стоимости (11)}$$

В отличие от известных моделей оптимизации рецептуры мясного продукта, впервые предложено учитывать показатель «коэффициент водоудержания». Учет этого показателя на стадии моделирования рецептуры позволяет технологу спрогнозировать возможность образования технологического дефекта (например, бульонно-жирового отека) и принять корректирующие меры для его устранения, в том числе, за счет использования набора функциональных пищевых добавок. Такой подход позволяет получить множество вариантов рецептов, оптимальных при различных комбинациях корректирующих ингредиентов.

В разделе 3.3 приведены формализованное описание системы управления технологией колбасных изделий заданного качества и алгоритм определения оптимального набора управляющих воздействий при наличии технологических особенностей сырья.

Существенным элементом разработанной системы управления является автоматизированная экспертная система, необходимость разработки которой обусловлена невозможностью, в настоящее время, создания математических моделей, позволяющих в производственных условиях, рассчитать все показатели качества готовой продукции в условиях нестабильности качества используемого сырья и ингредиентов. Структурно-функциональная модель системы управления приведена на рисунке 4.

Алгоритм управления качеством в режиме реального времени включает диагностику качества сырья и ингредиентов, расчет оптимальной рецептуры в автоматизированном режиме, выбор средств управления в виде функциональных пищевых добавок, учитывающих особенности мясного сырья, а затем – внесение вкусоароматических добавок.

База знаний экспертной системы (блок 2) представляет собой набор отдельных сущностей, которые отражают знания предметной области (производство колбасных

изделий) – «база данных» и накопленный производственный опыт технологов по устранению технологических дефектов в условиях нестабильности качества используемого сырья – «база знаний». Проведен анализ возможных вариантов построения экспертной системы, предложена концепция построения ее информационного пространства, сформулированы требования к ее функциям, предложен алгоритм функционирования экспертной системы.

Одна из важных задач экспертной системы – определение оптимального набора управляющих воздействий при наличии технологических особенностей в исходном сырье (например, пороки автолиза мясного сырья). Рассмотрим формальную постановку этой задачи. Пусть дано множество пищевых добавок Mpd , каждый элемент которого $Mpd(i)$ задан в виде кортежа (последовательности свойств):

$$Mpd(i) = \langle Mpd(i,k), Mpd(i,K+1) \rangle$$

$$\text{где } Mpd(i,k) = \begin{cases} 1, & \text{если добавка } Mpd(i) \text{ обладает } k\text{-тым функциональным свойством,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$k = 1, \dots, K$, где K – количество функциональных свойств,

$Mpd(i,K+1)$ – цена единицы массы добавки i .

Пусть задано также требуемый набор функциональных свойств в виде вектора

$$FS = \langle FS(l) \rangle, l=1, \dots, L, L \leq K$$

$$FS(l) = \begin{cases} 1, & \text{если требуется наличие функционального свойства } l, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Пусть Ppd – некоторое подмножество Mpd : $Ppd \subset Mpd$. Определим оператор Fp , формирующий вектор FSp :

$$FSp = Fp(Ppd) \quad (12)$$

$$FSp(l) = 0 \quad l=1, \dots, L$$

$$FSp(l) = FS(l) \vee Ppd(i,l) \quad l=1, \dots, L, i=1, \dots, |Ppd|$$

Таким образом, вектор FSp представляет собой весь набор функциональных свойств, соответствующих подмножеству Ppd .

Требуется определить такое подмножество Ppd , при котором:

$$Fp(Ppd) = FS \quad (13)$$

и критерий
$$Q = \sum_{i=1}^{I_{ppd1}} Ppd(i, K+1) - > \min \quad (14)$$

Для решения этой задачи разработан и реализован алгоритм, основанный на методологии динамического программирования.

