2020 Т. 50 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-96-105
УДК 664:615.453.3
Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Совершенствование технологического потока линии производства инстантированного киселя

К. Б. Плотников*, А. М. Попов, И. Б. Плотников, Р. В. Крюк, С. Д. Руднев

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

**e-mail: k.b.plotnikov.rf@gmail.com*

Дата поступления в редакцию: 21.10.2019
Дата принятия в печать: 23.03.2020

© К. Б. Плотников, А. М. Попов, И. Б. Плотников, Р. В. Крюк, С. Д. Руднев, 2020

Аннотация.
Введение. Согласно прогнозу долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года Минэкономразвития РФ должен произойти переход экономики от экспортно-сырьевой к инновационному пути развития должен произойти переход экономики от экспортно-сырьевой к инновационному пути развития. Совершенствование производства продуктов связано с решением актуальных задач, таких как уменьшение себестоимости готовой продукции и увеличение его биологической ценности. Из-за занятости населению не всегда удается употреблять полностью сбалансированное питание. Поэтому разработка продуктов, которые содержат большое количество биологически важных для организма веществ, является важной задачей. Одним из таких продуктов являются инстант-напитки из растительного сырья.
Объекты и методы исследования. Уровень целостности технологической линии производства быстрорастворимых киселей напрямую связан с уровнем целостности каждой из подсистем. Основываясь на соответствии контролируемых параметров заданным значениям, можно произвести оценку уровня целостности всей системы. Наибольшее возмущение в стабильность всей системы вносит подсистема получения полуфабриката, что связано с нестабильностью процесса гранулирования. В результате снижается качество готового продукта.
Результаты и их обсуждение. После разработки нового аппаратурного оформления машинно-аппаратурной схемы производства инстантированного гранулированного продукта питания (ИГПП) была произведена повторная оценка уровня целостности всей технологической системы. Проведенный анализ технологии производства ИГПП с использованием системного подхода позволил определить уровень ее организации и повысить его из-за введения новой подсистсемы твердофазной механохимической активации картофельного крахмала и совершенствования процесса гранулирования.
Выводы. Стабильность подсистемы В возросла на 0,31, а системы на 0,56. Это напрямую связано с внедрением новых технологий гранулирования и изменением технологического потока производства инстантированных киселей.

Ключевые слова. Кисель, крахмал, гранулы, гранулирование, структурообразование, сегрегация, жимолость, система, окатывание

Для цитирования: Совершенствование технологического потока линии производства инстантированного киселя / К. Б. Плотников, А. М. Попов, И. Б. Плотников [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 96–105. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-96-105.

Original article
Available online at http://fptt.ru/eng

Improving the Line of Instant Starch Soft Drinks

K.B. Plotnikov*, A.M. Popov, I.B. Plotnikov, R.V. Kryuk, S.D. Rudnev

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

**e-mail: k.b.plotnikov.rf@gmail.com*

Received: October 10, 2019
Accepted: March 03, 2020

© K.B. Plotnikov, A.M. Popov, I.B. Plotnikov, R.V. Kryuk, S.D. Rudnev, 2020

Abstract.
Introduction. By 2030, Russia will have abandoned the export-dependent economy and moved on to the innovation-based development, as it is stated in the Long-Term Plan for Social and Economic Development of the Russian Federation issued by the Ministry of Economic Development. Improving the production of products reduces the cost of finished products and increases their

biological value. Working population often fails to maintain a balanced diet. Therefore, it is necessary to develop products that contain a large number of biologically active substances, e.g. instant drinks of plant origin.
Study objects and methods. The level of integrity of the technological production line for instant starch drinks depends on the level of integrity of each of its subsystems. By comparing the monitored parameters with the given values, one can assess the integrity level of the entire system. The subsystem that is responsible for the semi-finished product causes the greatest perturbation in the stability of the entire system. According to the theory of the technological flow proposed by Dr. V.A. Panfilov, this is subsystem B. The problem is associated with the instability of the granulation process, i.e. unstable particle size distribution in the finished product. The instability may occur due to the principle of operation and design features of dish-shaped granulators. As a result, the quality of the finished product decreases.
Results and discussion. The team developed a new hardware design of a machine-hardware scheme for the production of instantiated granular food products (IGPP). They conducted a repeated assessment of the integrity level of the entire technological system. The analysis of the production technology of IHPP employed a systematic approach, which made it possible to determine the level of its organization and increase it. The positive changes took place after the introduction of a new subsystem of the solid-state mechanochemical activation of potato starch. The activation changed the physical and mechanical properties of native starches, thus intensifying the process of structure formation. In addition, the integrity of the entire subsystem could be increased by changing the principle of structure formation of granules. A new granulator and a new operating principle made it possible to perform granulation by pelletizing in controlled segregated flows.
Conclusion. The stability of subsystem B increased by 0.31, while the stability of the whole system increased by 0.56. The success was directly related to the new granulation technologies and a change in the technological flow of production of instant starch drinks.

