

Перспективы развития безотходных технологий на основе растительного сырья и молочной сыворотки

А. Л. Майтаков^{1,*}, А. А. Сарафанов²



¹ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова»,
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1

Дата поступления в редакцию: 06.04.2020

Дата принятия в печать: 29.05.2020

*e-mail: may585417@mail.ru



© А. Л. Майтаков, А. А. Сарафанов, 2020

Аннотация.

Введение. Согласно данным, опубликованным компанией Lighthouse, предприятия России потребляют на 40–220 % больше энергии на производство по сравнению с аналогичными предприятиями развитых стран. В этой связи актуальной задачей является поиск пути совершенствования технологического уровня производства страны в целом. Статья посвящена особенностям проектирования многоассортиментных малотоннажных сложных пищевых технологических систем, проектируемых в агропромышленном комплексе (АПК).

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования мы приняли пищевую технологию системного комплекса. Эта система открытого типа, т. е. на нее могут оказывать влияние извне. Поэтому необходимо рассматривать всю цепочку производства совместно: от получения сырья с заданными показателями качества до производства готовой продукции, удовлетворяющей заданным параметрам.

Результаты и их обсуждение. Сведены воедино сведения о самоорганизации технологических систем и их основные характеристики: открытость, нелинейность и нестабильность. Изложены принципы проектирования таких комплексов в АПК и диалектика усиления соединенных в комплекс технологий. Обоснована необходимость индустриализации сельскохозяйственных технологий как диалектическая неизбежность создания промышленных агрокомплексов, реализующих новый этап инновационной революции в АПК. Сформулированы основные положения парадигмы развития технологий агропромышленного комплекса. Предложено принять прогнозирование тенденций и перспектив развития исследований на основе данных об их текущем состоянии с учетом глубины прогноза как основной способ выявления приоритетов.

Выводы. Сделано заключение о первоочередных шагах в реализации инженерии сложных технологических систем в научно-исследовательских организациях и вузах.

Ключевые слова. Технология, система, самоорганизация, модуль, уклад

Для цитирования: Майтаков, А. Л. Перспективы развития безотходных технологий на основе растительного сырья и молочной сыворотки / А. Л. Майтаков, А. А. Сарафанов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 2. – С. 261–272. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-261-272>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

Plant- and Whey-Based Sustainable Technology: Development Potential

A.L. Maytakov^{1,*}, A.A. Sarafanov²

¹ Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

² Lomonosov Moscow State University,
1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

Received: April 06, 2020

Accepted: May 29, 2020

*e-mail: may585417@mail.ru



© A.L. Maytakov, A.A. Sarafanov, 2020

Abstract.

Introduction. According to the Lighthouse research company, energy consumption in Russian industry exceeds the level of similar enterprises in other countries by 40–220%. In this regard, the urgent task is to find ways to improve the technological level of production in the country. The article features multi-assortment low-tonnage complex food technological in agriculture.

Study objects and methods. Industrial agro-complexes that implement agricultural production technologies, storage, and processing technologies can solve the problem of food security in Russia. The research focused on food technology of open-type system complexes. To design such complexes, one has to pay attention to the entire production chain, from production of raw materials with programmed quality indicators to finished products that meet particular requirements.

Results and discussion. The study summarized various data on the conditions of self-organization of system technological complexes and their main characteristics, e.g. openness, nonlinearity, instability, etc. The article describes the principles that underlie such complexes in agrifood industry, as well as the dialectic character of the synergy of several technologies united into one complex. The authors believe that agricultural industrialization is inevitable as industrial agro-complexes implement a new stage of the innovation revolution in agriculture. Therefore, priorities in agricultural development should be based on forecasts that rely on the current data and take into account the projection horizon.

Conclusion. Research organizations and universities should implement complex technological systems.

Keywords. Technology, system, self-organization, module, way

For citation: Maytakov AL, Sarafanov AA Plant- and Whey-Based Sustainable Technology: Development Potential. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(2):261–272. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-261-272>.

Введение

Технология из области чисто производственной прочно интегрировалась в сферу научную и стала предметом самостоятельных теоретических исследований. В реальных условиях взаимодействия трех систем (технологической, внешней сырьевой и внешней потребительской) предопределяет качество выпускаемой продукции. Рассмотрение их в комплексе друг с другом и с учетом информации об их совместной сущности дает возможность перевести производство на совершенно новый технический уровень. Без познания сути явлений нельзя создать новое целое [1, 17].

Диалектическое развитие пищевых технологий до настоящего времени не было предметом исследования. Решались задачи совершенствования технологий, оборудования, средств управления и автоматизации, разрешалось каждый раз какое-либо внутреннее противоречие технологии. Например, взаимосвязь «производительность – качество». С древних времен философы дискутируют о взаимоотношениях количества и качества. Сегодня закон философии о перерастании количества в качество, гласящий о том, что сумма «системных смыслов» свойств подсистем не равна смыслу системы, стал догмой, не вызывающей сомнения. Так, например, в ядерной физике закон синергии выражен понятием «дефект массы» [2].

Основателем понятия синергетика Г. Хакеном отмечается, что «всякий этап эволюции связан с процессами самоорганизации, саморегуляции, самоструктурирования, самовоспроизведения сложных систем различной природы» [3]. Суть подхода заключается в том, что вводится понятие «параметр порядка», который описывает небольшое возможное число существенных типов движения подсистем, обладающих значительным числом степеней свободы. Подсистемы-модули входят

в сложноорганизованные системы и находятся в сложных взаимодействиях друг с другом. Все типы возможного движения-взаимодействия процессоров в подсистемах оказываются «подчиненными» (принцип подчинения) и могут быть выражены через параметры порядка при помощи иерархии упрощенных моделей как систем процессов, так и самих процессов, включающих небольшое число наиболее существенных степеней свободы [4].