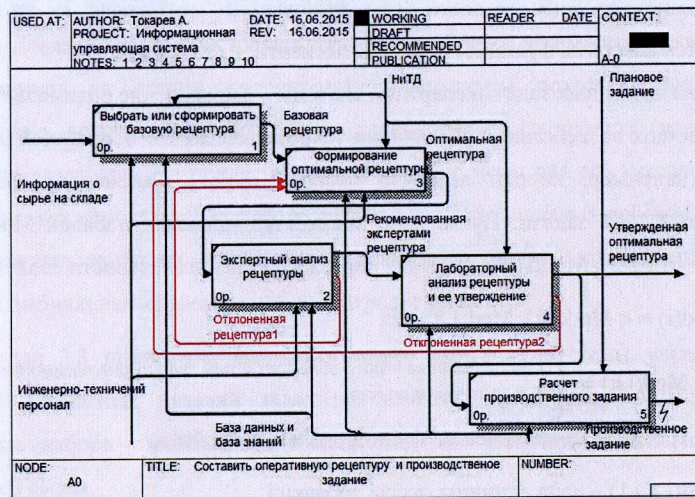


Рисунок 4. Структурно-функциональная модель системы управления технологией колбасных изделий заданного качества

В разделе 3.4 представлены результаты разработки информационно-управляющей системы производства колбасных изделий заданного качества. Для реализации поставленных в диссертации целей и задач была разработана информационно-управляющая система производства колбасных изделий заданного качества – программный комплекс (ПК) «МультиМит Эксперт», реализующий алгоритмы и модели, представленные выше. Он состоит из базового и пяти дополнительных программных модулей: «Убой скота», «Обвалка и жиловка мяса животных и птицы», «Оптимизация и моделирование рецептов», «Экспертная система анализа качества рецептов», «Производственное задание и учёт».

Структура программного комплекса «МультиМит Эксперт» состоит из следующих элементов: база данных, блок безопасности (функции формирования пользователей и управления их правами доступа к отдельным модулям и функциям программы), справочники (функции доступа к нормативно-справочной

документации), склад (функции для учета складских операций), рецептуры (функции для формирования и управления рецептурами продуктов), производственные задания (функции, позволяющие формировать и управлять производственными заданиями предприятия), журналы (функции, позволяющие формировать производственные журналы предприятия), сервис (функции настройки параметров программного комплекса), справка (доступ к справочной информации, описывающая функции и возможности программного комплекса).

Схема применения ПК «МультиМит Эксперт» в общей структуре передачи и обработки информации различных подразделений мясоперерабатывающего предприятия представлена на рисунке 5.

Для экспериментального подтверждения эффективности использования системы, была проведена производственная проверка программного комплекса (ПК) «МультиМит Эксперт» (на примере расчета оптимальной рецептуры продукта сосиски «Венские с сыром»). За базовую рецептуру была взята нормативная – сосиски «Венские с сыром», согласно ТУ 9213-010-40155161-2002. С помощью ПК «МультиМит Эксперт» технолог рассчитал (на базе нормативной рецептуры сосиски «Венские с сыром») оптимальную оперативную (скорректированную) рецептуру, с учетом частичной замены основного сырья и удовлетворения предъявляемых требований к качеству продукта. Состав базовой и скорректированной в программном комплексе рецептуры, а также сравнение их показателей качества приведены в таблицах 2, 3; результаты органолептической оценки – на профилограмме (рисунок 6). Применение ПК «МультиМит Эксперт» при производстве вышеназванных сосисок позволило улучшить качество готового к употреблению мясного продукта, а также увеличить коэффициент водоудержания, характеризующий влагоудерживающую способности фарша, что способствовало повышению выхода готового продукта на 4%. При этом рентабельность продукции увеличилась, в среднем, на 15%.

На рисунке 7 представлен фрагмент интерфейса ПК «МультиМит Эксперт» - окно расчета оптимальной оперативной рецептуры сосиски «Венские с сыром». В этом разделе рассмотрен также пример анализа рецептуры вареной колбасы

«Докторская» (базовая), в состав которой входит свинина с пороком PSE. С помощью экспертной системы технолог выявил ряд проблем: «Обнаружено сырье с пороком PSE», «Показатель pH сдвинут в кислую сторону», «Возможен избыток остаточного нитрита натрия», «Низкий коэффициент водоудержания фарша». По каждой обнаруженной проблеме система выявила негативное воздействие обнаруженных факторов на качество вареной колбасы, выдала рекомендации по их устранению и предложила оптимальный набор управляющих воздействий.