Keywords. Kissel (starch drink), starch, granules, granulation, structure formation, segregation, honeysuckle, system, pelletizing

For citation: Plotnikov KB, Popov AM, Plotnikov IB, Kryuk RV, Rudnev SD. Improving the Line of Instant Starch Soft Drinks. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):96–105. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-96-105.

Введение

В западной Сибири и Кузбассе существует огромное разнообразие ягодных культур, которые считаются «копилкой» витаминов, минералов и других биологически активных веществ. Ягодные культуры можно употреблять в виде готовых блюд, таких как национальные напитки. В настоящее время на рынке отсутствуют продукты, в том числе напитки, с использованием ягод жимолости (*Lonicera edulis*). Это является существенным упущением, т. к. именно в плодах жимолости содержится большое количество полезных микро- и макроэлементов. В плодах жимолости содержится 1 % кислот (при этом на аскорбиновую кислоту приходится порядка 50 мг%), 4,5 % сахаров, различные витамины (Р, B_1, B_2), провитамин А и другие необходимые для организма вещества. Регулярное потребление плодов жимолости существенно способствует понижению кровяного давления, а также положительно влияет на укрепление стенок сосудов. Употребление этих ягод может предотвратить отравление организма солями тяжелых металлов [1, 2].

Существующая на данном уровне развития конкуренция, сложившаяся на рынке пищевых продуктов, приводит к более широкому внедрению систем автоматизации и механизации процессов. Для большей конкурентоспособности необходимо комплексное решение задач, связанных с техническим прогрессом в технологии пищевой промышленности. Это заставляет сочетать совершенствование как машинно-аппаратурного оформления, так и коренного переустройства, интенсификацию технологических процессов на основе их детального изучения и поиск математического описания этих процессов. Быстрое развитие науки и установление закономерностей процессов позволило применить качественно новый подход к решению поставленных задач. В результате появились новые методики, основанные на научных фактах, а также аппаратурное оформление технологического процесса получения инстантированного гранулированного продукта питания (ИГПП) [3]. Одним из них является процесс придания сухой сыпучей смеси различных компонентов или влажной агломерированной дисперсной смеси одинаковую по размеру, плотности, пористости и прочности форму шарообразных гранул стабильного гранулометрического состава [3, 4].

Наибольшее распространение получили аппараты с внешним подводом энергии для обработки дисперсных систем, имеющих твердую фазу [5]. К данным процессам можно отнести: смешивание, разрыхление, транспортирование, диспергирование, уплотнение, т. е. процессы, в которых происходит активный массообмен, сопровождающийся изменением гранулометрического состава дисперсных систем и активным перераспределением массообменных фаз [6–9].

Наибольшую роль на процесс агломерирования полидисперсных систем различных материалов оказывают физико-химические факторы, благодаря которым происходит взаимодействие между фазами, сопровождающееся непрерывным разрушением и образованием трехмерных структур [10, 11].

На данный момент существует большое разнообразие способов и методов гранулирования, имеющих свои достоинства и недостатки [12, 13]. Метод гранулирования в псевдоожиженном слое позволяет проводить сразу несколько процессов

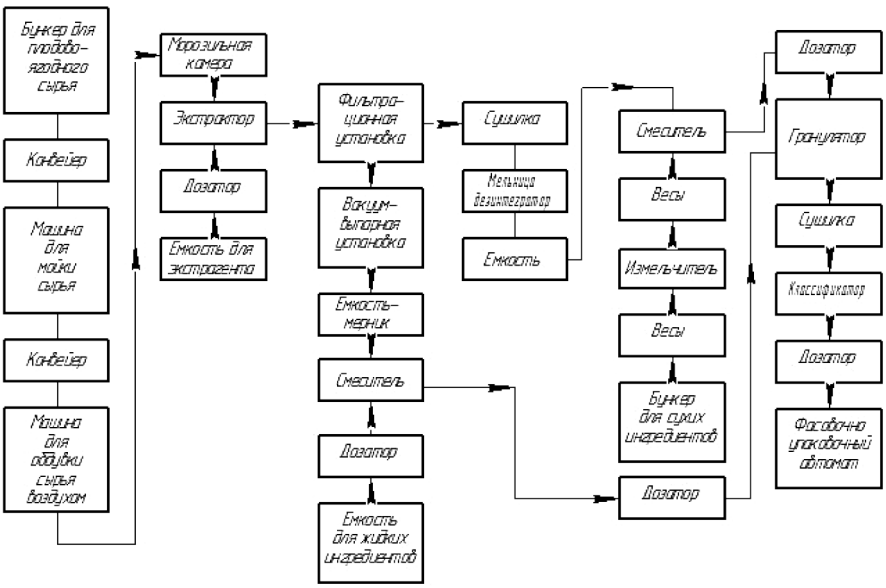

Рисунок 1. Структурная схема процессов производства инстант-продуктов из ягодного сырья на основе картофельного крахмала