Рассмотрим эволюционное развитие организаций различных пищевых технологий (технологий муки, хлеба, кондитерских изделий, вина, водки, сахара, растительного масла, колбасных изделий и копченостей, молока и молочных продуктов и др.) от прошлого до современных пищевых технологий и постараемся заглянуть вперед. Как они могут быть организованы и что собой будут представлять эти технологии в будущем? Это нужно для того, чтобы сознательно начать движение вперед к высокоорганизованным технологиям, не требующим активного участия человека.

Уже сегодня мы имеем пример высокоразвитых автоматизированных и роботизированных предприятий, на которых участие человека в формировании продукта сведено до минимума. В этих условиях технолог выполняет совершенно другие функции. Первоочередная роль отводится роботам, машинам, аппаратам, компьютерной технике и специалистам, которые их обслуживают. Появляются совершенно новые требования к индивидуальной подготовке специалистов для таких производств. На таких предприятиях нет проблем с качеством сырья (большие объемы производства заставляют поставщиков из-за конкуренции на рынке бороться за потребителя), стабильность качества обеспечивается стабильностью технологических параметров производства, человеческий фактор в формировании качества сведен до минимума.

Имеются и другие предприятия, на которых качество формируется во взаимодействии систем производства. Это сырьевые (аграрная, животноводческая и т. п.), технологические и маркетинговые предприятия. Также создаются новые системы. Например, аграрно-технологическо-маркетинговые (сетевые кампании), птицеводческо-технологические и т. п.

С формальной точки зрения решение проблемы любого производства, в том числе и пищевого, заключается в переводе системы из области суммативных систем в целостную.

Это можно осуществить структурным упрощением технологии или стабилизацией процессов. Причем упрощение технологии производства возможно за счет изменения, например, аграрной технологии.

В качестве примера может быть использовано внесение минеральных комплексов совместно с бактериями, переводящими их в водорастворимую форму, вместе с семенами в подкормку растений. Насыщение микроэлементами позволяет обеспечить растения новыми свойствами, не присущими им ранее. Обеспечение синергического взаимодействия их с другими компонентами растения позволяет обойти «прозрачность» организма человека в усваивании этих минеральных составляющих. Большое распространение получают технологии выращивания плодов, ягод, грибов и овощей с заданными показателями качества на физиорастворах, а также микроклонального размножения высокопродуктивных сортов [4].

Вхождение технологического потока производства любого продукта в область высокоорганизованных систем требует роботизации как модулей производственных процессов, так и всего процесса в целом. Это приведет организацию технологии к идеальному состоянию, обеспечивающему минимальную энтропию состояния технологической системы при данных допусках на параметры технологических свойств полуфабрикатов.

В цепи управления для самоорганизующихся систем машинных технологий (автоматизированные и автоматические линии), в которые включен человек, управляющей подсистемой может быть механическое, электронное или другое техническое устройство. В механизированных линиях управляющая подсистема – человек. Развивающей подсистемой может быть как человек, так и техническое устройство, имеющее тезаурус, т. е. полное программное обеспечение и систематизированный банк данных, позволяющий роботизированной системе в нем ориентироваться, в том числе отличать объекты внешнего мира и действовать самостоятельно (роботы третьего поколения). Это подводит нас к мысли, что проблема повышения уровня организации связана с развитием

и созданием технологических систем следующих поколений [5, 6, 17, 20].

Цель статьи – проанализировать, обобщить научные достижения и разработки по интегрированному проектированию энерго- и ресурсосберегающих гибких технологий и спрогнозировать инженерные и научные особенности проектирования комплексов, в том числе для получения напитков на основе растительного сырья и молочной сыворотки, в результате системного информационного обеспечения технологий, раскрывающих сущности явлений, процессов, состояний сырья и полуфабрикатов с учетом физико-химических, механо-химических, биофизических, биохимических закономерностей и нечетких причинно-следственных связей.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования мы приняли пищевую технологию системного комплекса. Эта система открытого типа, т. е. на нее могут оказывать влияние извне. Так воздействие внешней среды приводит к тому, что в конечном итоге какие-то параметры конечной продукции получают отклонения от заданных, что является недопустимым. Согласно [7] отклонение параметров процессов за пределы допусков служит стимулом их возвращения в допуск. Это отклонение можно не допустить за счет профилактики его на дальних подступах к предприятию по переработке и к пищевым технологиям, т. е. при производстве сельскохозяйственной продукции. Это включает не только растительный мир, но и производство сырья животного происхождения. Поэтому необходимо рассматривать всю цепочку производства совместно: от получения сырья с заданными показателями качества до производства готовой продукции, удовлетворяющей заданным параметрам.

Результаты и их обсуждение

Комплекс систем, позволяющий в графическом виде представить структуру взаимодействия всей цепочки технологического потока от входного параметра до конечного продукта, представлен на рисунке 1 [8].

Такая интегрированная во времени и в пространстве аграрно-пищевая технология не является простым изменением масштаба. Это новый качественный уровень производства, когда происходит объединение технологий производства сельскохозяйственной продукции с технологиями ее переработки в готовый товар. Такая сквозная технология позволяет существенно повысить целостность всей технологической системы.