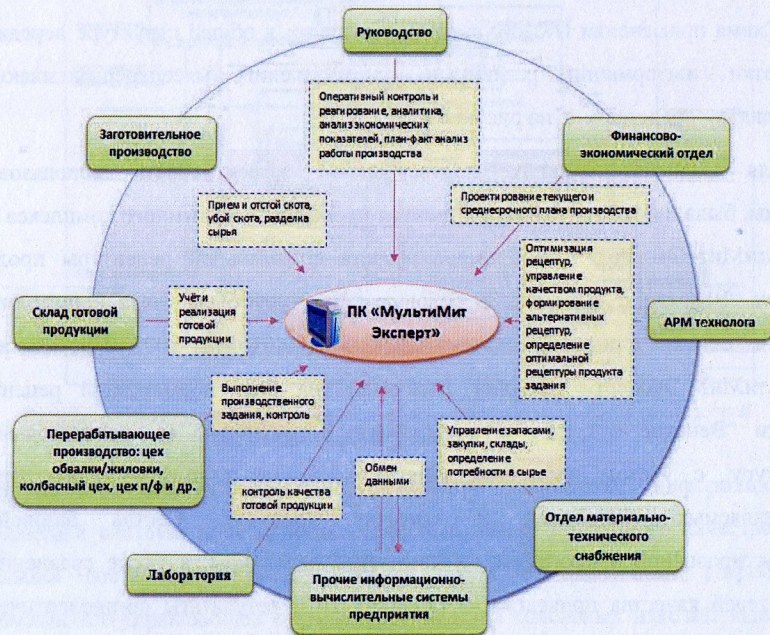


Рисунок 5. Схема применения ПК «МультиМит Эксперт»

Таблица 2 – Ингредиентный состав рецептуры продукта сосиски «Венские с сыром» ТУ 9213-010-40155161-2002

Ингредиенты	Цена руб/кг	Рецептура	
		Базовая	Скорректированная
Сырье несоленое (на 100 кг), кг			
Говядина 1 сорт	265,00	30,0	27,1
Говядина 2 сорт	220,00	14,0	12,5
Шпик боковой	93,00	20,0	17,8
Гидратированный соевый белок	40,00	10,0	9,3
Молоко сухое	90,00	2,0	2,15
Меланж	80,00	2,0	2,15

Мука пшеничная	25,00	2,0	2,04
Сыр	250,00	20,0	21,7
Филе куриное	130,00	–	3,5
Животный белок (ТИПРО БИФ)	380,00	–	1,76
Добавки и специи (на 100 кг несоленого сыря), кг			
Соль	5,00	1,8	1,89
Нитрит натрия	60,00	0,007	0,007
Компл. многофун. доб. арт. 42-144Z	350,00	0,5	0,57
Рис ферментированный	100,00	–	0,08
Лед (вода)	0	28,0	32,9
Стоимость 1 кг фарша, руб.		144,77	141,25

Таблица 3 – Сравнение показателей качества базовой и скорректированной рецептуры сосиски «Венские с сыром» ТУ 9213-010-40155161-2002

Показатели качества в готовом продукте	Рецептура сосиски «Венские с сыром» ТУ 9213-010-40155161-2002		
	Базовая	Скорректированная	Нормативные требования
Влага, %	60,08	61,28	Не более 70,0
Белок, %	13,06	14,00	Не менее 14,0
Жир, %	22,38	20,20	Не более 30,0
Соль, %	1,39	1,40	Не более 3,5
Нитрит натрия, мг	4,00	4,00	Не более 5,0
pH (фарша)	6,24	6,27	-
Кoeff. водоудержания (фарша)	2,20	10,00	-
Предельное напряжение сдвига (фарша), Па	1800	1856	-

