

УДК 664.8.047

UDC 664.8.047

DOI 10.30679/2219-5335-2023-6-84-209-235

DOI 10.30679/2219-5335-2023-6-84-209-235

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**USE OF DIGITAL
TECHNOLOGIES
IN THE FOOD AND
PROCESSING INDUSTRY**

Дрофичева Наталья Васильевна
канд. техн. наук
старший научный сотрудник
лаборатории хранения
и переработки плодов и ягод
e-mail: Droficheva.nata@icloud.com

Droficheva Natalia Vasilievna
Cand. Tech. Sci.
Senior Research Associate
Storage and Processing
of Fruits and Berries of Laboratory
e-mail: Droficheva.nata@icloud.com

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»,
Краснодар, Россия*

*Federal State Budgetary
Scientific Institution
«North Caucasian Federal
Scientific Center of Horticulture,
Viticulture, Wine-making»,
Krasnodar, Russia*

Важным условием развития пищевой промышленности является использование цифровых технологий в расчетах для сокращения затрат производства. Актуальность темы обусловлена важностью исследования предпосылок обеспечения цифрового развития предприятий пищевой промышленности для продовольственной безопасности государства. Проведен анализ передового опыта в цифровом развитии пищевой промышленности. Отмечены направления цифрового развития, основывающиеся на использовании технологий роботизации сортировки сырья, цифровых двойников, машинного зрения, искусственного интеллекта, анализа большого объема данных, визуальных систем машинной оценки качества готовой продукции и других. Внедрение и развитие автоматизированных программ в технологические процессы и моделирование рецептурных композиций в последние годы становится весьма актуально. Это связано со сложностью расчета из-за большого количества используемых видов основного и вспомогательного сырья, в связи с чем увеличивается объем вычислений

An important condition for the development of the food industry is the use of digital technologies in calculations to reduce the time and cost of production. The relevance of the topic is due to the importance of studying the prerequisites for ensuring the digital development of food industry enterprises for the food security of the state. An analysis of advanced foreign experience in the digital development of the food industry was carried out. The directions of digital development of the food industry based on the use of robotization technologies for sorting raw materials, digital twins, computer vision, artificial intelligence, analysis of a large volume of data, visual systems for machine assessment of the quality of finished products and others are noted. The introduction and development of automated programs in technological processes and modeling of recipe compositions has become very relevant in recent years. This is due to the complexity of the calculation due to the large number of main and auxiliary

и затраты производства. Для решения таких задач необходимо использование современных компьютерных технологий и цифровизация процессов.

Анализ литературных данных показал, что моделирование пищевых продуктов с использованием цифровых технологий осуществляется по выбранному направлению: витаминному и минеральному составу и энергетической ценности. Особое внимание уделяется проектированию пищевых продуктов и созданию оптимальных рецептур из растительного сырья, отвечающих заданным требованиям целевых групп потребителей. Наиболее популярные программные продукты для перерабатывающей промышленности в России носят специализированный характер, который позволяет автоматизировать и объединить разработку технологической и производственной документации на каждом этапе процесса в единую систему по управлению качеством и безопасностью пищевой продукции от входного качества сырья до реализации готовой продукции. Использование цифровых технологий в расчетах рецептур пищевых продуктов позволит решать задачи многокритериальной оптимизации. Сделан вывод, о необходимости формирования цифрового формата развития пищевой промышленности в обеспечении качества и безопасности продуктов питания.

Ключевые слова: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЦЕПТУР

raw materials used, which increases the volume of calculations and production costs. To solve such problems, it is necessary to use modern computer technologies and digitalize processes. The analysis of literature data has shown that the modeling of food products using digital technologies is carried out in the chosen direction: vitamin and mineral composition and energy value. Particular attention is paid to the design of food products and the creation of optimal formulations from plant raw materials that meet the specified requirements of target groups of consumers. The most popular software products for the processing industry in Russia are of a specialized nature, which allow automating and combining the development of technological and production documentation at each stage of the process into a single system for managing the quality and safety of food products from the input quality of raw materials to the sale of finished products. The use of digital technologies in the calculation of food formulations will allow solving the problems of multi-corrective optimization. It is concluded that it is necessary to form a digital format for the development of the food industry in ensuring the quality and safety of food products.

Key words: DIGITAL TECHNOLOGIES, FOOD INDUSTRY, PROGRAMS FOR CALCULATING AND OPTIMIZING RECIPES

Введение. За последние 10 лет ученые уделяют особое внимание такому направлению развития пищевой промышленности, как автоматизация и цифровизация процессов создания пищевых продуктов. Формированием модифицированного процессно-ориентированного подхода к управлению ценностной цепочкой создания стоимости продукта, учитывающего необходимость осуществления управленческого воздействия на всю совокуп-

ность звеньев цепи, занимались такие ученые как Т.В. Андреева, А.В. Курлыкова и др. [1-3]. Особенности внедрения приоритетных цифровых технологий в развитие пищевой промышленности широко освещали в своих работах В.А. Дресвянникова, Е.П. Страхова, Е.О. Панкова, М.В. Китаева, Т. Шаффрат, Г. Шальк и др. [4-10]. За последние 5 лет большая часть научно-исследовательских работ направлена на решение вопросов цифровизации процессов переработки и конструирования рецептур, этим вопросом занимаются такие ученые как М.Л. Вартанова, В.А. Дресвянников, Е.П. Страхов, А.С. Возмищева, Ю.Б. Гербер, С.В. Балко, А.А. Якушев, Н.Х. Седакова и др. [5-8, 11].

Опыт применения цифровых технологий в зарубежных странах освещен в исследовательской работе Ю.Б. Гербера, С.В. Балко, А.А. Якушева [6], а также во многих международных изданиях:

– в Норвегии внедряют цифровую систему технологий в сортировочном процессе фруктов и овощей для обеспечения высокого качества используемого сырья, а также для работы с высокой точностью и эффективностью применяют сенсорное сортировочное оборудование со встроенными рентгеновскими и инфракрасными камерами и алгоритмы машинного обучения [6, 12];

– в Индии разработана и широко применяется технология визуального распознавания, позволяющая проводить сбор плодов эффективно и упорядоченно, решая проблемы, возникающие с управлением, точностью и скоростью уборки. Она включает в себя не только системы технического зрения, но и различные сенсорные технологии и оптимизацию алгоритмов распознавания и позиционирования [13]. Густота кроны нередко мешает эффективно проводить механизированный сбор урожая роботам-сборщикам, поэтому многие внедряют методы обнаружения и локализации, основанные на глубоком облучении и зондировании при переменном

освещении, которые позволяет распознавать области плодоножки и плода, а также улавливать угол возможного наклона [14];

– американской компанией разработана технология Wi-Next, осуществляющая автоматический контроль при производстве бутилированной воды и соков [6];

– для производства веганских продуктов питания в Чили разработана технологическая цифровая платформа NotCo, которая позволяет заменить ингредиент животного происхождения на растительный аналог, похожий по вкусовым качествам. Для этих целей программная система отображает набор пищевых заменителей с вкусовыми и питательными свойствами молока, мяса и др. животного сырья [6, 14];

– в Испании разработана технология по оптимизации алгоритмов распознавания и смешанного целочисленного линейного программирования с общим приоритетом (MILP), которая используется для планирования процесса производства консервов (распределение единиц, время и последовательность). Для сокращения времени планирования технологического процесса используется двухэтапный алгоритм декомпозиции [15];

– во Франции разработана программа мониторинга розничных магазинов по отслеживанию сроков хранения плодово-ягодной продукции с использованием цифровых двойников (виртуальные изображения продуктов), концепция которых была разработана Майклом Гривсом в Мичиганском университете для определения цифровой информационной конструкции физической системы, используемой для моделирования поведения и связанной с физической системой. После предварительного охлаждения в термически стабильных условиях учитываются температурные характеристики каждого перевозчика и анализ потоков груза. В результате применения цифровых двойников обнаружено, что фрукты теряют от 43 до 85 % своего качества перед тем, как их выставили в розничном магазине, что отражается на сроках хранения [16].