Figure 1. Structural diagram of the production processes of instant starch berry drinks

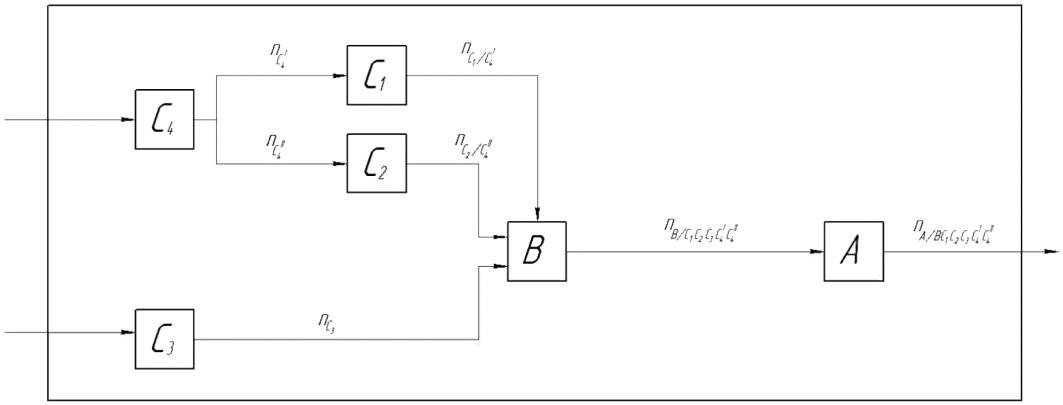

Рисунок 2. Расчетная схема производства инстант-продуктов из ягодного сырья на основе картофельного крахмала

Figure 2. Analytic model of the production processes of instant starch berry drinks

в одном аппарате, а именно гранулирование, классификацию и сушку, но наличие большого гидравлического сопротивления приводит к высоким удельным энергозатратам, а также к высокой себестоимости готовой продукции и неконкурентоспособности последней на рынке инстантированных продуктов. Данный способ нашел широкое применение в фармацевтической промышленности [14–17]. Метод прессования или экструзии позволяет получать гранулы стабильного гранулометрического состава, но он применим не ко всем пищевым продуктам. Во время процесса экструзии или прессования происходит дискретное повышение температуры в зоне выдавливания продукта через матрицу, что приводит к потере полезных термолабильных элементов и к снижению полезных свойств готового продукта. Метод гранулирования порошков в дисперсных системах нашел широкое применение в пищевой промышленности. Однако у него есть недостаток в виде большого количества несформированных гранул, нестабильности гранулометрического состава, а также большого уноса мелкодисперсной фракции с газовой фазой [18, 19]. Гранулирование окатыванием позволяет получать гранулы стабильного гранулометрического состава и правильной сферической формы. Но машины обладают большими габаритными размерами, малой производительностью и большим количеством не сформированных гранул, что влечет за собой