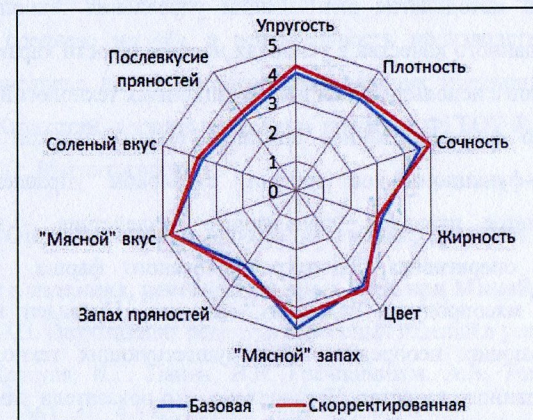


Рисунок 6. Органолептическая оценка базовой и скорректированной рецептуры сосиски «Венские с сыром»

The screenshot displays the 'MultiMitt Expert' software interface for recipe optimization. The main window shows a list of ingredients and their quantities, organized into columns for 'Before' and 'After' optimization. The ingredients include various types of sausage, cheese, and spices. The interface also shows a summary of the total ingredients and their costs.

Наименование	Кол-во, кг		На 100 кг		Нм., %	Мкс., %	Цена 1 кг., руб.	Стоимость, руб.	Вода (%)	Белок (%)	Жир (%)
	до	после	до	после							
Говядина 1 сорта	30,000	25,961	30,000	27,071	21,000	20,000	200,00	5,106,15	89,500	30,500	8,800
Говядина 2 сорта	14,000	12,023	14,000	12,491	39,744	9,228	9,000	2,645,90	66,000	18,000	14,000
Шпик свиной	20,000	17,149	20,000	17,824	15,248	13,180	12,900	1,994,06	6,800	3,700	89,900
Шпик свиной	3,388	3,388	3,388	3,319	3,388	2,600	2,700	130,00	440,44	24,000	3,100
Жир свиной (ТМРО сало)	1,694	1,694	1,694	1,760	1,694	1,300	1,400	390,00	643,72	8,000	92,000
Пектины	2,000	2,072	2,000	2,152	1,435	1,190	1,600	89,00	165,76	24,000	13,700
Мясное сушее	2,000	2,072	2,000	2,152	1,535	1,190	1,600	90,00	186,48	4,000	31,000
Сыр	20,000	20,949	20,000	21,637	15,248	16,000	14,000	16,000	290,00	5,212,25	43,900
Пух свиной	2,000	1,968	2,000	2,044	1,535	1,190	1,600	49,29	24,000	30,000	1,100
Газдированный свиной белок	10,000	8,991	10,000	9,339	7,674	6,900	8,000	40,00	399,64	84,800	11,700
Добавки и специи	0,007	0,007	0,007	0,005	0,005	0,005	0,007	60,00	0,42	0,000	0,000
Рас-ферментированный	0,000	0,008	0,000	0,008	0,000	0,006	0,020	150,00	0,80	0,000	0,000
Соль	1,800	1,811	1,800	1,881	1,391	1,390	1,200	1,490	6,00	9,000	0,000
Копчен. ингрифун. руб. арт. 43-144Z	0,000	0,867	0,000	0,868	0,394	0,400	0,350	6,600	359,00	19,145	0,000
Лед/Вода	28,000	31,665	28,000	32,892	21,488	24,300	100,000	0,00	0,00	100,000	0,000
Всего (ингредиенты 15)	130,367	130,367	130,367	135,357	100,000	100,000		18 405,74	61,661	13,860	20,012

Рисунок 7. Фрагмент ПК «МультиМит Эксперт». Оптимизация рецептуры сосиски «Венские с сыром» по ТУ 9213-010-40155161-2002.

Выводы по работе

1. Разработана методология оптимизации управления технологией колбасных изделий заданного качества в условиях нестабильности характеристик сырья и ингредиентов с использованием информационных технологий.
2. Разработано формализованное описание технологической системы в виде структурно-функциональной модели, с блоком управления, в котором вырабатывается плановое управляющее воздействие – производственное задание и оперативная рецептура колбасного фарша, обеспечивающая получение мясoproducta заданного качества. Проведен анализ факторов, обуславливающих неопределенность существующих технологий колбасных изделий заданного качества. Установлено, что показатели химического состава сырья и активной кислотности (рН) имеют нестабильные значения.
3. Разработана математическая модель оптимизации оперативной рецептуры колбасного изделия с применением методов линейного программирования,

которая учитывает коэффициент водоудержания. В отличие от известных моделей, использование этого параметра позволяет спрогнозировать возможность образования технологического дефекта на стадии моделирования и предложить корректирующие меры по его устранению.