При этом нужно учитывать скачкообразность революционных и эволюционных периодов в диалектике пищевой технологии, включающих в

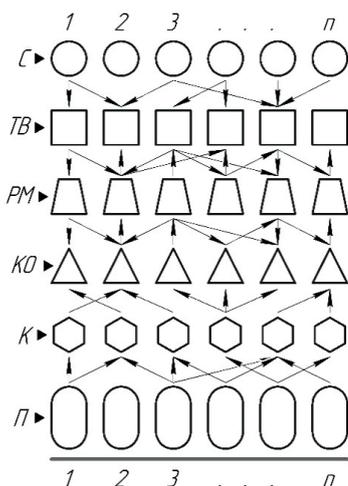


Рисунок 1. Принцип взаимодействия систем: среда – технологическое воздействие – операторы (TB – технологические воздействия; PM – операторы технологической операции; C – среда; KO – комплект оборудования; K – компоненты технологического потока; П – аппаратное оформление процесса; n – признаки элементов систем)

Figure 1. Principle of mutual interaction between systems: environment – technological impact – operators (TB – technological impacts; PM – operators of the technological operation; C – environment; KO – a set of equipment; K – components of the process stream; П – hardware design process; n – signs of system elements)

себя как развитие агропромышленного комплекса, так и развитие культуры и приоритетов в питании. Последнее связано с урбанизацией населения, рекламой, увеличением ассортимента товаров, изменением климата, характером работы, медицинскими показаниями и т. п. Анализ пищевых производств и технологий дает возможность произвести классификацию методов и процессов, используемых при изготовлении того или иного продукта, оценить его ассортимент, показатели качества продукта, производительность и объем производства.

На основании исследований производительности оборудования должны быть созданы математические модели, позволяющие оценивать их взаимосвязь с системной технологией. Это позволит моделировать как аппаратуру, так и технологию, и создать модернизированные операторные модели подсистем формирования продукта. Таким образом, могут быть созданы предпосылки для создания роботизированных машин и аппаратуры будущего, позволяющие регулировать физико-химические процессы на всех стадиях образования готового продукта.

Пищевые предприятия среднего бизнеса – это малотоннажные многоассортиментные предприятия, имеющие свою специфику. В тех случаях, когда необходим синтез системы универсального

технологического потока для малых предприятий, приближенных к производителю сельхозсырья, рационально преобладание многофункционального оборудования, дающего возможность, после незначительных переналадок, перерабатывать различные виды сельскохозяйственной продукции. При этом степень загруженности оборудования должна быть высокой. В задачи синтеза малотоннажного многоассортиментного производства входит определение ее структуры, подбор технологической схемы и рациональное (с экономической точки зрения) машинно-аппаратурное оформление. Синтез систем малых перерабатывающих сельскохозяйственных предприятий является структурно-параметрическим и не может проводиться без анализа сущности процессов, технологий, состояния сырья и полуфабрикатов на всех стадиях технологического потока с учетом физико-химических, биофизических и биохимических закономерностей, а также нечетких причинно-следственных связей между модулями [9].

При этом целесообразно построить технологические подсистемы в виде индивидуальных и совмещенных технологических блоков. Технологический поток может быть сформирован по принципу блочно-модульного компонования подобных технологических процессов и оборудования. Структурный синтез такого технологического потока невозможен без оптимальной декомпозиции технологических процессов по критерию аппаратурно-машинной аналогии технологических этапов. Это предполагает широкое использование унификации, позволяющей значительно сократить затраты и сроки на освоение новой техники. Оптимизация многоассортиментного малотоннажного потока происходит на этапе параметрического синтеза по пути от системы процессов к системе аппаратов и машин. Эффективность такой гибкой технологической системы определяется качеством проектирования технологического процесса, который должен обеспечивать большую вероятность правильного ее функционирования даже при воздействии неблагоприятных факторов, вызванных преобладанием в ней (до 90 % всего оборудования) аппаратов периодического действия.

Процесс конструирования технологического потока выполняется полным перебором вариантов в ограниченном типом производства множестве. Процедуру синтеза технологического потока начинают с системно информационного обеспечения технологий, которое моделируется с помощью операторных моделей, являющихся графическим изображением системы процессов. Элементарная база операторных моделей более консервативна и это позволяет строить типовые функционально-структурные модели.

Технологический поток, организованный в периодическом варианте, состоит из отдельных осуществляемых последовательно технологических стадий. Подсистемы его функционируют в соответствии с определенной технологией и схемой. Поэтому оптимизация технологического потока периодического действия означает одновременную оптимизацию расписания работы подсистем и объемы емкостей резервирования продукции на каждой стадии.

Первым этапом создания сложной вновь создаваемой системы на стадии проектирования производства любой группы продуктов является выбор базовой технологической схемы, которая включает в себя все используемые подсистемы для всей гаммы выпускаемых продуктов. Дезинтеграция технологического потока на индивидуальные и совмещенные периодического типа подсистемы позволяет универсализировать производство. При этом необходимо обеспечить реальную совместимость технологических процессов, реализуемых на индивидуальных и совмещенных схемах. Например, измельчение шрота, крахмала и сахара можно производить без дополнительной межоперационной обработки оборудования. При выпаривании сока свеклы и сока яблока между ними требуется мойка и обработка выжимного пресса, выпарного аппарата и другого сопутствующего ему оборудования и емкостей [10].

Модульная организация системы процессов технологии в периодическом варианте допускает значительный разброс технологических параметров в каждой подсистеме, входящей в различные технологические схемы, в которых каждая стадия процесса обладает относительной

самостоятельностью. Для определения сходства технологических потоков различных производств устанавливают на основе образного моделирования сходство составляющих их технологических подсистем, переходя к их рассмотрению с точки зрения системы процессов. Рассмотрим формирование технологического потока на примере агломерирования полидисперсных многокомпонентных структур (табл. 1), таких как гранулы, брикеты и т. п.