Сложность расчетов производственного процесса увеличивается за счет большого количества используемых видов основного и вспомогательного сырья, а также технологического оборудования и процессов переработки, в связи с чем растет объем вычислений, который требует значительных затрат времени [17, 18]. Традиционно эти задачи рассматривались индивидуально и решались последовательно, что неизбежно вело к неточностям расчетов разных уровней производства или увеличения вероятности ошибки. Использование цифровых технологий на предприятиях ведет к более тесной координации и сотрудничеству на различных уровнях принятия решений. Применение компьютерного моделирования также позволяет пищевой промышленности быстрее выйти на рынок и сократить использование ресурсов при разработке продуктов [6, 19, 20].

Четвертая промышленная революция, которая разворачивается сейчас в России, требует переосмысления принципов организации производства и повышения уровня проникновения технологий. Цифровизация – это уже не вопрос выбора, а задача, которую необходимо решить. Она является главным направлением развития современных промышленных предприятий Российской Федерации – на данном этапе развития цифровые технологии охватывают не только производственные процессы, но и проникают во все сферы деятельности, включая управление и планирование. В связи с этим, исследования, направленные на изучение и внедрение цифровых технологий на всех этапах формирования и управления ценностной цепочкой создания продукта, являются актуальными.

Проведен литературный обзор научных трудов за последние 10 лет, используя ресурсы поисковых систем ScienceDirect, eLibrary, а также материалы сайтов: Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации, TAdviser, Expert Soft и т.д. Для данного анализа использованы материалы и публикации, содержащие экспериментальную и доказательную

базу по вопросам использования цифровых технологий в пищевой перерабатывающей промышленности.

Цель исследования – обобщить имеющиеся исследования предпосылок внедрения и развития цифровых технологий в перерабатывающей промышленности в России.

Задачи исследования:

1. Оценка тенденций развития и применения цифровых технологий в пищевой промышленности России;
2. Обзор программных продуктов, позволяющих моделировать и автоматизировать технологические процессы на предприятии;
3. Тенденции применения программных продуктов для автоматизированного проектирования, расчета и оптимизации рецептур пищевых продуктов.

Обсуждение. В целях проведения оценки предпосылок внедрения и развития пищевой промышленности в цифровых экономических условиях проведен анализ динамики индексов производства пищевых продуктов в России за последние 10 лет (рис. 1).

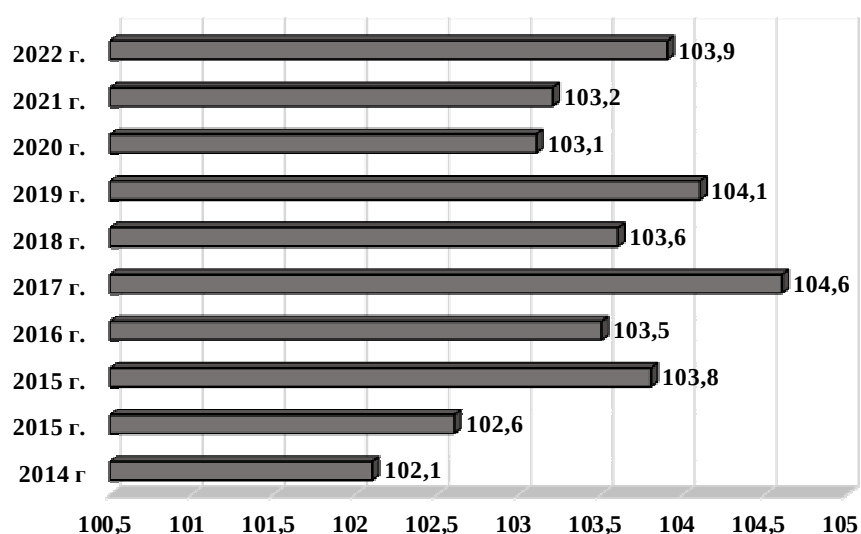


Рис. 1. Индексы производства пищевых продуктов в России, %

Увеличению объемов производства продуктов питания способствовал рост сырьевой базы и потребления, а также конкурентная цена отечественной продукции на внутреннем и внешнем рынке. Необходимым условием развития пищевой и перерабатывающей отрасли является внедрение цифровых технологий и программ [6, 19].

Отрасли пищевой и перерабатывающей промышленности России находятся в состоянии активного развития в течение последних десяти лет, внедряя новые технологии и проходя современную модернизацию. Цифровые технологии служат основным целям бизнеса в перерабатывающих отраслях, таким как продвижение инноваций, повышение производительности и прибыльности.

Основные направления применения цифровых технологий в пищевой промышленности России [6, 17]:

1. *Роботизация сортировки сырья.* Использование роботов для сортировки сельскохозяйственного сырья (фруктов, овощей и др.), для сокращения рабочей силы, ускорения процессов подготовки сырья к переработке и повышения качества;

2. *«Цифровые двойники».* Позволяют обеспечивать контроль и регулирование производственных процессов удаленно за счет применения возможностей программных продуктов, возможно сопровождение видеоизображением. В основе любого внедрения «цифрового двойника» в производство лежит математическая модель процесса или продукта. Такая имитационная модель может быть воплощена в виде сложной мультифизической математической модели, отражающей поведение продукта или отдельного процесса, или в виде более простой в деталях, но более широкой по объему модели интегрированного процесса, которая представляет всю производственную систему. Модели последнего типа могут использоваться для обслуживания всех видов деятельности, требующих интегрированного подхода к процессу, таких как проектирование с нуля и модернизация, авто-

номная и онлайн-оптимизация, обучение операторов, управление цепочкой поставок, планирование производства;

3. *Дополненная реальность*. Такие новые технологии в пищевой промышленности обеспечивают контроль и регулирование производственных процессов на удаленной основе. При этом наладка оборудования, корректировка производства и устранение неисправности достигаются без посещения специалистами производственных цехов за счет применения возможностей программных продуктов и видеоизображения;

4. *Применение искусственного интеллекта*. Обеспечивает автоматизацию производственных процессов, контроль работы оборудования, устранение сбоев и предотвращение простоев. Adeptik APS – российская автоматизированная система для оперативного производственного планирования, которая базируется на технологиях искусственного интеллекта и методах современной математики. Эта система используется для построения детализированного плана производства от закупок до выпуска продукции. При этом каждая операция планируется с учетом параметров имеющихся ресурсов: наличия материалов, квалификации персонала, доступности оборудования;

5. *Машинное зрение*. Позволяет определять не только поверхностные, но и внутренние повреждения фруктов и овощей. Для мониторинга качественного выполнения всех производственных процессов проводится автоматический сбор и постоянный анализ данных о производстве продуктов по всем заданным алгоритмам;

6. *Визуальные системы машинной оценки* качества готовой продукции с помощью специальных датчиков позволяют проконтролировать состав используемых ингредиентов, отсутствие примесей, выявлять и отсортировать бракованные или нарушенные изделия с высокой степенью точности. Большие возможности таких технологий используются и в контроле процессов производства: при обработке, смешивании пищевых ком-

понентов, соблюдении температурного режима хранения готовой продукции, условий транспортировки для реализации;

7. *Системы анализа больших данных* на основе аналитики обширной информации позволяют прогнозировать возможные объемы продажи продуктов питания по видам и корректировать их выпуск в требуемых масштабах;

8. *Искусственная пища*. Новые технологии производства продуктов питания, напоминающих по своим вкусовым качествам продукты других категорий, применяются для обеспечения изменившихся предпочтений потребителей;

9. *Технологии 3D-печати*. Такие принтеры для печати продуктов питания позволяют устанавливать состав продукта и воспроизводить готовое изделие в соответствии с заданными параметрами.

Используемые на предприятиях пищевой промышленности цифровые технологии зависят от требований компании, специфики сферы деятельности, структуры и т.д. [6].

Внедрение этих технологий сделает возможным переход к интеллектуальному производству, характеризующемуся высоким уровнем автоматизации за счет широкого использования дистанционного зондирования, сбора и мониторинга данных в режиме реального времени, а также передовых инструментов визуализации [20-24].

Оценка тенденций развития и применения цифровых технологий показала, что на данный момент многие производственные компании в России уже завершили первый этап цифровизации, автоматизировав технологические процессы. Задача следующего этапа – внедрение современных технологий во все уровни управления предприятием, в том числе и автоматизация расчета рецептур пищевых продуктов. На этом этапе ключевым фактором цифровой трансформации становится искусственный интеллект (компьютерные системы, программы и базы).

