

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ПО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ НАУКАМ

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ПИЩЕВОЙ МЕТАИНЖЕНЕРИИ

© 2025 г. А.Г. Галстян^{a,*}, А.Н. Петров^{a,**}, Е.А. Юрова^{a,***}, З.С. Зобкова^{a,****},
Н.С. Пряничникова^{a,*****}, С.А. Фильчакова^{a,*****}

^aВсероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

*E-mail: a_galstyan@vnimi.org

**E-mail: a_petrov@vnimi.org

***E-mail: e_yurova@vnimi.org

****E-mail: z_zobkova@vnimi.org

*****E-mail: n_pryanichnikova@vnimi.org

*****E-mail: s_filchakova@vnimi.org

Поступила в редакцию 13.03.2025 г.

После доработки 25.03.25 г.

Принята к публикации 14.04.2025 г.

В современном мире проблема обеспечения населения высококачественными продуктами питания становится всё более актуальной. Это связано с рядом факторов, таких как рост численности населения Земли, глобализация, которая вносит существенные изменения в привычные модели и структуру питания, недостаточная эффективность традиционных технологий переработки сельскохозяйственной продукции и др. Важный элемент в решении проблемы — применение киберфизических систем (КФС), представляющих собой интеграцию вычислительных, физических и сетевых компонентов в частные процессы и системные технологии. В пищевой промышленности КФС находят применение в управлении производственными линиями, контроле качества продукции, логистике, прогностических моделях спроса, способствуют персонализации питания. В будущем развитие КФС и технологий искусственного интеллекта может привести к созданию полностью автономных пищевых производств, где робот-ассистированные технологии будут управлять всеми процессами — от выращивания сырья до доставки готовой продукции.

Ключевые слова: продукты питания, киберфизические системы, биотехнологии, цифровые и робот-ассистированные технологии, 3Д-печать.

DOI: 10.31857/S0869587325060099, **EDN:** FBGUGW

“Время длится достаточно долго для каждого, кто будет его использовать”.

Леонардо да Винчи

Ещё совсем недавно, буквально несколько десятилетий назад, идея создания *киберфизических*

*систем (КФС)*¹, не говоря уже об её интеграции в повседневную жизнь человека, казалась чем-то из области научной фантастики, утопической мечтой, которая могла возникнуть лишь в воображении писателей-футуристов или учёных-энтузиастов. Однако стремительное развитие информационно-коммуникационных технологий, которое началось в конце XX в. и продолжает набирать обороты в XXI в., кардинально изменило ситуацию. Многочисленные технологические прорывы, подкреплённые глобализацией, привели к тому, что всего за три-четыре десятилетия человечество оказалось в совершенно новой реальности, которая теперь воспринимается как нечто само собой разумеющееся. Более того, каждое новое поколение, рождающееся в условиях

ГАЛСТЯН Арам Генрихович — академик РАН, директор ВНИМИ. ПЕТРОВ Андрей Николаевич — академик РАН, главный научный сотрудник ВНИМИ. ЮРОВА Елена Анатольевна — кандидат технических наук, заведующий лабораторией химического контроля ВНИМИ. ЗОБКОВА Зинаида Семёновна — доктор технических наук, научный консультант ВНИМИ. ПРЯНИЧНИКОВА Наталия Сергеевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник. ФИЛЬЧАКОВА Светлана Анатольевна — кандидат технических наук, младший научный сотрудник ВНИМИ.

¹ Новая парадигма информационно-управляющей среды, которая подразумевает интеграцию кибернетических технологий в физические сущности объектов и/или технологий.

технологически насыщенной среды, принимает её как естественную точку отсчёта, как данность, не задумываясь о том, насколько радикально изменился мир за столь короткий по историческим меркам срок. Можно утверждать, что КФС, объединяющие физические процессы с цифровыми технологиями, стали неотъемлемой частью нашей жизни, формируя новую эпоху, в которой границы между физическим и виртуальным мирами постепенно стираются (рис. 1) [1, 2].

Для анализа возможных сценариев развития пищевой промышленности прежде всего необходимо сформировать научно обоснованную картину мировых демографических изменений, которые выступают ключевым фактором, определяющим спрос на продовольственные ресурсы и структуру их потребления. Однако традиционные инерционные подходы к анализу трендов, основанные на экстраполяции исторических данных, недостаточно эффективны в условиях современной динамично изменяющейся реальности. Это связано с тем, что подобные методы не учитывают целый ряд критически важных аспектов, включая нелинейность социально-экономических и технологических процессов, наличие институциональных ловушек, способных замедлять или искажать развитие, а также влияние глобальных кризисов, таких как пандемии, климатические изменения и геополитические потрясения [3, 4].