Для получения качественного продукта с заданными показателями качества необходимо четкое соблюдение режимных параметров, а также соответствие исходных свойств сырья заданным значениям. Данные воздействия на исходное сырье с целью получения качественного готового продукта может быть представлено следующим выражением:

$$\bar{S}(R, \sigma, \alpha, \beta, \gamma) \cdot \bar{V} = \bar{K} \cdot a \quad (1)$$

где R, β – обобщенные органолептические показатели качества (данные показатели также включают микробиологическую составляющую готового продукта);

\bar{S} – вектор-функция, описывающая распределение показателей качества;

σ – обобщенный показатель межпроцессовых или межмодульных связей;

α – показатель, характеризующий обобщенные физические, химические, физико-химические или иные свойства производимого продукта;

γ – показатель связи внутри производимого продукта (структурообразующие, заполняющие и т. д.) (табл. 1) [11];

\bar{V} – вектор условий эксплуатации или использования;

Таблица 1. Классификация дисперсных систем

Table 1. Classification of disperse systems

Признаки дисперсной структуры	Тип структуры дисперсной системы			
	Форма частиц	Изометрическая структура		Анизометрическая структура
	Шарообразная $v = 1$		Пластинчатая $v \ll 1$	Игольчатая $v \gg 1$
Размер частиц	Монодисперсная структура $\psi_1 = \psi_2 = \psi_3 = 1$			
	Полидисперсная структура $\psi_1 \neq 1, \psi_2 \neq 1, \psi_3 \neq 1$			
	Грубо-дисперсная $a > 10^{-3}$ см	Тонко-дисперсная $10^{-3} > a > 10^{-5}$ см	Коллоидная $10^{-5} > a > 10^{-7}$ см	Надмолекулярная $a < 10^{-7}$ см
	Частицы не участвуют в броуновском движении		Частицы участвуют в броуновском движении	
Расположение частиц в объеме	Изотропная структура		Ортотропная структура	Анизотропная структура
Плотность	Сильно разбавленная структура $0 < K_T < 0,25$	Рыхлая структура $0,25 < K_T < 0,50$	Плотная структура $0,50 < K_T < 0,75$	Очень плотная структура $0,75 < K_T < 1,00$
Агрегатное состояние	Структура I рода – частицы не взаимодействуют друг с другом		Структура II рода – частицы образуют агрегаты	Структура III рода – агрегаты образуют флоккулы
Изменчивость параметров	Стационарная (неразвивающаяся) структура		Развивающаяся структура	

a – множество методов, используемых в совокупном технологическом процессе формирования гранулы;

\bar{K} – вектор состояния.

Отсюда можно предложить алгоритм расчета комбинированных физико-химических и физико-механических методов на основе вектора внешнего воздействия (рис. 2).

Более подробно рассмотрим работу алгоритма, представленного на рисунке 2.

Подсистема 1 содержит исходные данные. В данной подсистеме выбирается исходное сырье из анализа требуемого конечного продукта и его структурно-механических и микробиологических параметров.

Подсистема 2 содержит математическое описание изменений структурно-механических и физико-химических свойств продукта на всей технологической линии. Данная подсистема характеризуется вектором \bar{S} . Подсистема состоит из четырех элементов: первый элемент описывает изменение геометрических и микробиологических параметров объекта в течении его производства; второй элемент характеризует изменение фазовых характеристик объекта; третий элемент описывает тепло- и массообменные процессы, протекающие в объекте; четвертый элемент описывает создаваемые напряжения.

Подсистема 3 включает в себя промежуточные технологические операции, обусловленные заданной рецептурой производства дисперсных систем, которые задаются вектором \bar{S} .

Подсистема 4 позволяет описать закономерности изменения структуры элемента при обобщенном воздействии на него заданных факторов.

Подсистема 5 включает в себя выходные параметры Z , которые включают в себя свойства

готовой продукции: структурно-механические, физико-химические и микробиологические.

Подсистема 6 включает в себя функцию проверки полученных параметров готовой продукции с заданными показателями. Данная величина характеризуется вектором \bar{K} . Если значение заданного параметра выходит из поля допуска, то необходимо изменить вектор \bar{K} .

В подсистеме 7, в зависимости от конкретного метода, происходит разделение вектора \bar{K} на составные элементы, которые должны быть структурированы в пространстве и времени.

Подсистема 8 применяет значения каждого конкретного вектора K_i в управление параметрами конкретного технологического процесса.

Подсистема 9 необходима для изменения \bar{K} с помощью градиентного метода с целью достижения необходимых свойств продукта.

Подсистема 10 связывает между собой параметры структуры гранулы \bar{S} с вектором внешнего воздействия \bar{K} . Это сравнение происходит на основании изначально полученных эмпирическим путем необходимых коэффициентов.

Подсистема 11, как и подсистема 10, позволяет производить сравнительный анализ \bar{S} с вектором \bar{Z} . Данная подсистема позволяет использовать приближенные зависимости, представляющие из себя критерии технологического воздействия в теоретических расчетах, для разработки системы технологического потока.

Подсистема 12 включает в себя функцию проверки полученных параметров.

В подсистемах 13 и 14 используются параметры модельного продукта (в нашем случае гранулированного или брикетированного).

Задача формирования продукта с заданными параметрами качества сводится к определению влияния внешних воздействий при их взаимодействии с потоками, которые и формируют векторное состояние технологического потока. Согласно

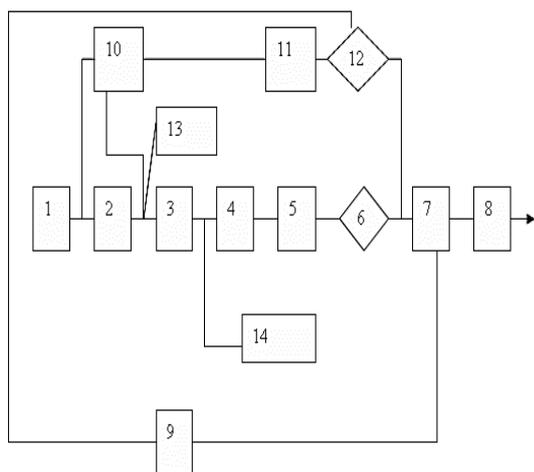


Рисунок 2. Алгоритм расчета комбинированного физико-химического и физико-механического метода