4. Разработана структурно-функциональная модель управления процессом реализации в производственных условиях оптимальной оперативной рецептуры мясoproducta с участием экспертной системы и ее информационно-логической модели; предложена модель оптимизации набора управляющих воздействий при наличии технологических особенностей сырья и алгоритм ее решения.
5. Разработана информационно-управляющая система технологией колбасных изделий заданного качества, информационно-логическая модель программного комплекса «МультиМит Эксперт», структура комплекса, его интерфейс и программы реализации в условиях мясoproducta производящего производства. Проведено экспериментальное исследование эффективности разработанной автоматизированной экспертной системы ПК «МультиМит Эксперт» в условиях реального производства (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013616949 от 29.07.2013 г.). Результаты исследования показали, что использование этой системы обеспечивает повышение выхода готового продукта, в среднем, на 4%, а рентабельность производства – на 15%. Программа внедрена на 10 мясoproducta производящих предприятиях России и Республики Казахстан, а также в учебном процессе ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск).

Опубликованные работы по теме диссертации:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ

1. Красуля, О.Н. Оптимизация рецептур колбасных изделий в условиях реального времени / О.Н. Красуля, И.Г. Панин, В.В. Гречишников, А.В. Токарев // Мясная индустрия. – 2009. – №3. – С. 9-12.
2. Красуля, О.Н. Программный комплекс технолога мясoproducta производящего предприятия / О.Н. Красуля, И.Г. Панин, В.В. Гречишников, А.В. Токарев // Мясная индустрия. – 2010. – №8. – С. 66-68.

3. Токарев, А.В. Оптимизация управляющих воздействий в рецептурах колбасных изделий при наличии технологических дефектов / А.В. Токарев, О.Н. Красуля // Вестник ВГУИТ. – 2015. – № 4. – С. 66-71.

4. Токарев, А.В. Система управления производством колбасных изделий заданного качества / А.В. Токарев // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 1. – С. 63-69.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

5. Свидетельство № 2013616949 Российская Федерация. Программа для решения технологических и учетных задач на предприятиях мясной и рыбной промышленности «МультиМит Эксперт»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Токарев А.В., Красуля О.Н.

Учебное пособие

6. Красуля, О.Н. Моделирование рецептур и пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика: учебное пособие / О.Н. Красуля, С.В. Николаева, А.В. Токарев [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2015.- 320 с.

Статьи и материалы конференций

7. Красуля, О.Н. Антикризисные подходы к составлению рецептур мясных изделий / О.Н. Красуля, И.Г. Панин, В.В. Гречишников, А.В. Токарев // Мясной ряд. – 2009. – №3. – С. 16-18.

8. Красуля, О.Н. Современные методы получения оптимальных рецептур мясных изделий / О.Н. Красуля, И.Г. Панин, В.В. Гречишников, А.В. Токарев // Мясной бизнес. – 2010. – №6. – С. 74-76.

9. Красуля, О.Н. Как выбрать оптимальный состав рецептуры продукта? / О.Н. Красуля, А.В. Токарев // Мясной ряд. – 2011. – №1. – С. 46-49.

10. Токарев, А.В. Надежный помощник на мясокомбинате / А.В. Токарев, О.Н. Красуля // Мясной ряд. – 2013 – №3. – С. 18-22.

11. Красуля О.Н. Инновационные решения технологических и учетных задач / О.Н. Красуля, А.В. Токарев // Мясные технологии. – 2013. – №12. – С. 24-28.

12. Potoroko, I.I. Innovative solutions in management of process and accounting tasks at meat industry enterprises as a product quality factor / O.N. Krasulia, A.V. Tokarev // Economics & Management Research Journal of Eurasia. – 2014 – №1. – С. 58-65.

Подписано к печати:
29.12.2016

Формат: 60×84 ¹/₁₆
Объем: 1,5 п. л.

ФГБНУ «ВНИРО»
Копировально-множительное бюро
107140, г. Москва,
ул. В.Красносельская, 17

Заказ № 1187
Тираж: 100