Сложность построения адекватных моделей будущего пищевой промышленности обусловлена многопараметрическим характером задачи, требующей учёта как глобальных процессов, так и локальных особенностей. Глобализация, цифровизация, изменения в структуре потребления, трансформация производственных цепочек, демографические

тенденции и экологические ограничения создают сложную систему взаимосвязанных фундаментальных факторов, которые необходимо интегрировать в единую аналитическую программную платформу. Важно учитывать не только позитивные сценарии, связанные с внедрением инновационных технологий, таких как метаинженерные решения, синтетическая биология, искусственный интеллект и автоматизация, но и потенциальные риски, возникающие в результате глобальной цифровизации. К таким рискам относятся, например, *вариативность технологических решений*, которая может привести к фрагментации стандартов и регуляторных норм, а также угрозы, связанные с технологической сингулярностью, когда скорость развития технологий превышает способность общества адаптироваться к ним [5, 6]. Кроме того, значительную неопределённость вносят институциональные и регуляторные факторы. Запаздывание в развитии нормативно-правовой базы, регулирующей новые технологии и процессы, может привести к дисбалансам в отрасли, создавая условия для неэффективного использования ресурсов и повышая риски возникновения кризисных ситуаций.

В этой связи разработка моделей развития пищевой промышленности требует междисциплинарного подхода, объединяющего знания из области демографии, экономики, экологии, социологии, политологии и технических наук. Только комплексный подход позволит создать прочные конструкции, соответствующие текущим трендам и учитывающие потенциальные точки бифуркации, которые могут кардинально изменить траекторию развития отрасли [7, 8]. Таким образом, чтобы сформировать научно обоснованные прогнозы, необходимо не только совершенствовать методологию анализа,



Рис. 1. Эволюция и киберфизические компоненты индустрии X.0

но и активно внедрять инструменты сценарного моделирования с учётом множественности факторов и их взаимовлияния. Это позволит минимизировать неопределённости и разработать стратегии, обеспечивающие устойчивое развитие пищевой промышленности в условиях глобальных вызовов [9, 10].

Следует иметь в виду, что современные социальные и технологические новации приводят к *ускорению смены поколений людей* и изменению их характеристик (рис. 2). Если раньше переход от одного поколения к другому занимал в среднем 20–25 лет (как, например, между поколениями X и Y или Y и Z), то сейчас этот интервал меньше. Для поколения Alpha, рождённого примерно в 2010 г. и позднее, этот цикл сократился до 15 лет, что связано с ускорением технологического прогресса, глобализацией и изменением социальных норм. Поколение Alpha – первое, которое с самого детства погружено в цифровую среду и для которого технологии становятся ключевым фактором формирования мировоззрения, поведения и привычек. Это поколение уже сейчас рассматривается как новый цикл зарождения прогрессивных форматов будущего, которые будут определять развитие общества в ближайшие десятилетия [11].

Следующее за Alpha поколение, условно называемое Beta (2025 год рождения и позже), станет первым, которое вырастет в мире, где искусственный интеллект (ИИ) будет полностью интегрирован в повседневную жизнь. ИИ станет не просто инструментом, а активным участником формирования реальности. Это поколение будет воспитываться в условиях, когда ИИ начнёт влиять на социализацию, образование, социальные взаимодействия, принятие решений. Технологии, основанные на ИИ, будут манипулировать информацией, создавая персона-

лизированные потоки данных, формируя представления о мире и восприятие реальности. В результате нормы, ценности и даже базовые потребности, такие, как потребность в питании, будут складываться под влиянием алгоритмов [12].

Поколение Beta столкнётся с принципиально новыми подходами в области питания. ИИ будет не только рекомендовать индивидуальные диеты на основе анализа здоровья, генетики и образа жизни, но и формировать пищевые привычки через персонализированный контент, рекламу и даже виртуальные симуляции. Например, технологии дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) можно использовать для создания иммерсионных опытов, которые влияют на выбор продуктов питания. Кроме того, ИИ будет интегрирован в производство и доставку еды, что приведёт к появлению новых форматов питания, таких как полностью автоматизированные кафе, персонализированные пищевые добавки и синтетические продукты, созданные с учётом индивидуальных потребностей [13].