Figure 2. Algorithm for combined physicochemical and physicomechanical method

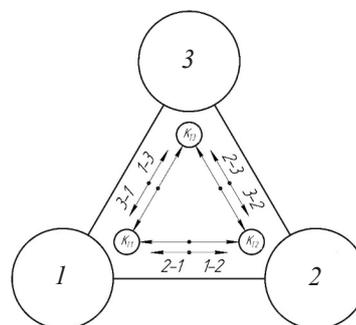


Рисунок 3. Общая схема возможных взаимопревращений:

1 – коагуляционная структура; 2 – конденсационная структура; 3 – кристаллизационная структура

Figure 3. General scheme of possible interconversions: 1 – coagulation structure; 2 – condensation structure; 3 – crystallization structure

Таблица 2. Возможные взаимопревращения структур

Table 2. Possible structural interconversions

Тип перехода	Система, вещество	Условия перехода	Уровень изменения объемной концентрации твердой фазы
1→2	Гранула, брикет (Т-Ж-Г)	Формообразование	$K_{T1} > 0,4; K_{T2} < 0,8$
2→1	Гранула, брикет (Т-Ж-Г)	Увлажнение, нагрев	$K_T \approx 0,4-0,7$
2→3	(Т-Г)	Сушка	$K_{T3} \approx 0,85-1$
3→2	$\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	Полиморфный переход $\beta\text{-C}_2\text{S}\rightarrow\gamma\text{-C}_2\text{S}$	$K_{T3} = 1; K_{T2} \approx 0,9$
3→1	Парафин, кристаллогидраты	Нагревание	$K_{T3} = 1; K_{T1} \approx 0,95$
1→3	Парафин, кристаллогидраты	Охлаждение	
2←1→3	Концентрированная сыворотка	Нагрев-охлаждение	$K_{T1} > 0,4; K_{T3} = 0,8-0,9$
1←2→3	Водосолевые системы	В зависимости от начального агрегатного состояния и количества введенной воды	
2←3→1	Водосолевые системы		

данному методу математическая модель должна описывать параметры вектора, характеризующие параметры структуры полидисперсного продукта. Анализ формуемости дисперсных систем сводится к определению фазовых изменений в условиях энергетического баланса и перераспределения энергии (рис. 3, табл. 2). Эти зависимости являются составной частью подсистемы 2 (рис. 2) [12].

Формуемость полидисперсных систем сводится к рассмотрению распределения трех составляющих величин, а именно твердое (K_T) – жидкое (K_J) – газообразное (K_G). Сумма коэффициентов равна 1. Формирование структур описывается обобщенными уравнениями, включающими режимные и энергетические параметры процесса.

Для каждого исходного сырья применимы свои методы гранулирования, т. к. от их свойств зависит какие энергетические характеристики процесса будут необходимы в процессе агломерирования. При выборе способа гранулирования, как и других систем машинно-аппаратурного оформления процессов, необходимо произвести анализ трех составляющих: применимости данного аппаратного оформления; заданных показателей качества; технико-экономического обоснования. В конечном итоге только эффективное производство может быть достаточно конкурентоспособным [13]. Для определения критерия применимости того или иного способа гранулирования используют выражение:

$$K_m = f(M_d; \Phi_d; D_d; I_d; H_d; \sum_{i=1}^m T_i) \quad (2)$$

где M_d – материал;

Φ_d, D_d – форма и диаметр гранулы;

I_d – влажность гранул; H_d – режимно-конструкционные параметры;

$\sum_{i=1}^m T_i$ — совокупность технологических особенностей данного способа.

Для определения тех или иных параметров необходимо задаться коэффициентом качества, который можно рассчитать по формуле:

$$K_d = K_I \cdot K_B \cdot K_C \quad (3)$$

где K_I, K_B, K_C – коэффициенты, которые описывают качество после выхода из смесителя, структурообразователя и сушки.

С целью определения эффективности производства необходимо провести структурный анализ между технико-экономическими и качественными показателями, который может быть выражен следующим образом:

$$C_B \geq K_d \cdot C_H \quad (4)$$

где C_B – стоимость варианта 1;

C_H – стоимость варианта 2.

Принцип дезинтеграции сложной системы по модулям дает возможность независимой их разработки, с последующей сборкой из них, в зависимости от цели и с учетом производительности и показателей качества, различных структур технологических потоков. Это позволяет представить в виде этапов процесс синтеза операторной модели любого производства:

- определить цель моделирования системы;
- задать признаки, характеризующие как саму систему, так и системообразующие элементы;
- сформировать иерархию системы.

При определении признаков создаваемой системы малотоннажного многоассортиментного производства и подсистем, составляющих ее, проводят предпроектный анализ методов формирования такого типа производств в смежных отраслях. Например, химическая и легкая промышленности [14, 15]. Это позволяет разработать их технологические схемы по аналогии с имеющимися прототипами. При наличии нескольких аналогов устанавливается критерий отбора (экономический, аппаратный, качественный и т. д.).

В этой связи чрезвычайно актуальной является проблема научно-технического прогнозирования, ориентированного на положения шестого

технологического уклада в АПК России, в научно-исследовательских организациях Отделения сельскохозяйственных наук РАН и вузах сельскохозяйственного и пищевого профилей, а также работ по научно-техническому прогнозированию технологий и техники. Научно-техническое прогнозирование заключается в поиске пути развития агропромышленного комплекса, где на основе научных изысканий строится техническая база. При этом перед научно-техническим прогнозированием стоят следующие задачи, требующие решения: разработка принципов, на которых будет базироваться новая технология с аппаратурным оформлением нового поколения; сравнительный анализ и поиск альтернатив разрабатываемых технологий; формирование параметрических рядов разрабатываемых линий; определение проблем как в техническом плане, так и в организационном, решение которых поможет в создании новых технологий производства.