Для создания программ расчета и оптимизации рецептур в пищевой промышленности на этапах внедрения цифровых технологий 10 лет назад наиболее популярной и распространенной оболочкой являлся табличный процессор MS Excel, который имеет ряд встроенных модулей, позволяющих упростить поиск решения, корреляционного и регрессионного анализа. Недостаток использования такой программы – отсутствие возможности автоматизированного ввода входных данных и расчетных зависимостей. Наиболее эффективным в последние годы является использование для этих же целей программ MathCad, MathLab и др. Кроме того, известен ряд программных продуктов, подразделяющихся на два класса [20]:

- 1) основные программы в составе автоматизированных систем управления производством;
- 2) специализированные для выполнения разовых расчетов определенных продовольственных продуктов [20, 21] (рис. 2).

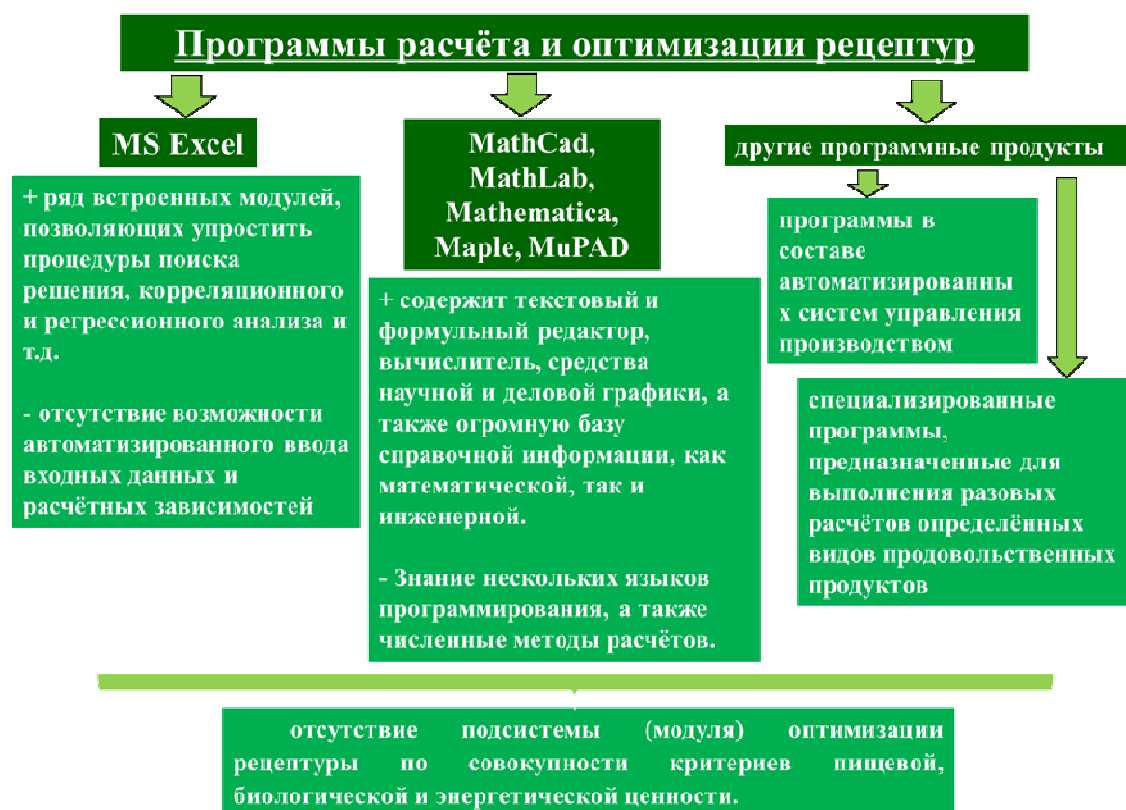


Рис. 2. Программы расчета оптимизации рецептур

Пищевая промышленность имеет дело с очень сложными и разнообразными пищевыми системами с плохо изученными свойствами (даже основными, такими как молекулярная масса), сложным фазовым распределением (например, эмульсии) и плохо изученной термодинамикой. Кроме того, в пищевой промышленности очень важны свойства (такие как pH или активность воды), которые невозможно легко рассчитать и предсказать с помощью обычно используемых принципов консервации, в связи с чем цифровые модели по одному показателю или процессу становятся малоинформативными. Тем не менее, даже при использовании непрогнозирующих или однотипных моделей отдельных операций можно воспользоваться преимуществами моделирования процессов для проектирования, расчета потребностей в сырье, а также ожидаемого результата, времени цикла и производственных затрат, определения экономических «горячих точек», то есть этапов высоких капитальных и эксплуатационных затрат или низкой производительности, а также определение внешних затрат, таких как утилизация определенных материалов упаковки, которая несет дополнительные финансовые потери. Для перерабатывающей промышленности в России используются специализированные программные продукты. По результатам проведенного мониторинга Р.Э. Хабибулина и С.А. Жакслыкова, наиболее распространенными и используемыми предприятиями считаются программные комплексы [20]:

1. «Cheese Pro 1.0», который использует в своей работе ERP-продукты Oracle E-Business Suite (информационная система, автоматизирующая управление и контроль пищевого предприятия) для автоматизации сквозных бизнес-процессов, управления всеми видами ресурсов и расчета рецептур (рис. 3);

2. Программный комплекс «Etalon», который используется для проектирования и формирования расчетов рецептур, а также оптимизации многокомпонентных продуктов;

3. Узкоспециализированные программы на основе баз данных, построенные в программной среде Microsoft Access 2002 [20-27] и т.д.

Oracle E-Business Suite (ERP)



Рис. 3. ERP-продукты Oracle E-Business Suite

Специалистами Кубанского государственного технологического университета для автоматизированного расчета проектирования и оптимизации многокомпонентных рецептов продуктов функционального питания, разработана программа Generic 2.0. Недостатками этих систем являются: высокая стоимость; повышенные требования к уровню подготовки персонала; невозможность оперативного внедрения; дорогостоящая поддержка (рис. 4) [20, 28-30].

В последние годы широкое применение получили программы с системой управления базами данных, направленные на разработки рецептов для детерминированных групп населения. Например, «Вижн-Софт: Питание в детском саду» – это программа, которая включает справочник химического состава продуктов, сборник рецептов и технологий приготовления и т.д. (рис. 5) [20, 29-31].

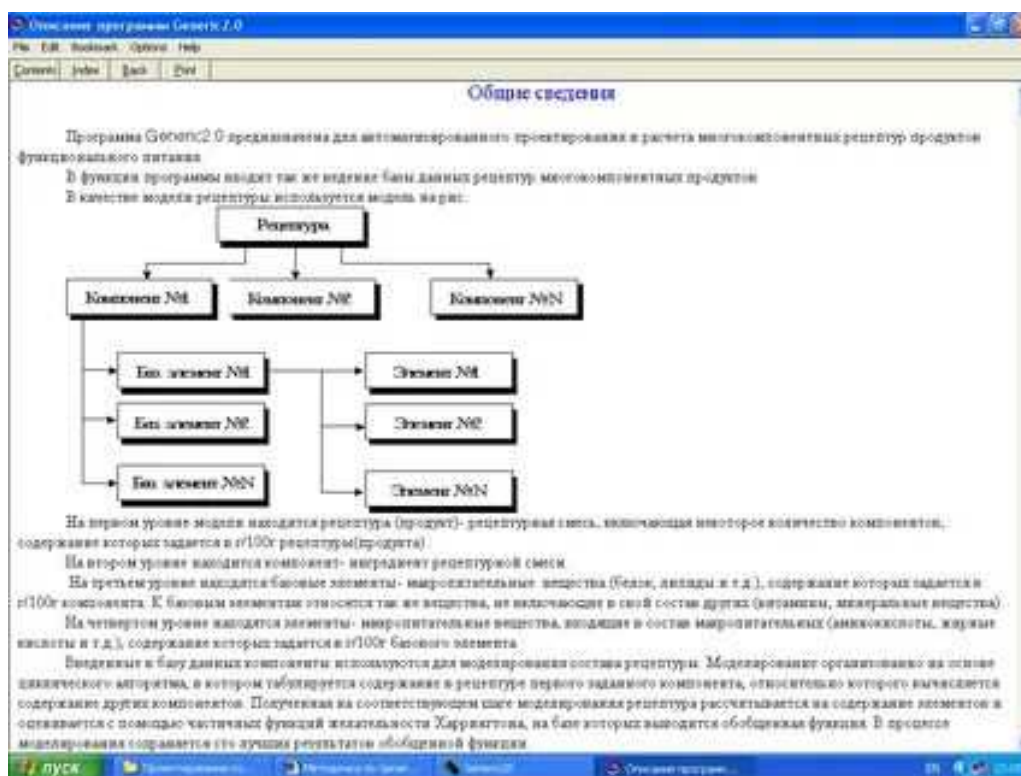


Рис. 4. Общие сведения о программе Generic 2.0.