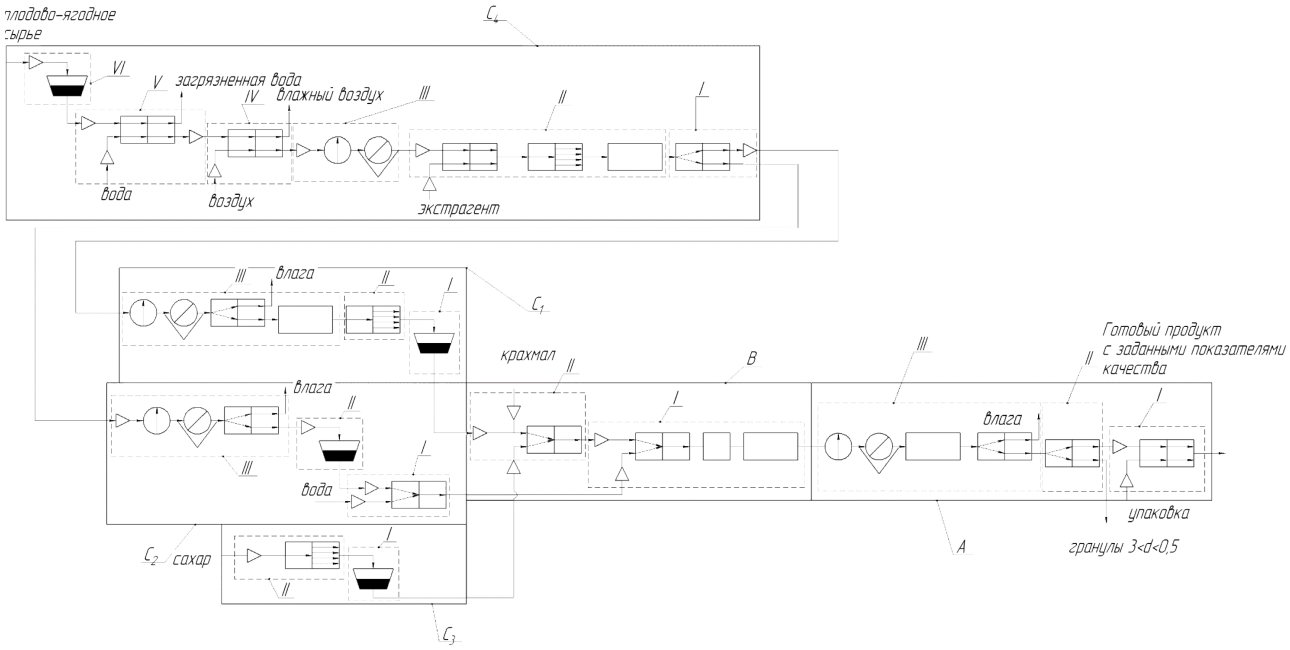

Рисунок 3. Операторная модель линии производства инстантированного киселя из ягодного сырья на основенативного картофельного крахмала

Figure 3. Operator model of the production line of instant berry drinks based on native potato starch

установку дополнительных единиц оборудования – классификаторов. В настоящее время в пищевой, фармацевтической, химической и смежных отраслях промышленности все чаще находят свое применение виброгрануляторы, т. к. их использование позволяет создать компактное и экономически обоснованное машинно-аппаратурное оформление процесса гранулирования.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что разработка нового аппаратурного оформления процесса гранулирования в вибрационном поле с применением механоактивации, а также его исследование представляется актуальной задачей.

Целью работы является совершенствование линии производства инстантированных напитков с точки зрения системного анализа и синтеза технологического потока, предлагаемого д.т.н. проф. В. А. Панфиловым.

Объекты и методы исследования

На рисунке 1 представлена структурная схема существующей линии (технологической системы) производства инстант-продукта на основе картофельного крахмала с добавлением плодово-ягодного сырья.

В результате анализа структурной схемы были составлены расчетная схема (рис. 2) и операторная модель (рис. 3) получения готового продукта.

Рассматриваемая расчетная схема производства инстант-напитков на основе ягодного сырья и нативного картофельного крахмала состоит из шести подсистем. Для получения подробной картины проходящих процессов, благодаря которым из исходного сырья получается готовый продукт, необходимо построить операторную модель:

А – подсистема получения гранулированного киселя из ягод жимолости и картофельного крахмала, подвергшегося твердофазной механической активации, содержащая операторы:

I – фасовка и упаковка гранул в тару;

II – классификация гранул по размеру;

III – сушка сформированных агломератов;

В – подсистема получения влажных гранул в БВГ, которые соответствуют заданным показателям, содержащая операторы:

I – структурообразование гранул;

II – смешивание сухих сыпучих рецептурных компонентов;

C_1 – подсистема получения сухого измельченного жома, содержащая операторы:

I – измельчение высушенного жома;

II – высушивание полученного жома;

C_2 – подсистема получения связующего раствора, содержащая операторы:

I – смешивание полученных жидких компонентов связующего раствора;

II – промежуточное хранение;

III – концентрирование;

C_3 – подсистема подготовки сухой сыпучей смеси, содержащая операторы:

I – измельчение;

II – хранение;

C_4 – подсистема получения жома и экстракта из ягод жимолости сырья, содержащая операторы:

I – фильтрация;
II – экстракция;
III – замораживание;
IV – обдув;
V – мойка исходного сырья;
VI – хранение.

Результаты и их обсуждение

Результаты анализа нормативных документов на производство ИГПП и расчетной схемы сведены в таблицу 1 с указанием контролируемых параметров, их нормативных значений и поле допуска процесса на каждой стадии производства согласно системному подходу.

Уровень целостности технологической линии производства быстрорастворимых киселей напрямую связан с уровнем целостности каждой из подсистем. Основываясь на соответствии контролируемых параметров заданным значениям, можно произвести оценку уровня целостности всей системы. Для определения уровня целостности производился отбор проб на каждой стадии производства (выходах каждой из подсистем) в течение одной смены, которая равна 8 часам. Все параметры технологического процесса, параметры исходного сырья и готовой продукции соответствовали установленным нормативным документам.