Стоит отметить, что наиболее важную роль в поиске пути совершенствования технологий и техники играет определение приоритетных направлений. Поиск приоритетных направлений включает определение тенденций в перспективах данного направления, которые основываются на научно-технических изысканиях существующих технологий с учетом глубокого анализа и дальнейших прогнозов. Научно-техническое прогнозирование является вероятностной оценкой, которая рассматривает пути совершенствования технологий и, анализируя их между собой, делает заключение о перспективности тех или иных направлений.

Однако ранее намеченный путь развития может изменяться в зависимости от появления новых научных исследований, экономических составляющих или иных внешних факторов. Поэтому на практике применяют системы непрерывного прогнозирования. Данная система заключается в создании базы данных куда поступает информация о научно-техническом прогрессе, экономических предпосылках и т. д. Также в этой системе не обходится без специалистов, способных систематизировать и проводить глубокий анализ получаемых данных, на основе которого можно вводить определенные коррективы в дальнейшие пути развития технологий. Данный метод позволяет на ранних стадиях определить заведомо ложный путь развития технологий и техники [16]. Прогноз на развитие техники или технологии заключается в определении следующих элементов:

– определяется срок прогнозирования. Чем больше срок прогнозирования, тем меньше его точность, поскольку в процессе работы применяются коррективы на основе вновь поступающих данных, что невозможно предвидеть заранее и заложить на долгую перспективу;

– прогнозируется ситуация не только конкретной технологии, но и всей отрасли в целом, что позволяет увидеть всю картину перспективного развития и более точно установить приоритеты;

– прогнозируются качественные и количественные характеристики объекта. Данная оценка производится в числовой форме с целью появления возможности проведения сравнительного анализа вновь разрабатываемых технологий;

– устанавливается вероятностно-статистическая величина, позволяющая предварительно оценить возможность достижения указанной цели в приоритетном направлении в установленные сроки, указанные в первом элементе.

На данный момент существуют разные методы для проведения прогнозирования развития как отдельных единиц, так и линий и отраслей в целом. Все эти методы имеют свои преимущества и недостатки [17]. Непосредственно применимо к пищевой промышленности наиболее эффективным методом для совершения строения прогнозов развития является инженерное прогнозирование. Данный метод основывается на работах В. Г. Гмошинского и Г. И. Флиорента и позволяет производить анализ существующих технологий и техники, а также осуществлять сравнительную оценку с мировым уровнем [18, 19]. Инженерное прогнозирование позволяет охарактеризовать уровень развития техники и технологий как мировой, так и отдельного государства или области. В данном методе используется информация полученная из НИР и ОКР, которая может быть представлена научными статьями в периодических изданиях, монографиями, документами на интеллектуальную собственность, диссертационными работами и т. д. Далее производится анализ полученной информации, который позволяет осуществить перевод качественного описания того или иного объекта в количественную оценку. На ее основании можно производить прогнозирование развития техники и технологий, используя параметрическую и непараметрическую оценку. Данная методика является многовариантной, т. е. на инженерный прогноз влияет множество факторов, а именно экономическая обстановка как в отдельном государстве, так и мире в целом, потребности общества, темпы поступления новой информации о научных и технических исследованиях и разработках. Все эти параметры должны быть учтены при осуществлении прогноза развития техники и технологий. Данная методика основана на информации получаемой из различных источников. Следовательно, должна быть критериальная оценка, позволяющая выявлять весомость тех или иных исследований, их применимость на практике и т. д. Метод инженерного прогнозирования обладает достаточной надежностью, точностью и невысокой

Таблица 3. Макет Генеральной определительной таблицы

Table 3. Layout of the key table

Характеристика, i	Позиция, p	Оценка (балл), $j(i)$	Оценка с учетом весомости характеристики
i_1	p_1	1	$1\phi(i_1)$
	p_2	2	$2\phi(i_1)$
	p_3	3	$3\phi(i_1)$
	p_n	n	$n\phi(i_1)$
i_2	p_1	1	$1\phi(i_2)$
	p_2	2	$2\phi(i_2)$
	p_3	3	$3\phi(i_2)$
	p_n	n	$n\phi(i_2)$
i_n	p_1	1	$1\phi(i_n)$
	p_2	2	$2\phi(i_n)$
	p_3	3	$3\phi(i_n)$
	p_n	n	$n\phi(i_n)$

сложностью, что и приводит к его распространению в области прогнозирования агропромышленного комплекса.

Методика данного метода заключается в следующем. Изначально составляется генеральная определительная таблица (табл. 3), в которой указываются необходимые требования количественном значении для требуемой технологии.

После определения характеристик технологии или конкретной техники производится оценка каждой из характеристик с последующим вычислением весомости каждой из этих характеристик по следующему выражению:

$$\phi(i) = i/2^{i-1} \quad (5)$$

Например, для технологии, рассчитанной по пяти характеристикам, будут следующие значения весомости: [$\phi(i_1)= 1$; $\phi(i_2)= 1$; $\phi(i_3)= 0,75$; $\phi(i_4)= 0,50$; $\phi(i_5)= 0,31$]. Наиболее часто используемые в настоящее время характеристики для проведения оценки технологии в АПК следующие:

i_1 – способы переработки и получения готового продукта;

i_2 – применимость в той или иной технологии способов производства, обоснованных теоретически обоснованных методов;

i_3 – уровень внедрения мехатронных модулей в технологические линии, т. е. уровень механизации человеческого труда и применения электронных систем с целью автоматизации механических процессов;

i_4 – экологические условия производства и его опасность;

i_5 – лицензионно-конъюнктурный фактор.