ВИЖЕН-СОФТ
Автоматизация питания: Питание в детском саду 1.0

ВЕДОМОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ НОРМ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ВЕЩЕСТВ, ВИТАМИНОВ И МИНЕРАЛОВ

за период с 19.10.2009 по 30.10.2009

Сад

Наименование	Норма на 1 ребенка	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10	24.10	25.10	26.10	27.10	28.10	29.10	30.10	Факт. за 10 дней	Факт. за день	Выполн. миним. %
Пищевые вещества и энергии																
Белки, г	60	67.0	67.4	64.6	106.2	80.4	66.0	69.0	91.0	67.6	64.2	69.2	64	124		
Жиры, г	45	31.4	61.9	69.0	68.1	68.2	37.4	61.1	40.3	47.1	35.0	521.4	62	106		
Углеводы, г	80	73.3	85.2	74.7	80.7	70.9	70.9	77.9	77.9	76.5	61.9	761.1	76	110		
Энергия, кДж	272	286.0	276.8	255.6	233.7	206.2	271.2	251.3	272.0	269.3	260.0	261	65			
Энергетическая ценность, ккал	1000	2121.0	2087.9	1907.2	2206.6	1696.6	2166.9	2154.9	1926.7	2016.6	2062.9	2099	109			
Витамины																
С, мг	50	72.9	77.1	62.9	20.9	69.7	51.6	46.1	82.2	66.0	47.1	636.3	64	129		
А, мг	500	3169.0	1222.0	7697.8	3911.9	1050.0	2061.9	1188.0	15246.4	2167.0	6772.9	43099.6	4267	861		
В1, мг	1	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	0.5	7.5	1	111	
В2, мг	1	0.9	1.0	0.9	1.4	0.9	0.9	1.0	0.9	1.2	1.0	0.7	1	100		
В6, мг	1.5															
В12, мг	1.3															
Р, мг	11	12.2	9.7	14.9	14.7	12.6	11.0	9.2								
Белковая кислота, мг	200															
Минеральные вещества																
Ca, мг	300	639.0	1029.2	792.9	1014.9	605.0	717.0	1039.3								
P, мг	1350	1071.2	1338.6	1598.0	1476.7	1210.8	1071.8	1321.7								
Mg, мг	200	310.2	287.3	276.3	291.8	282.7	264.3	236.7								
Na, мг	10	23.1	23.5	25.1	33.9	24.9	20.5	22.0								

Программа позволяет по различным категориям питающихся вести ведомости выполнения норм потребления витаминов, пищевых веществ и минеральных веществ

Рис. 5. Обзор программы с системой управления базами данных

Похожим функционалом обладает информационно-аналитическая система «АВЕРС : расчет меню питания», позволяющая автоматизировать

процесс расхода и учета продуктов, осуществляющая дополнительный мониторинг рациона питания по всем показателям пищевой ценности используемых продуктов или программа «Разработка рецептур, композиций из растительного сырья», позволяющая создать функциональные продукты питания и разработать рецептуры пищевых концентратов повышенной биологической ценности на плодоовощной основе. Использование этой программы позволяет задать необходимые параметры продукта и получить рецептуры со сбалансированным соотношением микроэлементов и обеспечить суточную потребность человека в витаминах и минеральных веществах [20, 31-35]. Для разработки технологической документации на готовую продукцию с автоматическим составлением технологических карт, расчетом пищевой и энергетической ценности продуктов используется программа «Шеф Эксперт» [20, 31].

Компанией «Эксперт Софт» разработаны компьютерные программы, позволяющие автоматизировать работу предприятия и создавать рецептуры с использованием комплекса существующих и пополняемых баз данных, а также технологические карты, нормативные документы и стандарты организации на выпускаемую продукцию: Модуль разработки СТО, Мастер ТТК 2.0, Мастер ТТК 3.0 (рис. 6). Часть разработанных программ может быть адаптирована для моделирования рецептур и процессов переработки плодово-ягодного сырья, такие как «ХАССП-Общепит 2.0», «ХАССП-Лечебное питание», ПТК «Лечебное питание», «База с рецептурами НАССР-Общепит, Мастер ТТК», «База с рецептами Мастер ТТК» – это программные системы, позволяющие управлять базами данных, состоящие из наборов справочных таблиц, а также позволяющие формировать в автоматическом режиме нормативные документы и другую отчетную документацию (меню, технологические карты, расход продуктов, расчет пищевой и энергетической ценности и др.) [27-31, 36].

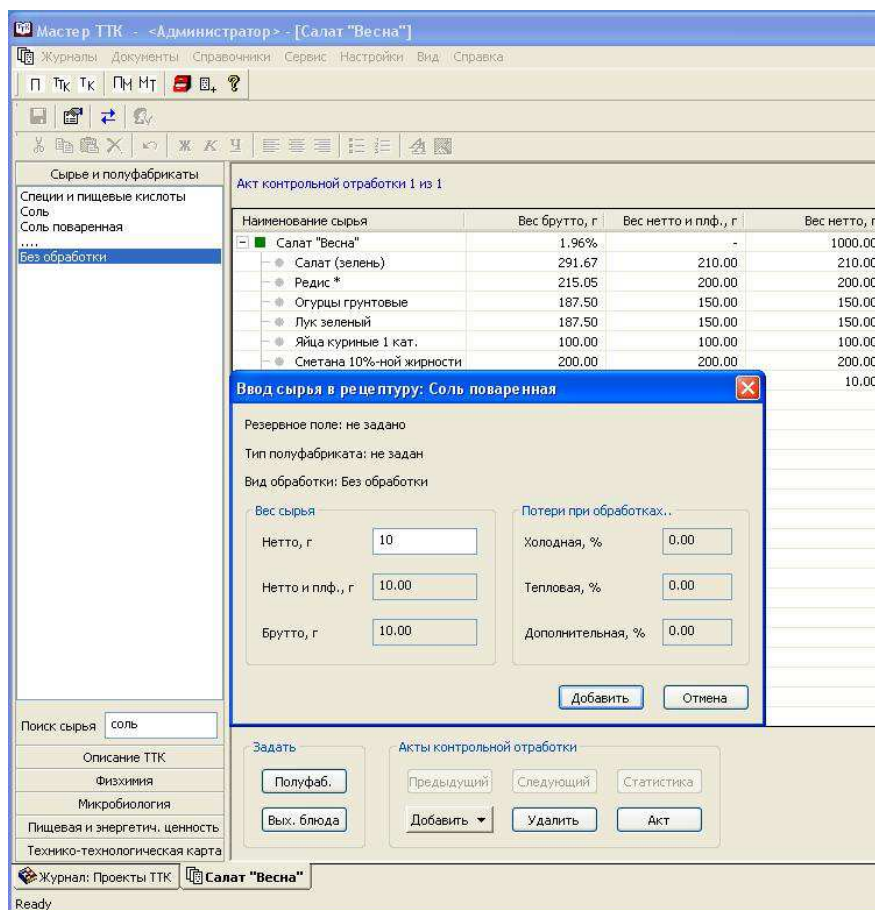


Рис. 6. Программа ТТК 2.0. – Expert Soft с системой управления базами данных [36].