Поколение Beta также столкнётся с этическими и социальными вызовами, связанными с использованием ИИ. Вопросы приватности, манипуляции сознанием и зависимости от технологий станут ключевыми темами для обсуждения. Например, как обеспечить, чтобы ИИ формировал у детей и подростков здоровые привычки, а не навязывал коммерчески выгодные, но вредные модели поведения? Как защитить их от чрезмерного влияния алгоритмов, которые могут ограничивать свободу выбора? Это потребует пересмотра существующих подходов к образованию, этике и регулированию технологий, чтобы обеспечить гармоничное развитие будущих поколений в условиях цифровой трансформации [14].



Рис. 2. Фундаментальные предпосылки альтернативной пищевой метаинженерии

Несмотря на то, что перспектива ускорения технологических и социальных циклов в будущем, вероятно, будет иметь свои разумные пределы, недальновидно игнорировать вероятные кардинальные изменения, обусловленные развитием технологий, в прогностических моделях эволюции общества. Априори можно утверждать, что в ближайшие десятилетия человечеству предстоит адаптироваться к масштабу изменений, сопоставимому с пережитым за последние несколько тысячелетий. Этот процесс потребует не только глубокого понимания текущих технологических трендов, но и разработки комплексных стратегий, учитывающих как потенциальные вызовы, так и возможности, связанные с трансформацией социальных, экономических и экологических систем. В данном контексте научный подход к прогнозированию и моделированию будущего становится не просто желательным, но и необходимым условием обеспечения устойчивого развития в условиях стремительно меняющейся реальности.

Фактически современные цифровые технологии ускорили получение и внедрение новых данных по всем направлениям жизнедеятельности человека, практически обнулили временной лаг между созданием и применением результатов интеллектуальной деятельности. Это опосредованно привело к формированию принципиально новой генерации “*homo digitalis*” — человека цифрового — и параллельной с физическим миром метавселенной, адаптирующей практически все формы деятельности человека в цифровые матрицы с интегрированными множественными алгоритмами их применения [15]. Соответственно параллельно видоизменяется среда обитания — виртуальные решения повышают рациональность жизнедеятельности человека, формируя базовую ценность — *свободное время для созидания и творчества*.

В частности, современные технологии, такие как искусственный интеллект и интернет вещей, кардинально трансформируют пищевую промышленность, позволяя оптимизировать цепочки поставок, прогнозировать спрос и минимизировать отходы. Например, системы машинного обучения анализируют данные сенсоров в режиме реального времени, корректируя параметры производства для повышения качества продукции [16]. Это создаёт предпосылки для создания “умных пищевых фабрик” (*smart food factories*), где ключевые решения принимаются алгоритмами, а человеческий труд сфокусирован на креативных и управленческих задачах [17].

Развитие синтетической биологии и ферментационных технологий открывает новые горизонты в создании альтернативных белковых продуктов, снижая нагрузку на экосистемы. Культивируемое мясо и микопотеины уже сейчас демонстрируют потенциал для замещения традиционного живот-

новодства, что критически важно в условиях роста населения и климатических изменений [18]. При этом интеграция биотехнологий в пищевую промышленность требует пересмотра нормативных рамок и формирования новых стандартов безопасности [19].

Цифровизация позволила перейти от унифицированных диет к персонализированному питанию, учитывающему генетические, метаболические и микробиомные особенности индивида. Платформы на основе ИИ анализируют данные *wearable*-устройств (умные носимые устройства) и генетических тестов, предлагая оптимальные рационы [20]. Это не только улучшает здоровье потребителей, но и создаёт новые рынки для пищевых компаний, ориентированных на прецизионные решения [21].

Внедрение блокчейн-технологий в пищевые цепочки обеспечивает полную прозрачность движения продукции от фермы до прилавка, снижая риски фальсификации и повышая доверие потребителей. Например, национальная система маркировки и прослеживания продукции использует технологии распределённых реестров для отслеживания происхождения продуктов, сокращая время проверки с дней до секунд [22]. Это соответствует глобальному тренду на гиперпрозрачность как конкурентное преимущество [23].

Так или иначе проблема обеспечения населения качественными пищевыми продуктами продолжает быть актуальной. Но именно сегодня, с развитием цифровых и робот-ассистированных технологий, методологических баз, логистических систем и много другого человечество впервые подошло максимально близко к её решению. Принципиально новые скорости роста численности населения и беспрецедентные изменения структуры и культуры питания предполагают кардинальную трансформацию традиционных технологий, а в дальнейшем, с некоторой инерционностью, также и схем идентификации и оценки качества продукции. Масштабность изменений затрагивает не только отраслевые компоненты, но создаёт предпосылки для формирования классических моделей социальных, медицинских, экономических и иных элементов государственного управления [24].