Также в методе инженерного прогнозирования могут использоваться и другие характеристики. После прописывания генеральной определительной таблицы по пяти позициям производится определение количественной оценки уровня развития технологии

или другого исследуемого объекта по следующему выражению:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n \phi(i) \times j(i)}{n \sum_{i=1}^n \phi(i)} \quad (6)$$

Из выражения видно, что качественная оценка представляет собой соотношение суммы оценок всех характеристик исследуемого объекта к сумме максимально возможных оценок того же объекта. После этого можно произвести вывод об объекте. Количественная оценка выглядит следующим образом:

– при значении $K = 0,8 \div 1$ технология (или иной объект) будет считаться весьма перспективным;

– при значении $K = 0,6 \div 0,79$ технология считается перспективной;

– при значении $K = 0,4 \div 0,59$ технология считается малоперспективной;

– при значении $K = 0,2 \div 0,39$ технология считается не перспективной.

Рекомендации по реализации этого метода и примеры инженерного прогнозирования технологий, отдельных процессов, а также конструкций машин, аппаратов, биореакторов и поточных линий в целом приведены в [20].

Выводы

Шестой технологический уклад в АПК подразумевает внедрение новых прогрессивных технологий не только в сферу получения исходного сырья, но и в его переработку. На данном этапе развития появляется как в зарубежных, так и в отечественных источниках, информация о новых научно-технических разработках, позволяющих совершить переход к шестому укладу. Для совершенствования этого эволюционного действия необходимо четкое прогнозирование дальнейшего развития, которое может быть осуществлено, опираясь на научные изыскания в данной сфере. Это должно в конечном итоге снизить риски при переходе на более высокую ступень организации производства в АПК.

Выполнение таких изысканий, которые и составляют сущность научно-технического прогнозирования, есть работа, требующая высококвалифицированных исполнителей. Она должна быть обеспечена бюджетным финансированием. В противном случае мы останемся на обочине мирового научно-технического прогресса в производстве продуктов питания.

Критерии авторства

А. Л. Майтаков – руководство проектом.
А. А. Сарафанов – проведение исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.L. Maytakov supervised the project.
A.A. Sarafanov conducted the research.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Khramtsov, A. G. Paradigm of postgenomic conception on milk science lactomics formation / A. G. Khramtsov, S. A. Ryabtseva, P. G. Nesterenko // *Foods and Raw Materials*. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 14–22. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-14-22>.
2. Influence of spray nozzle aperture during high shear wet granulation on granule properties and its compression attributes / N. Veronica, H. P. Goh, C. Y. X. Kang [et al.] // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2018. – Vol. 553, № 1–2. – P. 474–482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.10.067>.
3. Майтаков, А. Л. Моделирование и многокритериальный синтез производства гранулированных пищевоконцентратов: монография / А. Л. Майтаков. – Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2017. – 223 с.
4. Wet-granulation process: phenomenological analysis and process parameters optimization / V. De Simone, D. Caccavo, G. Lamberti [et al.] // *Powder Technology*. – 2018. – Vol. 340. – P. 411–419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.053>.
5. Popov, A. M. Determination of dependence between thermophysical properties and structural-and-phase characteristics of moist materials / A. M. Popov, K. B. Plotnikov, D. V. Donya // *Foods and Raw Materials*. – 2017. – Vol. 5, № 1. – P. 137–143. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-137-143>.
6. Получение гранулированного активного угля из отходов растительного сырья / Е. А. Фарберова, Е. А. Тиньгаева, А. Д. Чучалина [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология*. – 2018. – Т. 61, № 3. – С. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.6060/tcct.20186103.5612>.
7. Оптимизация процесса гранулирования комбикормов для молодняка кроликов и оценка их эффективности / Е. С. Шенцова, Е. Е. Курчаева, А. В. Востроилов [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2018. – Т. 80, № 3 (77). – С. 176–184. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-176-184>.
8. Попов, А. М. Физико-химические основы технологии полидисперсных гранулированных продуктов питания / А. М. Попов. – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2002. – 324 с.
9. Крайнов, Ю. Е. Анализ рабочих камер, обеспечивающих термообработку и гранулирование отходов сельскохозяйственного сырья / Ю. Е. Крайнов, О. В. Михайлова, Н. К. Кириллов // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2018. – Т. 42, № 2. – С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-6-12>.
10. Пневмомеханические аппараты для микрогранулирования техногенных материалов / М. В. Севостьянов, Т. Н. Ильина, И. П. Бойчук [и др.] // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 452–460. DOI: <https://doi.org/10.17277/vestnik.2017.03.pp.452-460>.
11. Осокин, А. В. Разработка математической модели движения гранулируемого материала в фильерах плоскоматричного гранулятора / А. В. Осокин // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2018. – Т. 22, № 4 (135). – С. 43–61. DOI: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-43-61>.
12. Храмов, А. Г. Вторичные сырьевые ресурсы молочной промышленности и пути их рационального использования в условиях рыночной экономики / А. Г. Храмов // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 1999. – Т. 252–253, № 5–6. – С. 14–17.
13. The effects of sequential enzyme modifications on structural and physicochemical properties of sweet potato starch granules / L. Guo, H. Tao, B. Cui [et al.] // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 277. – P. 504–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.014>.
14. HPMC granules by wet granulation process: effect of vitamin load on physicochemical, mechanical and release properties / V. De Simone, A. Dalmoro, G. Lamberti [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2018. – Vol. 181. – P. 939–947. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.056>.
15. Обоснование технологических параметров производства и потребительские свойства новой формы специализированного напитка / А. Л. Майтаков, А. Ф. Шляпин, Н. В. Тихонова [и др.] // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. – 2017. – Т. 5, № 4. – С. 41–50. DOI: <https://doi.org/10.14529/food170406>.
16. Исследование процесса агломерации пылевидного галургического хлорида калия / М. В. Черепанова, Е. О. Кузина, В. З. Пойлов [и др.] // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2019. – Т. 330, № 4. – С. 68–77. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/4/197>.
17. Panfilov, V. A. Engineering of complex technological systems in the agroindustrial complex / V. A. Panfilov, S. P. Andreev // *Foods and Raw Materials*. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-23-29>.
18. Strategies to improve aerobic granular sludge stability and nitrogen removal based on feeding mode and substrate / Q. Yuan, H. Gong, H. Xi [et al.] // *Journal of Environmental Sciences*. – 2019. – Vol. 84. – P. 144–154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.04.006>.