Уровень целостности всей системы за одну смену можно рассчитать, используя следующее выражение:

$$\theta_{C_4^{II}C_4^{I}C_3C_2C_1BA} = \eta_{C_4^{II}} + \eta_{C_4^{I}} + \eta_{C_3} + \eta_{C_1/C_4^{I}} + \eta_{C_2/C_4^{II}} + \\ + \eta_{B/C_1C_2C_3C_4^{I}C_4^{II}} + \eta_{A/BC_1C_2C_3C_4^{I}C_4^{II}} - 6 \quad (1)$$

Энтропия состояния i-ой подсистемы рассчитывалось по формуле:

$$H = -P \cdot log_2 \cdot P - (1-P) \cdot log_2(1-P) \quad (2)$$

Подставляя значения из таблицы 2 в уравнение (1) получаем:

$$\theta_{C_4^{II}C_4^{I}C_3C_2C_1BA} = 1 + 1 + 1 + 0{,}67 + 0{,}60 + \\ + 0{,}60 + 0{,}47 + 0{,}75 - 6 = -0{,}51 \quad (3)$$

В результате проведенных исследований отобранных проб продукта на каждой технологической стадии производства стало возможным установить стабильность подсистемы C_4, которая была равна единице. В остальных подсистемах обработки исходного сырья (подсистемы C_1, C_2, C_3) наблюдается отклонение от заданных параметров. Наибольшее возмущение в стабильность всей системы вносит подсистема B, что связано с нестабильностью процесса гранулирования. В результате снижается качество готового продукта. Была установлена необходимость доработки подсистемы B, а именно гранулятора, благодаря проведенному анализу операторной модели и целостности системы производства ИГПП.

В результате проведенного анализа технологического потока линии производства ИГПП с точки зрения системного подхода была выявлена подсистема, которая вносить максимальное возмущение в работу всей системы. Этой подсистемой оказалась подсистема B образования полуфабриката в виде гранулята. Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод, что замена существующего тарельчатого гранулятора на гранулятор новой конструкции с новыми принципами структурообразования с управляемыми сегрегированными потоками может повысить уровень целостности всей системы и перевести ее из области суммативных в организованные. В качестве новой единицы оборудования была выбрана новая конструкция барабанного виброгранулятора (БВГ) [20].

С целью проверки полученных результатов была построена операторная модель к разработанной линии производства ИГПП с использованием ягод жимолости (условные обозначения и методика построения ОМ приняты согласно литературным данным, изложенным в трудах академика В. А. Панфилова).

Операторная модель технологической линии производства инстантировнного киселя из ягод жимолости на основе картофельного крахмала, подвергшегося твердофазной механической активации, содержит следующие подсистемы:

Таблица 1. Контролируемые параметры и уровень целостности подсистем производства ИГПП из ягодного сырья на основе нативного картофельного крахмала

Table 1. Controlled parameters and integrity level of subsystems for the production of instant berry drinks based on native potato starch

Подсистема	Выход подсистемы	Контролируемый параметр	Нормативное значение, %	Поле допуска, %
A	готовая продукция	массовая доля влаги	5	± 2
B	влажный гранулят	количество гранул в диапазоне от 0,5 до 3 мм	98	± 2
C_1	жом после хранения	массовая доля влаги	13	± 2
C_2	концентрированный экстракт	сухие вещества	23	± 2
C_3	сахарная пудра	количество пудры в диапазоне до 150 мкм	96	± 4
C_4^{II}	экстракт	сухие вещества	2	± 2
C_4^{I}	жом	влажность жома	60	± 2

Таблица 2. Результаты расчетов уровня целостности системы процессов производства ИГПП за одну смену (8 часов)

Table 2. Integrity of the system of processes for the production of instant starch drinks per shift (8 h)

Подси-стема	Объем выборки	Число проб в пределе допуска, шт	Число проб за пределом допуска, шт	Pi	1–Pi	–Pi–log2Pi	–(1–Pi)·log2(1–Pi)	Hi, бит	ηi
A	50	48	1	0,96	0,04	0,056538	0,185754	0,242292	0,757708
B	50	44	3	0,88	0,12	0,162294	0,367067	0,529361	0,470639
C_1	50	46	2	0,92	0,08	0,110671	0,291508	0,402179	0,597821
C_2	50	47	2	0,94	0,06	0,083911	0,243534	0,327445	0,672555
C_3	50	20	0	0	0	0	0	1	1
C_4^{I}	50	20	0	0	0	0	0	1	1
C_4^{II}	50	20	0	0	0	0	0	1	1

A – подсистема получения гранулированного киселя из ягод жимолости и картофельного крахмала, подвергшегося твердофазной механической активации, содержащая операторы:

I – фасовка и упаковка гранул в тару;

II – классификация гранул по размеру;

III – сушка сформированных агломератов;

B – подсистема получения влажных гранул в БВГ, которые соответствуют заданным показателям, содержащая операторы:

I – структурообразование гранул;

II – смешивание сухих сыпучих рецептурных компонентов;

C_1 – подсистема получения сухого измельченного жома, содержащая операторы:

I – измельчение высушенного жома;

II – высушивание полученного жома;

C_2 – подсистема получения связующего раствора, содержащая операторы:

I – смешивание полученных жидких компонентов связующего раствора;

II – промежуточное хранение;

III – концентрирование;

C_3 – подсистема получения жома и экстракта из ягод жимолости сырья, которая содержащит операторы:

I – фильтрация;

II – экстракция;

III – замораживание;

IV – обдув;

V – мойка исходного сырья;

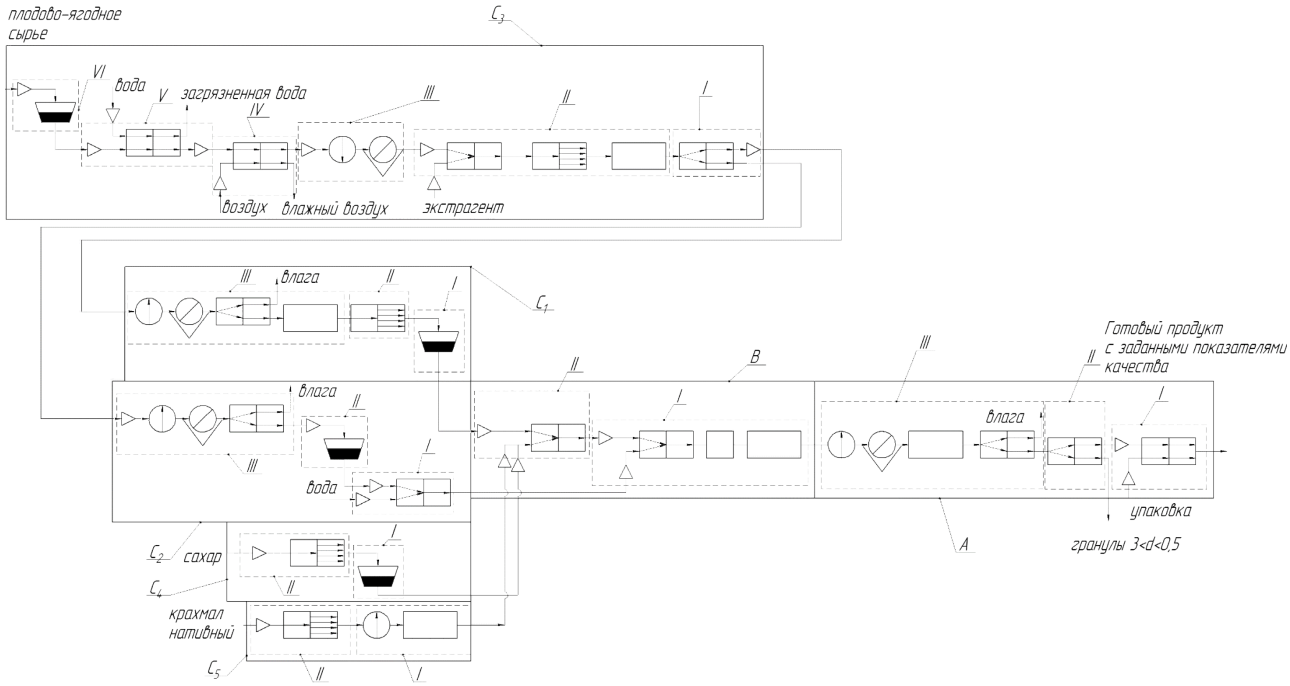

Рисунок 4. ОМ линии производства ИГПП из ягод жимолости на основе картофельного крахмала подвергшегося твердофазной механической активации

Figure 4. Production line operator model for instant honeysuckle drink based on potato starch subjected to solid-state mechanical activation

Таблица 3. Уровень целостности разработанной технологической системы производства ИГПП из ягод жимолости

Table 3. Integrity level of the new technological system for the production of instant honeysuckle starch drink

Подсистема	Выход подсистемы	Контролируемый параметр	Нормативное значение, %	Поле допуска, %	Pi, вероятность попадания величины в интервал допуска	Hi, энтропия состояния i-ой подсистемы, бит	ηi, стабильность i-ой подсистемы
A	готовая продукция	массовая доля влаги	5	± 2	0,97	0	1
B	влажный гранулят	количество гранул в диапазоне от 0,5 до 3 мм	98	± 2	0,91	0,20	0,80
C_1	жом после хранения	массовая доля влаги	13	± 1	0,93	0,39	0,61
C_2	концентрированный экстракт	сухие вещества	23	± 2	0,91	0,32	0,68
C_3	сахарная пудра	количество пудры в диапазоне до 150 мкм	96	± 4	0	0	1
C_4^{II}	экстракт	сухие вещества	2	± 2	0	0	1
C_4^{I}	жом	влажность жома	60	± 2	0	0	1
C_5	крахмал измельченный	размеры в диапазоне 10–100 мкм	90	± 4	1	0	1

VI – хранение;

C_4 – подсистема подготовки сухой сыпучей смеси, которая содержащит операторы:

I – измельчение,

II – хранение;

C_5 – подготовка картофельного крахмала, которая содержит операторы:

I – нагрев измельченного крахмала,

II – измельчение крахмала.