Наглядным подтверждением глобальных изменений в питании планетарного масштаба является увеличение объёмов венчурных инвестиций в фудтех (симбиоз информационных технологий и различных направлений традиционной пищевой индустрии) более чем в 7 раз [25]. В результате первостепенной задачей становится замена существующей модели промышленного производства на модель, нацеленную на переход к *персонализированному питанию* (рис. 3). Именно с этим направлением связаны потенциальные качественные скачки в технологиях, которые должны способствовать развитию положительных тенденций в питании

населения, в том числе профилактике алиментарно-зависимых патологий, снижению негативного воздействия на экологию за счёт минимизации потерь сырья и продукции [26, 27].

Существующая система массового производства пищевой продукции не учитывает *индивидуальные потребности человека*, предопределяя множество заболеваний [28]. В частности, избыточный вес отмечен более чем у 2.5 млрд взрослых людей, в том числе ожирение — у более чем 1.0 млрд. В 2022 г. избыточную массу тела имели более 390 млн детей и подростков в возрасте от 5 до 19 лет; из них 160 млн страдали ожирением. Не менее удручающая ситуация с сахарным диабетом. С 1990 по 2022 г. численность людей, страдающих диабетом, увеличилась более чем в 4 раза и составила 830 млн человек. Согласно оценкам экспертов, в 2021 г. от диабета и вызванных им заболеваний почек умерло свыше 2 млн человек. Кроме того, около 11% случаев смерти от сердечно-сосудистых заболеваний были вызваны высоким содержанием сахара в крови. При этом большинство сердечно-сосудистых заболеваний можно предотвратить путём воздействия на поведенческие и экологические факторы риска. В первую очередь следует исключить нездоровое питание, с которым, помимо прочего, связаны синдром раздраженного кишечника (15–20% населения планеты), колоректальный рак (порядка 2 млн новых случаев в год), неалкогольная жировая болезнь печени, которой страдает примерно 25% населения Земли (рост на 50% за последние 10 лет). Следует отметить, что персонафикация питания позволит сократить потери пищевой продукции, которые составляют порядка 1.3 млрд тонн продуктов ежегодно (33% от их производства) [24]. Этого хватило бы, чтобы накормить более 3 млрд человек.

Ситуационный анализ показывает, что в современных реалиях следует акцентировать внимание, с одной стороны, на персонализации питания как максимальном уровне оптимизации, с другой стороны, на решении проблемы голода и снижении потерь пищевых продуктов, а также нагрузки на окружающую среду. В этом смысле перспективными представляются современные *аддитивные технологии*, формирующие принципиально новый сегмент рынка. Ожидается, что в ближайшие годы рынок пищевых продуктов общего назначения, произведённых на 3D-принтерах, будет оцениваться десятками миллиардов долларов благодаря крупным инвестициям в исследования и разработки в этой области. Развитие этого сегмента рынка тормозит отсутствие технологии производства “пищевых чернил”, недостаточная аналитика по химическим, микробиологическим и иным рискам, а также необходимость проработки правовых аспектов. Однако, учитывая интенсивность развития всех сопутствующих направлений, можно уверенно утверждать, что соответствующие решения станут доступными в ближайшее время. Именно в этом ключе следует рассматривать одну из промышленных технологий переработки сельскохозяйственного сырья, формируя стратегию переориентации промышленных предприятий на создание “чернил” для 3D-принтеров. Работы в этом направлении начаты во Всероссийском НИИ молочной промышленности (ВНИМИ) с применением двухголовочного принтера FELIX Food 1.6 Switch Head, который позволяет создавать сложные матрицы из двух различных материалов [20].

В то же время, принимая во внимание риск утраты традиционных пищевых технологий, необходимо создавать алгоритмы *защиты национальных продуктов* для передачи следующим поколениям