В настоящее время наиболее востребованной программой для моделирования рецептов на предприятиях пищевой промышленности является «ХАССП-Общепит» 2.0, разработанная компанией Expert Soft, которая позволяет объединить разработку технологической и производственной документации на каждом этапе процесса в единую систему по управлению качеством и безопасностью пищевой продукции от входного качества сырья до реализации готовой продукции [36]. Система справочников и журналов, входящая в программу, дает возможность быстро добавлять, редактировать и эффективно использовать введенную информацию. Удобный интерфейс инструментов для разработки документации с четко заданным алгоритмом действий позволяет за минимальное время разработать безупречно оформленную документацию. Программа ХАССП-Общепит 2

включает большой набор справочников [28-36]: сырьевых источников, «Нормативные документы», «Потери при тепловой обработке», «Категории довольствующихся» и т.д.

При создании новой рецептуры продукта пользователь системной программы вводит все необходимые показатели в окне «Настройки проекта», затем в табличной части рецептуры вносит используемое сырье, при необходимости формирует полуфабрикаты, после чего вводит предполагаемый выход полуфабрикатов и готовых изделий. После того, как будет подписан проект разрабатываемой рецептуры, технико-технологическая карта (ТТК) и технологическая инструкция (ТИ) создаются программой автоматически [32-37].

Используя цифровые технологии в пищевой промышленности, производители смогут добиться следующих преимуществ на предприятиях:

- точность рецептуры и стабильность продукта;
- повышение производительности;
- оптимальность вкуса, текстуры и срока хранения;
- сокращение количества отходов;
- обеспечение соответствия нормативным требованиям;
- повышение прибыльности [36, 38, 39].

По мнению ученых Ю.А. Сафонова, Н.А. Мурашова и А.О. Рудыка выбор методов и технических средств моделирования во многом определяется целевым назначением модели, определяемым прикладными задачами ее использования в базах автоматизированного расчета и оптимизации рецептур многокомпонентных пищевых систем с использованием подходов, базирующихся на методах экспериментального статистического моделирования и линейного программирования [39].

Тенденция применения программных продуктов для автоматизированного проектирования, расчета и оптимизации рецептур пищевых продуктов в последние годы приобретает индивидуальный характер для каж-

дого предприятия, что ведет к увеличению затрат на их приобретение и использование. Идентификация компонентов используемого на предприятии сырья имеет важное значение как для разработки самой модели, так и для решения задач, ориентированных на процессы производства. Компоненты, не разделяющиеся по всей линии осуществления процесса, объединяют в один виртуальный (например, «белки»). Это может создать дополнительные проблемы при определении физико-химических свойств, при заимствовании свойств доминирующего ингредиента в системе, так как предполагается, что все остальные ингредиенты аналогичны. Типы операций, которым подвергаются компоненты рецептуры в процессе производства пищевых продуктов, также могут объединяться в цифровой модели и приводить к снижению затрат на производство готового продукта. Например: углеводы, белки, жиры и т.д. представляют собой сложные системы, но редко встречаются в паровой фазе. Типы процессов, включенных в одну блок-схему, определяют какие компоненты идентифицировать, а также какие значения свойств необходимы для создания определенной модели продукта [40, 41]. Очень распространенным подходом к решению задач оптимального управления является параметризация переменных данных. Временной интервал производства может быть разделен на подинтервалы, в которых управление аппроксимируется кусочной функцией (обычно постоянной или линейной). В определенных точках переключения управление переходит с одного подинтервала на другой [41-45].

Разработка модели интегрированного процесса начинается с определения целей моделирования. Модель всегда является приближением к реальности, и разные цели могут привести к разным абстракциям моделирования, которые воплощают различное количество деталей по отношению к реальному процессу. При моделировании периода работы предприятия или формировании партии с увеличением или уменьшением объема расчетов, могут возникнуть трудности в настройке и проверке прогнозов модели

процесса при нелинейном моделировании. Например, могут быть различия в конечном расчете продукта из-за отличия оборудования на предприятиях при использовании одного и того же плодово-ягодного сырья, спецификация потока, состава и состояния процессов переработки технологического сырья вносятся для расчета материального и энергетического баланса до того, как будет настроен симулятор процесса. Преимущества использования систем с нечетким логическим выводом проявляются при проектировании рецептур многокомпонентных пищевых продуктов для определения оптимального соотношения ингредиентов, качество которых оценивается по результатам анализа [36, 43-47].

Среди различных моделей технологических процессов особое место занимают линейные модели, в которых математические зависимости находятся в одной плоскости относительно всех переменных величин, включенных в модель. Сущность задач такого рода заключается в том, что из множества возможных вариантов рецептур выбирается оптимальный вариант по заданному признаку [24, 47]:

- 1) формируется информационный банк данных, который включает химический состав сырья;
- 2) на основе информационного банка данных составляются линейные уравнения по химическому составу продукта (содержанию углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов);
- 3) определяются технологические ограничения на использование отдельных видов сырья;
- 4) выбирается критерий оптимизации энергетической ценности продукта;
- 5) решается поставленная задача в цифровой математической системе;
- 6) проводится анализ опытных партий разработанных многокомпонентных пищевых продуктов с технологической и экономической точек зрения [20, 48].

Программа разработки модели производства продуктов питания позволяет получить систему с одной или несколькими переменными и возможностью замены условий протекания процесса переработки, полученную путем объединения динамических моделей планирования производственных процессов, развивающихся совместно на всех этапах [49].

В лаборатории хранения и переработки плодов и ягод ФГБНУ СКФНЦСВВ осуществляется разработка рецептур консервов с использованием моделей органолептической оценки и сортового подбора сырьевых источников. Рецептуры составляются с использованием балансовых уравнений. Формируется информационная матрица данных для проведения оптимизации рецептуры, которая включает в себя наименование ингредиентов, их химический состав с учетом сформированных баз данных. На основании информационной матрицы данных формируется система балансовых уравнений и функция цели.

На этапе формирования рецептуры консервов с заданными свойствами в результате системы линейных балансовых уравнений, необходимо учитывать сортовой подбор и количество ингредиентов с учетом принятых обозначений. Используемый метод разработки многокомпонентных пищевых продуктов, основанный на линейных уравнениях, отличается от других простой наглядностью и информативностью, может быть автоматизирован и использован при проектировании рецептур с заданными свойствами и составом [20, 31, 50].

Заключение. В ходе исследования проведена оценка тенденций развития и применения цифровых технологий в пищевой промышленности России за последние 10 лет. Отмечено увеличение спроса на программные продукты, позволяющие автоматизировать технологические процессы на предприятии и организовать единую линию контроля производства. Основные трудности, возникающие в работе, связаны с расчетами и оптими-

зацией рецептур пищевых продуктов ввиду особенностей оснащения, сырьевой базы и выпускаемого ассортимента. Анализ литературных данных показал, что разработано огромное количество программных продуктов, позволяющих решить большую часть таких вопросов. Использование системы справочников, журналов и баз данных дает возможность быстро и удобно добавлять, редактировать и эффективно применять информацию при составлении рецептур в пищевой промышленности, что позволяет добиться точности рецептуры и стабильности продукта; оптимальности вкуса, текстуры и срока хранения; повышения производительности; сокращения количества отходов; обеспечения соответствия нормативным требованиям; повышения прибыльности и сокращения затрат. Однако стоимость использования таких программ доступна не всем предприятиям пищевой промышленности и требует больших вложений на ввод в систему, обучение персонала и ее обслуживание, что также сопряжено со многими трудностями, ввиду чего тенденция развития цифровых технологий в пищевой перерабатывающей промышленности протекает достаточно медленно. В качестве возможных направлений для дальнейших исследований следует выделить разработку цифровой системы развития и поддержки предприятий пищевой промышленности.