Оценка уровня организации (целостности) технологии производства инстант-продукта из ягод жимолости

После разработки нового аппаратурного оформления машинно-аппаратурной схемы производства ИГПП из плодово-ягодного сырья была произведена повторная оценка уровня целостности всей технологической системы.

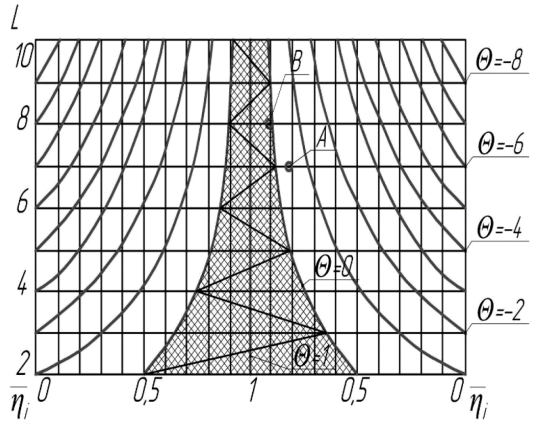

Рисунок 5. Диаграмма процесса развития технологической системы производства ИГПП на основе ягод жимолости и картофельного крахмала

Figure 5. Diagram of the development process of the technological system for the production of instant drinks based on honeysuckle berries and potato starch

Уровень целостности разработанной технологической системы производства ИГПП за смену разработанной линии, согласно машинно-аппаратурной схеме, представленной на рисунке 4:

$$\theta_{C_5C_4^{II}C_4^{I}C_3C_2C_1BA} = \eta_{C_5} + \eta_{C_4^{II}} + \eta_{C_4^{I}} + \eta_{C_3} + \eta_{\frac{C_1}{C_4^{I}}} + \eta_{\frac{C_2}{C_4^{II}}} + \eta_{\frac{B}{C_1C_2C_3C_4^{I}C_4^{II}C_5}} + \eta_{\frac{A}{BC_1C_2C_3C_4^{I}C_4^{II}C_5}} - 7 \quad (4)$$

Уровень целостности технологической линии производства инстантированных киселей из ягод жимолости и картофельного крахмала, подвергшегося твердофазной механической активации, рассчитывается по следующей формуле:

$$\theta_{C_5C_4^{II}C_4^{I}C_3C_2C_1BA} = 1 + 0{,}8 + 0{,}61 + 0{,}68 + 1 + 1 + 1 + 1 - 7 = 0{,}09 \quad (5)$$

Результаты проведенного исследования технологического потока представлены в таблице 3.

На рисунке 5 изображена диаграмма, описывающая процесс развития технологической системы, где ηi (средняя стабильность подсистем) и *L* (количество выходов подсистем) показаны эквидистантными кривыми, которые представляют собой уровни целостности Θ системы. Заштрихованная область – область высокоорганизованных, целостных систем, остальное поле графика – область плохо организованных, суммативных систем. На диаграмме: точка А – зона уровней целостности существующей технологической системы; точка В – зона уровней целостности оптимизированной технологической системы.

Выводы

Проведенный анализ технологии производства ИГПП с использованием системного подхода позволил определить уровень ее организации и повысить его из-за введения новой подсистсемы твердофазной механохимической активации карто-

фельного крахмала и совершенствования процесса гранулирования. Стабильность подсистемы В возросла на 0,31, а системы на 0,56.

В результате проведенной работы и на основании анализа диаграммы (рис. 5) можно сделать вывод, что вновь образованная система технологических процессов покинула область суммативных систем и перешла в область установившихся и высокоорганизованных систем.

Критерии авторства

А. М. Попов – руководство работой в целом (20 %). К. Б. Плотников – планирование эксперимента (20 %). И. Б. Плотников – разработка методики проведения эксперимента и обработка результатов (20 %). Р. В. Крюк – проведения исследований (20 %). С. Д. Руднев – консультативная работа (20 %).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.M. Popov supervised the research (20%). K.B. Plotnikov planned the experiment (20%). I.B. Plotnikov developed the experimental technique and processed the results (20%). R.V. Kryuk conducted the research (20%). S.D. Rudnev was the project advisor (20%).

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Теоретические позиции современного спортивного питания и их практическая реализация / Н. Ю. Латков, Ю. А. Кошелев, А. А. Вековцев [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2017. – Т. 5, № 4. – С. 82–92.