Рис. 3. Персонализированное питание — пищевая технология будущего

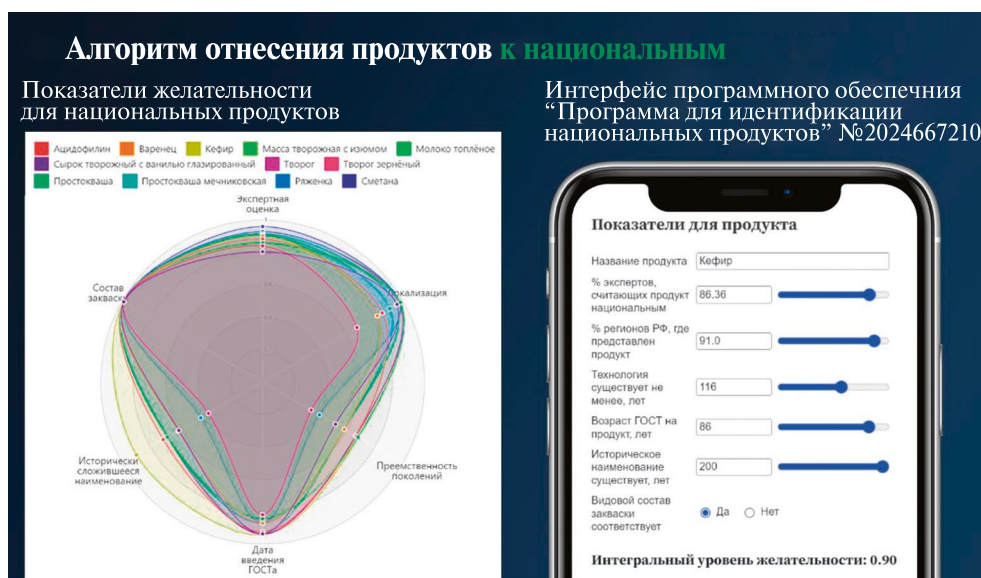


Рис. 4. Методологические приёмы защиты национальных продуктов

их базовых матриц с многоуровневыми критериями идентификации принадлежности и качества. К настоящему времени во ВНИМИ разработан стандарт системы идентификации национальных молочных продуктов и создаются банки данных, которые позволят сохранить культурный код страны в этой области (рис. 4) [28]. Параллельно разрабатываются системы *цифровых идентификационных профилей* пищевых продуктов [24]. Нарбатывается массив данных, который позволит оптимизировать систему мониторинга качества и безопасности пищевых продуктов, не только производимых в России, но и импортируемых, в том числе сложного состава [26].

Так или иначе, развитие пищевых биотехнологий — это риск негативного воздействия на здоровье населения, что априори предполагает серьёзные междисциплинарные исследования и создание государственных механизмов контроля. В то же время широкомасштабная интеграция киберфизических систем в частные процессы, опосредованное формирование новых форматов технологий можно рассматривать как наступившее будущее, которое видоизменяет пищевые тенденции и создаёт абсолютно новую реальность и новые риски.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee E.A. Cyber Physical Systems: Design Challenges. 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). 2008, pp. 363–369. DOI: 10.1109/ISORC.2008.25
2. Rajkumar R., Lee I., Sha L. & Stankovic J. Cyber-physical systems: The next computing revolution. In Proceedings of the 47th Design Automation Conference 2010, pp. 731–736. DOI: 10.1145/1837274.1837461
3. United Nations. World Population Prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/development/desa/pd/news/world-population-prospects-2019-0>
4. Godfray H.C., Beddington J.R., Crute I.R. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people // Science. 2010, Feb. 12, 327(5967):812-8. DOI: 10.1126/science.1185383
5. Taleb N.N. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. New York: Random House, 2007.
6. Sterman J. Business Dynamics: Systems thinking and modelling for a complex world. New York: Irwin McGraw-Hill, 2000.
7. FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/67b1e9c7-1a7f-4dc6-a19e-f6472a4ea83a/content>
8. Rockström J., Steffen W., Noone K. et al. A safe operating space for humanity // Nature. 2009, vol. 461, pp. 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
9. Brynjolfsson E., McAfee A. The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. New York: W.W. Norton & Co., 2014.
10. Marchant G., Wallach W. Governing the governance of emerging technologies // In: Innovative Governance Models for Emerging Technologies. London: Edward Elgar Publishing Ltd., 2013. Pp. 136–152. <https://doi.org/10.4337/9781782545644.00013>
11. https://ru.wikipedia.org/wiki/Поколение_Альфа