Литература

1. Андреева Т.В., Видищева Р.С. Процессно-ориентированный подход к управлению ценностной цепочкой продукта пищевой промышленности в регионе // Экономика, предпринимательство и право. 2020. № 11. С. 2651-2664. DOI: [10.18334/epp.10.11.111123. https://elibrary.ru/item.asp?id=44438877](https://elibrary.ru/item.asp?id=44438877)
2. Андреева Т.В., Курлыкова А.В. Подходы, методы и инструментальные средства к управлению ценностной цепочкой продукта пищевой промышленности на микро- и мезоуровне // Экономика, предпринимательство и право. 2020. № 4. С. 1137-1150. DOI: [10.18334/epp.10.4.100882. https://elibrary.ru/item.asp?id=42900285](https://elibrary.ru/item.asp?id=42900285)
3. Андреева Т.В., Курлыкова А.В. Формирование системы показателей оценки эффективности управления ценностной цепочкой продукта пищевой промышленности // Экономические отношения. 2019. № 3. С. 1987-2000. EDN: [FZRZDP](https://elibrary.ru/fzrzdp) doi: [10.18334/eo.9.3.40963. https://elibrary.ru/fzrzdp](https://elibrary.ru/fzrzdp)
4. Дресвянников В.А., Страхов Е.П., Возмищева А.С. Анализ применения аддитивных технологий в пищевой промышленности // Продовольственная политика и безопасность. 2017. № 3. С. 133-139. EDN: [WZRJPC](https://elibrary.ru/wzrjpc) DOI: [10.18334/ppib.4.3.38500. https://elibrary.ru/wzrjpc](https://elibrary.ru/wzrjpc)

5. Вартанова М.Л. О состоянии и перспективах развития пищевой и перерабатывающей промышленности в Республике Дагестан // Экономические отношения. 2018. № 1. С. 31-48. DOI: [10.18334/eo.8.1.38878](https://doi.org/10.18334/eo.8.1.38878). <https://elibrary.ru/item.asp?id=32724647>
6. Гербер Ю.Б., Балко С.В., Якушев А.А. Цифровой формат развития пищевой промышленности в современных экономических условиях // Экономика, предпринимательство и право. 2022. Том 12, № 5. С. 1613-1624. DOI: [10.18334/epp.12.5.114677](https://doi.org/10.18334/epp.12.5.114677). <https://elibrary.ru/item.asp?id=48674165>
7. Афоничев Д.Н., Пиляев С.Н. Повышение эффективности работы технологических установок // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: материалы VII Международной научно-технической конференции. Сборник трудов. Воронеж: Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ», 2020. 420-424 с. EDN: [NDUUZV](https://elibrary.ru/nduuzv). <https://elibrary.ru/nduuzv>
8. Нгуен Т.В., Гарнов А.П. Особенности инвестиций в пищевой промышленности в условиях цифровизации // Экономика, предпринимательство и право. 2020. № 7. С. 2045-2062. EDN: [ABINPX](https://elibrary.ru/item.asp?id=43812136) DOI: [10.18334/epp.10.7.110657](https://doi.org/10.18334/epp.10.7.110657). <https://elibrary.ru/item.asp?id=43812136>
9. Панкова Е.О., Китаева М.В. Цифровизация как фактор экономического развития предприятий пищевой промышленности // Наука XXI века: актуальные направления развития. 2019. № 2. С. 32-35. EDN: [LONTFU](https://elibrary.ru/lontfu). <https://elibrary.ru/lontfu>
10. Шафрат Т., Шальк Г. Цифровизация в пищевой промышленности сегодня и в будущем // Переработка молока. 2019. № 5(235). С. 38-39. EDN: [WCKQKY](https://elibrary.ru/item.asp?id=38162032) <https://elibrary.ru/item.asp?id=38162032>
11. Промышленное производство. Федеральная служба государственной статистики Российской федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial (дата обращения: 15.09.2023)
12. Садекова Н.Х. Развитие пищевой промышленности России в условиях импортозамещения // Продовольственная политика и безопасность. 2016. № 2. С. 77-90. EDN: [XVIGKL](https://elibrary.ru/item.asp?id=28301308) DOI: [10.18334/ppib.3.2.35798](https://doi.org/10.18334/ppib.3.2.35798) <https://elibrary.ru/item.asp?id=28301308>
13. Object localization methodology in occluded agricultural environments through deep learning and active sensing / T. Sun, et al. // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 212. 108141. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108141>
14. On the Optimization of Production Scheduling in Industrial Food Processing Facilities / P.G. Georgios, et al. // Computer Aided Chemical Engineering. 2019. Vol. 46. P. 1297-1302. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50217-4>
15. Технологии пищевой промышленности. Обзор TAdviser. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 15.09.2023)
16. ТОП 10 цифровых технологий для пищевой промышленности и обеспечение информационной безопасности инфраструктуры предприятия. Comnews.ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.comnews.ru/content/207301/2020-05-26/2020-w22/top-10-cifrovyykh-tekhnologiy-dlya-pischevoy-promyshlennosti-i-obespechenie-informacionnoy-bezopasnosti-infrastruktury-predpriyatiya> (дата обращения: 15.09.2023)
17. Vision based fruit recognition and positioning technology for harvesting robots / Y. Yang, et al. // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 213. 108258. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108258>
18. Digital RT-PCR method for hepatitis A virus and norovirus quantification in soft berries / A. Fraisse, et al. // International Journal of Food Microbiology. 2017. Vol. 243. P. 36-45 <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.11.022>
19. Карачасва З.А., Исмаилова А.А. Направление применения цифровых технологий и продуктов в отраслях пищевого производства // Экономика и социум. 2022. №11(102). https://www.iupr.ru/files/ugd/b06fdc_f65b67f3bacc4b938b82117ae6bf733e.pdf?index=true

20. Хабибулин Р.Э., Жакслыкова С.А., Решетник О.А. Современные программы автоматизированного расчета рецептур комбинированных пищевых продуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 21. С. 257-260. EDN: SYZYNP <https://elibrary.ru/item.asp?id=22528817>

21. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gks.ru/folder/10705>. <https://rosstat.gov.ru/folder/10705> (дата обращения: 15.09.2023)

22. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития: науч. издание / Ф.В. Федоренко [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 316 с. EDN: TENBVN <https://elibrary.ru/item.asp?id=39220808>

23. Многопрофильный научно-производственный журнал КИНЭУ им. М. Дулатова. Спец выпуск «Общественный науки, истоия, философия». Материалы VII междунар. науч.-практич. конф.: «Наука и инновации – стратегические приоритеты развития экономики государства», 2016. № 4-2. 431 с. <https://journal.kineu.kz/wp-content/uploads/2020/02/ZHurnal-Nauka-2015-4.-DCH.-Tom-2.-OBSHHESTVENNYE-NAUKI-ISTORIYA-FILOSOFIYA.pdf>

24. Федоров А.Д. Цифровизация сельского хозяйства – необходимое условие повышения его конкурентоспособности // Нивы России. 2018. Т. 5. С. 36-39. EDN: XSTDVB <https://elibrary.ru/item.asp?id=35229217>

25. Aliyeva Y. N., Ibrahimov O. Application of information technologies in the preparation of financial accounting // Transformation of science and education in the conditions of digital society: collection of scientific works based on the materials of the International Scientific and Practical Conference of May 12, 2022: Belgorod: Agency for Advanced Scientific Research (APNI), 2022. P. 5-8. Режим доступа: <https://apni.ru/article/4034-application-of-information-technologies> (дата обращения: 15.09.2023)

26. Koulouris A., Misailidis N., Petrides D. Applications of process and digital twin models for production simulation and scheduling in the manufacturing of food ingredients and products // Food and Bioproducts Processing. 2021. Vol. 126. P. 317-333. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.01.016>

27. ИТ в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sfera.fm/interviews/it-v-apk-kak-novye-tekhnologii-razvivayut-selskoe-khozyaistvo> (дата обращения: 15.09.2023)

28. Степанова Т.Ю., Корулько О.А., Прушинский А.А. Анализ рынка программного обеспечения для технологов общественного питания // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2018. № 3(14). С. 12. EDN: YLHBWP <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36288007> 29.

29. Как работает комплекс R-Keeper? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.penza-press.ru/kak_rabotaet_kompleks_keeper.dhtm (дата обращения: 15.09.2023) 30.

30. Программный центр. Программы серии «Питание» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pbprog.ru/products/pitanie.php> (дата обращения: 15.09.2023)

31. «Вижен-софт» автоматизация питания. Программы для организации питания в детских садах, школах, а также в детских домах и учреждениях санаторно-курортного лечения [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pitaniesoft.ru/nutrition_programs/baby_food/ (дата обращения: 15.09.2023)

32. Электронная школа Аверс. ИАС «Аверс: Расчет меню питания» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iicavers.ru/produksiya/upravlenie/rmp/> (дата обращения: 15.09.2023).