19. Инновационное развитие техники пищевых технологий / С. Т. Антипов, А. В. Журавлев, Д. А. Казарцев [и др.]. – СПб. : Лань, 2016. – 660 с.
20. Панфилов, В. А. Диалектика системного развития технологий аграрно-промышленного комплекса / В. А. Панфилов // *Индустрия питания*. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 21–24.

References

1. Khramtsov AG, Ryabtseva SA, Nesterenko PG. Paradigm of postgenomic conception on milk science lactomics formation. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):14–22. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-14-22>.
2. Veronica N, Goh HP, Kang CYX, Liew CV, Heng PWS. Influence of spray nozzle aperture during high shear wet granulation on granule properties and its compression attributes. *International Journal of Pharmaceutics*. 2018;553(1–2):474–482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.10.067>.
3. Maytakov AL. Modelirovanie i mnogokriterial'nyy sintez proizvodstva granulirovannykh pishchekonsentratov: monografiya [Modeling and multicriteria synthesis of the production of granular food concentrates: monograph]. Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry; 2017. 223 p. (In Russ.).
4. De Simone V, Caccavo D, Lamberti G, d'Amore M, Barba AA. Wet-granulation process: phenomenological analysis and process parameters optimization. *Powder Technology*. 2018;340:411–419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.053>.
5. Popov AM, Plotnikov KB, Donya DV. Determination of dependence between thermophysical properties and structuraland-phase characteristics of moist materials. *Foods and Raw Materials*. 2017;5(1):137–143. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-137-143>.
6. Farberova EA, Tingaeva EA, Chuchalina AD, Kobeleva AR, Maximov AS. Obtaining granulated active carbon from wastes of vegetable raw materials. *Russian Journal of Chemistry and Chemical Technology*. 2018;61(3):51–57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.6060/tcct.20186103.5612>.
7. Shentsova ES, Kurchaeva EE, Vostroilov AV, Esaulova LA. Determination of technological parameters of the granulation of mixed fodders for young rabbits and the evaluation of their effectiveness. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018;80(3)(77):176–184. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-176-184>.
8. Popov AM. Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii polidispersnykh granulirovannykh produktov pitaniya [Modeling and multicriteria synthesis of the production of granular food concentrates: monograph]. Novosibirsk: Siberian University Publishing House; 2002. 324 p. (In Russ.).
9. Krainov YuE, Mikhailova OV, Kirillov NK. Analysis of working chambers which provide thermal treatment and waste granulation of agricultural raw materials. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;42(2):6–12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-6-12>.
10. Sevostyanov MV, Ilyina TN, Boichuk IP, Perelygin DN, Koshchukov AV, Emelyanov DA. Pneumatic mechanical equipment for microgranulation of manmade materials. *Transactions of the Tambov State Technical University*. 2017;23(3):452–460. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17277/vestnik.2017.03.pp.452-460>.
11. Osokin AV. Development of the mathematical model of granulated material movement in flat matrix granulator spinnerets. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2018;22(4)(135):43–61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-43-61>.
12. Khramtsov AG. Vtorichnye syr'evye resursy molochnoy promyshlennosti i puti ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya v usloviyakh rynochnoy ehkonomiki [Secondary raw materials of the dairy industry and their rational use in a market economy]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* [News of higher educational institutions. Food technology]. 1999;252–253(5–6):14–17. (In Russ.).
13. Guo L, Tao H, Cui B, Janaswamy S. The effects of sequential enzyme modifications on structural and physicochemical properties of sweet potato starch granules. *Food Chemistry*. 2019;277:504–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.014>.
14. De Simone V, Dalmoro A, Lamberti G, Caccavo D, d'Amore M, Barba AA. HPMC granules by wet granulation process: effect of vitamin load on physicochemical, mechanical and release properties. *Carbohydrate Polymers*. 2018;181:939–947. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.056>.
15. Maytakov AL, Shlyapin AF, Tihonova NV, Poznyakovskiy VM. Substantiation of technological parameters of production and consumer properties of a new form of specialized beverage. *Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2017;5(4):41–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14529/food170406>.
16. Cherepanova MV, Kuzina EO, Poylov VZ, Munin DA. Research of pulverized halurgic potassium chloride agglomeration. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(4):68–77. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1879/924131830/2019/4/197>.
17. Panfilov VA, Andreev SP. Engineering of complex technological systems in the agroindustrial complex. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):23–29. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-23-29>.
18. Yuan Q, Gong H, Xi H, Xu H, Jin Z, Ali N, et al. Strategies to improve aerobic granular sludge stability and nitrogen removal based on feeding mode and substrate. *Journal of Environmental Sciences*. 2019;84:144–154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.04.006>.

19. Antipov ST, Zhuravlev AV, Kazartsev DA, Mordasov AG, Ovsyannikov VYu, Panfilov VA, et al. Innovatsionnoe razvitiye tekhniki pishchevykh tekhnologiy [Innovative development of food technology]. St. Petersburg: Lan; 2016. 660 p. (In Russ.).

20. Panfilov VA. The dialectic of the systematic agribusiness industry technologies development. Food Industry. 2016;1(1):21–24. (In Russ.).

Сведения об авторах

Майтаков Анатолий Леонидович

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: may585417@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0714-204X>

Сарафанов Александр Александрович

канд. техн. наук, научный сотрудник НИЛ рекреационных исследований, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», 119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: alexsarafanov@mail.ru

Information about the authors

Anatolij L. Maytakov

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Automation of Production Processes and Automatic Control Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: may585417@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0714-204X>

Aleksandr A. Sarafanov

Cand.Sci.(Eng.), Research of the Research Laboratory of Recreational Studies, Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: alexsarafanov@mail.ru