12. *Bostrom N., Yudkowsky E.* (2014). The Ethics of Artificial Intelligence // In: K. Frankish, & W.M. Ramsey (Eds.). The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence. Cambridge University Press. Pp. 316–334. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139046855.020>
13. *Chengyan Xu, Siegrist M., Hartmann Ch.* The application of virtual reality in food consumer behavior research: A systematic review // Trends in Food Science & Technology. 2012, vol. 116, pp. 533–544. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.015>
14. *O'Neil C.* Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy. New York: Crown Publishers, 2016.
15. *Mystakidis S.* Metaverse. Encyclopedia, 2(1). 2022. 486–497. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031>
16. Smart Food Industry: The Blockchain for Food and Agriculture. Elsevier, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003231059>
17. *Mavani N.R., Ali J.M., Othman S. et al.* Application of Artificial Intelligence in Food Industry: A Guide-line // Food Eng. Rev. 2022, no. 14, pp. 134–175. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09290-z>
18. *McClements D.J.* Future Foods: How Modern Science Is Transforming the Way We Eat. 1st ed. Copernicus: Cham, Switzerland, 2019.
19. *Chan D. L.-K. et al.* Technical, commercial, and regulatory challenges of cellular agriculture for seafood production // Trends Food Sci. Technol. 2024, no.144, 104341. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104341
20. *Zeevi D. et al.* (2015) Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses // Cell. 2015, no. 163(5), pp. 1079–1094. DOI: 10.1016/j.cell.2015.11.001
21. *Bush C.L. et al.* Advances in Genetic and Wearable Sensor Technology in Personalized Nutrition // Genes. 2020, no. 11(3), 263. DOI: 10.3390/genes11030263
22. Официальный сайт национальной системы маркировки и прослеживаемости продукции “Честный знак”. <https://markirovka.ru>
23. *Newell S., Marabelli M.* Strategic opportunities (and challenges) of algorithmic decision-making: A call for action on the long-term societal effects of ‘datification’ // The Journal of Strategic Information Systems. 2015, no. 24(1), pp. 3–14. DOI: 10.1016/j.jsis.2015.02.001
24. *Галстян А.Г., Аксёнова Л.М., Лисицын А.Б. и др.* Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов // Вестник Российской академии наук. 2019. № 5. С. 539–542.
Galstyan A.G., Aksenova L.M., Lisitsyn A.B. et al. Modern approaches to storage and efficient processing of agricultural products to obtain high-quality food products // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019, no. 5, pp. 539–542.
25. <https://dealroom.co/blog/the-state-of-european-food-tech-2018>
26. *Семипятный В.К.* Принципы метааналитической декомпозиции при формировании цифровых идентификационных профилей пищевых систем. Дисс. на соискание учёной степени доктора технических наук. М.: Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, 2022.
Semipyatny V.K. Principles of meta-analytic decomposition in the emergence of digital food system profiles. Diss. for a doctorate degree in technical sciences. M.: Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbato, 2022.
27. *Агаркова Е.Ю.* Разработка комплексной стратегии трансформации вторичного молочного сырья для реализации новых биотехнологических решений в молочной промышленности. Дисс. на соискание учёной степени доктора технических наук. М.: Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, 2023.
Agarkova E.Yu. Development of a comprehensive strategy for the transformation of secondary dairy raw materials for the implementation of new biotechnological solutions in the dairy industry. Diss. for the degree of Doctor of Technical Sciences. M.: Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbato, 2023.
28. WHO official website. <https://www.who.int/ru>

CYBER-PHYSICAL COMRONENTS OF FOOD META-ENGINEERING

A.G. Galstyan^{a,*}, A.N. Petrov^{a,}, E.A. Yurova^{a,***}, Z.S. Zobkova^{a,****},
N.S. Pryanichnikova^{a,*****}, S.A. Filchakova^{a,*****}**

^aAll-Russian Research Institute of Dairy Industry, Moscow, Russia

**E-mail: a_galstyan@vnimi.org*

***E-mail: a_petrov@vnimi.org*

****E-mail: e_yurova@vnimi.org*

*****E-mail: z_zobkova@vnimi.org*

******E-mail: n_pryanichnikova@vnimi.org*

******E-mail: s_filchakova@vnimi.org*

In the modern world, the problem of providing the population with high-quality food products is becoming increasingly important. This is due to a number of factors, such as the growth of the Earth's population, globalization, which introduces significant changes in the usual models and structure of nutrition, insufficient efficiency of traditional technologies for processing agricultural products, etc. An important element in solving the problem is the use of cyber-physical systems (CPS), which are the integration of computing, physical and network components into private processes and system technologies. In the food industry, CPS are used in the management of production lines, product quality control, logistics, predictive models of demand, and contribute to the personalization of nutrition. In the future, the development of CPS and artificial intelligence technologies can lead to the creation of fully autonomous food production, where robot-assisted technologies will manage all processes - from growing raw materials to delivering finished products.

Keywords: food, cyber-physical systems, biotechnology, digital and robot-assisted technologies, 3D printing.