33. Цифровизация сельскохозяйственного производства России на период 2018-2025. Исследование кооперационного проекта «Германо-Российский аграрно-политический диалог». Москва/Берлин: Проект «Германо-Российский аграрно-политический диалог». 2018, 33 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://agrardialog.ru/files/prints/apd_studie_2018_russisch_fertig_formatiert.pdf (дата обращения: 15.09.2023).
34. Методические рекомендации к организации общественного питания населения МР [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sh11-novoterskij-r26.gosuslugi.ru/netcat_files/32/315/MR.pdf (дата обращения: 15.09.2023)
35. Han Wang, Donovan Chaffart, Luis A. Ricardez-Sandoval. Modelling and optimization of a pilot-scale entrained-flow gasifier using artificial neural networks // Energy. 2019. Vol. 188, 116076. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116076>
36. Компьютерные программы для разработки рецептур / ХАССП -Общепит. Expert Soft [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://es-nsk.ru/?status=404> (дата обращения: 15.09.2023)
37. Чаплыгина И.А., Матюшев В.В. Внедрение цифровых технологий при подготовке бакалавров и магистров в институте пищевых производств // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Красноярск, 2022. С. 203-206. EDN: FWJZRH <https://elibrary.ru/item.asp?id=49619881>
38. Oswaldo A.M., Ricardez-Sandoval L.A. A switched system formulation for optimal integration of scheduling and control in multi-product continuous processes // Journal of Process Control. 2021. Vol. 106. P. 94-109. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2021.08.017>
39. Сафонова Ю.А., Мурашова Н.А., Рудыка А.О. Анализ процесса оптимизации состава многокомпонентных пищевых продуктов // Интеллектуальные информационные системы. Труды Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Том Часть 2. Воронеж, 2019. С. 79-80 EDN: FFBFIG <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42411895>
40. Студопедия.нет. Информационный студенческий ресурс. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studopedia.net/3_30644_analiz-sushchestvuyushchih-metodov-proektirovaniya-retseptur-produktov-pitaniya.html (дата обращения: 15.09.2023)
41. Energy-efficient press for oil-bearing crops / V.N. Vasilenko, et al. // Russian Engineering research. 2017. Vol. 4 (37). P. 330-331. DOI: 10.3103/S1068798X17040220
42. Электронная школа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bankiros.ru/credits/s-poruchitelem> (дата обращения: 15.09.2023)
43. Лисин П.А., Мартемьянова Л.Е., Савельева Ю.С. Моделирование рецептурной смеси многокомпонентных мясных продуктов с применением симплекс-метода // Вестник Омского ГАУ. 2014. № 1(13). С. 73-76 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22507372>
44. Руководство: Составления рецептур в пищевой промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mt.com/ru/ru/home/library/guides/laboratory-division/food-quality-control/food-formulation-guide.html> (дата обращения: 15.09.2023)
45. Production of third-generation snacks / J.B. Balntic et al. // Croatian Journal of Food Science and Technology. 2018. № 10 (1). P. 98-105. DOI: 10.17508/CJFST.2018.10.1.04
46. On the Optimization of Production Scheduling in Industrial Food Processing Facilities / P.G. Georgios, et al. // Computer Aided Chemical Engineering. 2019. Vol. 46. P. 1297-1302. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50217-4>
47. Oscar Palma-Flores, Mina Rafiei, Luis A. Ricardez-Sandoval. On the Implementation of Nonlinear Model Predictive Control for Simultaneous Design and Control Using a Back-Off Approach // IFAC-PapersOnLine. 2020. Vol. 53(2). P. 11551-11556. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.632>

48. Ji N., Gu X. Integration of scheduling and control for batch process based on generalized Benders decomposition approach with genetic algorithm // *Computers & Chemical Engineering*. 2021. Vol. 145. 107166. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2020.107166

49. Tanzanakis A., Lygeros J., Data-Driven Control of Unknown Systems: A Linear Programming Approach // *IFAC-PapersOnLine*. 2020. Vol. 53(2). P. 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.027>

50. Machine Learning-Based Digital Twin for Monitoring Fruit Quality Evolution / T.Y. Melesse, et al. // *Procedia Computer Science*. 2022. Vol. 200. P. 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.200>

References

1. Andreeva T.V., Vidishcheva R.S. Process-oriented approach to managing the value chain of food products in the region // *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2020. № 11. P. 2651-2664. DOI: 10.18334/epp.10.11.111123. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44438877> (in Russian)

2. Andreeva T.V., Kurlykova A.V. Approaches, methods and tools to manage value chain of the food industry product at the micro and mesolevel // *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2020. № 4. P. 1137-1150. DOI: 10.18334/epp.10.4.100882. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42900285> (in Russian)

3. Andreeva T.V., Kurlykova A.V. Formation of a system of indicators to assess the effectiveness of management of the value chain of the food industry product // *Journal of international economic affairs*. 2019. № 3. P. 1987-2000. EDN: FZRZDP doi: 10.18334/eo.9.3.40963. <https://elibrary.ru/fzrzdp> (in Russian)

4. Dresvyannikov V.A., Strakhov E.P., Vozmishcheva A.S. Analysis of application of additive technologies in the food industry // *Food Policy and Security*. 2017. № 3. P. 133-139. EDN: WZRJPC DOI: 10.18334/ppib.4.3.38500. <https://elibrary.ru/wzrjpc> (in Russian)

5. Vartanova M.L. On the state and development prospects for the food and processing industry in the Republic of Dagestan // *Journal of international economic affairs*. 2018. № 1. P. 31-48. DOI: 10.18334/eo.8.1.38878. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32724647> (in Russian)

6. Gerber Yu.B., Balko S.V., Yakushev A.A. Digital format of food industry development in modern economic conditions // *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2022. Vol. 12. № 5. P. 1613-1624. DOI: 10.18334/epp.12.5.114677. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48674165> (in Russian)

7. Afonichev D.N., Pilyaev S.N. Increasing the efficiency of technological installations // *Innovative technologies in the food industry: science, education and production: materials of the VII International Scientific and Technical Conference. Collection of works*. Voronezh: Department of Printing of the FSBEI HE "VSUIT", 2020. P. 420-424. EDN: NDUUZV. <https://elibrary.ru/nduuzv> (in Russian)

8. Nguyen T.V., Garnov A.P. Features of Investments in the Food Industry in the Context of Digitalization // *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2020. № 7. P. 2045-2062. DOI: 10.18334/epp.10.7.110657. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43812136> (in Russian)

9. Pankova E.O., Kitaeva M.V. Digitalization as a Factor of Economic Development of Food Industry Enterprises // *Science of the XXI Century: Actual Directions of Development*. 2019. № 2. P. 32-35. EDN: LONTFU. <https://elibrary.ru/lontfu> (in Russian)

10. Schaffrat T., Schalk G. Digitalization in the Food Industry Today and in the Future // *Milk Processing*. 2019. № 5 (235). P. 38-39. EDN: WCKQKY <https://elibrary.ru/item.asp?id=38162032> (in Russian)

11. Industrial production. Federal State Statistics Service of the Russian Federation. [Electronic resource]. Available at: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)