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. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Энергообследование процесса производства древесных гранул / В. К. Любов, А. Н. Попов, Е. И. Попова [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2017. – Т. 77, № 2. – С. 31–39.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. Ермолаев, Я. Ю. Исследование и разработка процессов производства быстрорастворимого гранулированного напитка на основе ячменной муки: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.18.12 / Ермолаев Ярослав Юрьевич. – Кемерово, 2013. – 20 с.

12. Моделирование технологий производства многокомпонентных гранулированных продуктов / А. Л. Майтаков, А. М. Попов, Н. Т. Ветрова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, № 4. – С. 63–68. DOI: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-63-68.

13. Лебедев, А. Б. Использование спеченного сорбента для удаления сероводорода из отходящего промышленного газа при грануляции металлургических шлаков / А. Б. Лебедев, В. А. Утков, А. А. Халифа // Записки Горного института. – 2019. – Т. 237. – С. 292–297. DOI: https://doi.org/10.31897/PMI.2019.3.292.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. Специализированный продукт спортивного питания антиоксидантной направленности / Н. Ю. Латков, А. А. Вековцев, Д. Б. Никитюк [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № S. – С. 125–134. DOI: https://doi.org/10.14529/hsm18s18.

19. 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.

20. Пат. 2693772C2 Российская федерация, МПК B01J2/18. Барабанный виброгранулятор / Попов А. М., Плотникова И. О., Плотников К. Б. [и др.]; заявитель и патентообладатель КемГУ. – № 2017145262; заявл. 21.12.2017; опубл. 04.07.2019; Бюл. № 19.

References

1. Latkov NYu, Koshelev YuA, Vekovtsev AA, Poznyakovskiy VM. Theoretical positions of modern sport nutrition and its practical implementation. Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2017;5(4):89–92. (In Russ.).

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. 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.

4. Popov AM, Plotnikov KB, Donya DV. Determination of dependence between thermophysical properties and structural-and-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.

5. 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.

6. 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.

7. Lyubov VK, Popov AN, Popova EI, Yarkov DA. Survey of process for the production of granulated fuel wood. Cherepovets State University Bulletin. 2017;77(2):31–39. (In Russ.).

8. 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.

9. Sevostyanov MV, Ilyina TN, Boichuk IP, Perelygin DN, Koshchukov AV, Emelyanov DA. Pneumatic mechanical equipment for microgranulation of manmade materials. Transactions of the TSTU. 2017;23(3):452–460. (In Russ.).

10. 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.

11. Ermolaev YaYu. Issledovanie i razrabotka protsessov proizvodstva bystrorastvorimogo gra-nulirovannogo napitka na osnove yachmennoy muki [Research and development of production processes for instant granulated drink based on barley flour]. Cand. eng. sci. diss. Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry; 2013. 20 p.

12. Maytakov AL, Popov AM, Vetrova NT, Beryazeva LN, Zverikova MA. Modeling of manufacturing technologies for multicomponent granulated products. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018;80(4)(78):63–68. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-63-68.

13. Lebedev AB, Utkov VA, Khalifa AA. Sintered sorbent utilization for H_2S removal from industrial flue gas in the process of smelter slag granulation. Journal of Mining Institute. 2019;237:292–297. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31897/PMI.2019.3.292.

14. 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.

15. 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.

16. 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.).

17. 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/10.18799/24131830/2019/4/197.

18. Latkov NYu, Vekovtsev AA, Nikityuk DB, Poznyakovsky VM. Specialized product of antioxidant activity for sports nutrition. Human. Sport. Medicine. 2018;18(S):125–134. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14529/hsm18s18.

19. 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.

20. Popov AM, Plotnikova IO, Plotnikov KB, Donya DV, Konyaev AV. Drum vibration granulator. Russia patent RU 2693772C2. 2019.

Сведения об авторах

Плотников Константин Борисович
канд. техн. наук, доцент кафедры машин и аппаратов технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: k.b.plotnikov.rf@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-4145-0027

Попов Анатолий Михайлович
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: popov4116@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2663-6379

Плотников Игорь Борисович
канд. техн. наук, доцент кафедры машин и аппаратов технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: plotnikov-ib@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0149-1724

Крюк Роман Владимирович
заведующий лабораторией кафедры машин и аппаратов технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: roman.kryuk.94@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5884-8598

Руднев Сергей Дмитриевич
д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры машин и аппаратов технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: sdrudnev@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2506-6121

Information about the authors

Konstantin B. Plotnikov
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Machines and Devices of Technological Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: k.b.plotnikov.rf@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-4145-0027

Anatoly M. Popov
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Machines and Devices of Technological Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: popov4116@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2663-6379

Igor B. Plotnikov
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Machines and Devices of Technological Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: plotnikov-ib@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0149-1724

Roman V. Kryuk
Head of the Laboratory of the Department of Machines and Devices of Technological Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: roman.kryuk.94@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5884-8598

Sergey D. Rudnev
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Machines and Devices of Technological Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: sdrudnev@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2506-6121