12. Sadekova, N.Kh. The development of Russian Food Industry in the Conditions of Import Substitution // Food Policy and Security. 2016. № 2. P. 77-90. EDN: [XVIGKL](#) DOI: [10.18334/ppib.3.2.35798](#) <https://elibrary.ru/item.asp?id=28301308> (in Russian)
13. Object localization methodology in occluded agricultural environments through deep learning and active sensing / T. Sun, et al. // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 212. 108141. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108141>
14. On the Optimization of Production Scheduling in Industrial Food Processing Facilities / P.G. Georgios, et al. // Computer Aided Chemical Engineering Vol. 46. 2019. P. 1297-1302 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50217-4>
15. Food Industry Technologies. TAdviser Review. [Electronic resource]. Available at: <https://www.tadviser.ru/index.php> (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
16. TOP 10 digital technologies for the food industry and ensuring information security of the enterprise infrastructure. Comnews.ru. [Electronic resource]. Available at: <https://www.comnews.ru/content/207301/2020-05-26/2020-w22/top-10-cifrovyykh-tekhnologiy-dlya-pischevoy-promyshlennosti-i-obespechenie-informacionnoy-bezopasnosti-infrastruktury-predpriyatiya> (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
17. Vision based fruit recognition and positioning technology for harvesting robots / Y. Yang, et al. // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 213. 108258. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108258>
18. Digital RT-PCR method for hepatitis A virus and norovirus quantification in soft berries / A. Fraisse, et al. // International Journal of Food Microbiology. 2017. Vol. 243. P. 36-45 <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.11.022>
19. Karachayeva Z.A., Ismailova A.A. The direction of application of digital technologies and products in food production // Economy and Society. 2022. No. 11(102). https://www.iupr.ru/files/ugd/b06fdc_f65b67f3bacc4b938b82117ae6bf733e.pdf?index=true
20. Khabibulin R.E., Zhakslykova S.A., Reshetnik O.A. Modern programs of automated calculation of recipes for combined food products // Bulletin of Kazan Technological University. 2014. № 21. P. 257-260. EDN: SYZYNP <https://elibrary.ru/item.asp?id=22528817> (in Russian)
21. Federal State Statistics Service [Electronic resource]. Available at: <https://www.gks.ru/folder/10705>. <https://rosstat.gov.ru/folder/10705> (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
22. Digital Agriculture: State and Development Prospects / V.F. Fedorenko, et al. Moscow: Rosinformagrotech, 2019. 316 p. EDN: TENBVN <https://elibrary.ru/item.asp?id=39220808> (in Russian)
23. Multidisciplinary scientific and production journal KEEU named after M. Dula-tov. Special edition "Social sciences, philosophy, philosophy". Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference: "Science and Innovation – strategic priorities for the development of the state economy", 2016. № 4-2. 431 p. <https://journal.kineu.kz/wp-content/uploads/2020/02/ZHurnal-Nauka-2015-4.-DCH.-Tom-2.-OBSHHESTVENNYE-NAUKI-ISTORIYA-FILOSOFIYA.pdf> (in Russian)
24. Fedorov A.D. Digitalization of Agriculture as a Necessary Condition for Improving Its Competitiveness // Fields of Russia. 2018. Vol. 5. P. 36-39. EDN: [XSTDVB](#) <https://elibrary.ru/item.asp?id=35229217> (in Russian)
25. Aliyeva Y. N., Ibrahimov O. Application of information technologies in the preparation of financial accounting // Transformation of science and education in the conditions of digital society: collection of scientific works based on the materials of the International Scientific and Practical Conference of May 12, 2022: Belgorod: Agency for Advanced Scientific Research (APNI), 2022. P. 5-8. URL: <https://apni.ru/article/4034-application-of-information-technologies>

26. Koulouris A., Misailidis N., Petrides D. Applications of process and digital twin models for production simulation and scheduling in the manufacturing of food ingredients and products // Food and Bioproducts Processing. 2021. Vol. 126. P. 317-333. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.01.016>
27. IT in the agro-industrial complex of Russia [Electronic resource]. Available at: <https://sfera.fm/interviews/it-v-apk-kak-novye-tehnologii-razvivayut-selskoe-khozyaistvo> (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
28. Stepanova T.Y., Korulko O.A., Prushinskiy A.A. Analysis of the program support market for public catering technologists // Electronic scientific and methodological journal of Omsk State Agrarian University. 2018. № 3(14). P. 12. EDN: YLHBWP <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36288007> (in Russian)
29. How does R-Keeper work? [Electronic resource]. Available at: https://www.penza-press.ru/kak_rabotaet_komplekc_keeper.dhtm (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
30. Program Center. Programs of the series "Nutrition" [Electronic resource]. Available at: <https://pbprog.ru/products/pitanie.php> (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
31. Vision-Soft Power Automation. Programs for the organization of nutrition in kindergartens, schools, as well as in children's homes and institutions of sanatorium-resort treatment. [Electronic resource]. Available at: https://pitaniesoft.ru/nutrition_programs/baby_food/ (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
32. Avers Electronic School. IAS "Avers: Raschet menu pita" [Electronic resource]. Available at: <https://www.iicavers.ru/produktsiya/upravlenie/rmp/> (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
33. Digitalization of agricultural production in Russia for the period 2018-2025. Study of the cooperation project «German-Russian Agrarian and Political Dialogue» Moscow/Berlin: German-Russian Agrarian-Political Dialogue project, 2018. 33 p. [Electronic resource]. Available at: https://agrardialog.ru/files/prints/apd_studie_2018_russisch_fertig_formatiert.pdf (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
34. Methodological recommendations for the organization of public catering of the MP population [Electronic resource]. 2.3.6.0233-21 Available at: https://sh11-novoterskij-r26.gosuslugi.ru/netcat_files/32/315/MR.pdf (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
35. Han Wang, Donovan Chaffart, Luis A. Ricardez-Sandoval Modelling and optimization of a pilot-scale entrained-flow gasifier using artificial neural networks // Energy. 2019. Vol. 88. 116076. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116076>
36. Computer Programs for Formulation Development / HACCP-Catering. Expert Soft [Electronic resource]. Available at: <http://es-nsk.ru/?status=404> (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
37. Chaplygina I.A., Matyushev V.V. Introduction of Digital Technologies in the Preparation of Bachelors and Masters at the Institute of Food Production // Science and Education: Experience, Problems, Development Prospects. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 70th Anniversary of the Krasnoyarsk State Agrarian University. Krasnoyarsk, 2022. P. 203-206. EDN: FWJZRH <https://elibrary.ru/item.asp?id=49619881> (in Russian)
38. Oswaldo A.M., Ricardez-Sandoval L.A. A switched system formulation for optimal integration of scheduling and control in multi-product continuous processes // Journal of Process Control. 2021. Vol. 106. P. 94-109. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2021.08.017>
39. Safonova Y.A., Murashova N.A., Rudyka A.O. Analysis of the process of optimizing the composition of multicomponent food products // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Part 2. Voronezh, 2019. P. 79-80 EDN: FFBFIG <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42411895> (in Russian)

40. Studopedia.net. Student information resource. [Electronic resource]. Available at: https://studopedia.net/3_30644_analiz-sushchestvuyushchih-metodov-proektirovaniya-retseptur-produktov-pitaniya.html (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
41. Energy-efficient press for oilbearing crops / V.N. Vasilenko, et al. // Russian Engineering research. 2017. Vol. 4 (37). P. 330-331. DOI: 10.3103/S1068798X17040220
42. Electronic school. [Electronic resource]. Available at: <https://bankiros.ru/credits/s-poruchitelem> (accessed date: 15.09.2023)
43. Lisin P.A., Martemyanova L.E., Savelyeva Yu.S. Modeling of prescription mix of the multicomponent meat products with simpleks-metoda application // Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2014. № 1(13). P. 73-76. EDN: SYNTHN <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22507372> (in Russian)
44. Guide: Compilation of Recipes in the Food Industry [Electronic resource]. Available at: <https://www.mt.com/ru/ru/home/library/guides/laboratory-division/food-quality-control/food-formulation-guide.html> (accessed date: 15.09.2023) (in Russian)
45. Production of third-generation snacks / J.B. Balntic et al. // Croatian Journal of Food Science and Technology. 2018. № 10 (1). P. 98-105. DOI: 10.17508/CJFST.2018.10.1.04
46. On the Optimization of Production Scheduling in Industrial Food Processing Facilities / P.G. Georgios, et al. // Computer Aided Chemical Engineering. 2019. Vol. 46. P. 1297-1302. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818634-3.50217-4>
47. Oscar Palma-Flores, Mina Rafiei, Luis A. Ricardez-Sandoval. On the Implementation of Nonlinear Model Predictive Control for Simultaneous Design and Control Using a Back-Off Approach // IFAC-PapersOnLine. 2020. Vol. 53(2). P. 11551-11556. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.632>
48. Ji N., Gu X. Integration of scheduling and control for batch process based on generalized Benders decomposition approach with genetic algorithm // Computers & Chemical Engineering. 2021. Vol. 145. 107166. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2020.107166
49. Tanzanakakis A., Lygeros J., Data-Driven Control of Unknown Systems: A Linear Programming Approach // IFAC-PapersOnLine. 2020. Vol. 53(2). P. 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.027>
50. Machine Learning-Based Digital Twin for Monitoring Fruit Quality Evolution / T.Y. Melesse, et al. // Procedia Computer Science. 2022. Vol. 200. P. 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.200>