УДК 663:615.322

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ПРОИЗВОДСТВА БЫСТРОРАСТВОРИМЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ НАПИТКОВ

С.Н. Кравченко

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

e-mail: k-sn@mail.ru

Дата поступления в редакцию: 12.10.2016
Дата принятия в печать: 07.11.2016

Развитие техники пищевых предприятий ввиду неудовлетворенности их достигнутым уровнем требует дальнейшего совершенствования методов разработки системы оборудования и технологии, а также требует анализа всех процессов в технологическом потоке. Непременным условием научной обоснованности таких разработок должна стать диагностика соответствующей технологической системы. В статье дана качественная оценка уровня целостности существующего и адаптированного технологических потоков производства быстрорастворимых гранулированных напитков. В результате исследования установлено, что уровень целостности существующей технологии производства оказался низким и составил $\Theta = -0{,}16$. Установлено, что низкая стабильность функционирования линии как системы во времени значительно снижается из-за нестабильности функционирования подсистемы экстрагирования ($\eta = 0{,}64$), что обусловлено неустойчивостью процесса экстракции, осуществляемого традиционным способом, и, как следствие, низким качеством производимых напитков. Для повышения стабильности подсистемы экстрагирования разработан аппарат для диспергирования и экстрагирования сырья растительного происхождения. Применение аппарата позволяет интенсифицировать процесс экстрагирования плодово-ягодного сырья за счет более эффективного воздействия на его клеточную структуру. В результате увеличивается выход экстрактивных веществ с сохраненной физиологической ценностью, а также отпадает необходимость в предварительном измельчении экстрагируемого сырья. Таким образом, после проведения повторной диагностики модернизированного технологического потока установлено, что стабильность подсистемы экстрагирования возросла до $\eta = 0{,}92$ в течение оцениваемого отрезка времени. Это привело к значительному повышению уровня целостности технологического потока производства быстрорастворимых гранулированных напитков до $\Theta = 0{,}21$, благодаря чему произошло смещение уровня целостности технологического потока из области плохо организованных систем в область высокоорганизованных целостных систем.

Технологический поток, быстрорастворимые гранулированные напитки, технологическая система, экстрагирование, плодово-ягодное сырье, диагностика технологических потоков

Введение

Представление о технологических потоках производства быстрорастворимых гранулированных напитков как о единой системе, состоящей из ряда процессов, каждый из которых в совокупности работает на единую цель – создание напитков высокого качества, обладающих комплексом полезных свойств, дает понимание взаимосвязи и ответственности каждой операции за качество конечного продукта.

Любое изменение в системе – качества сырья, технологических параметров и др. – приводит к изменениям свойств полуфабрикатов, готового продукта и вносит коррективы в функционирование системы, оказывая влияние на ее организованность [1].

В настоящее время важное место отводят диагностике технологических потоков, что позволяет оценить уровень организованности отдельных подсистем и стабильность их функционирования. Диагностика технологических процессов позволяет проводить не только качественный, но и количественный анализ рассматриваемых систем [2, 3].

Объекты и методы исследований

С точки зрения развития технологических потоков производства быстрорастворимых гранулированных напитков представляло интерес изучение существующих технологий. Экспериментальная часть работы выполнена на базе ООО НПО «Здоровое питание» (г. Кемерово) и ФБГОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». Проведена диагностика существующей технологической системы производства быстрорастворимого гранулированного напитка черничного, которая может быть представлена в виде структурной схемы (рис. 1).

Модель представленной технологической системы производства быстрорастворимых напитков сравнительно сложна и состоит из более двадцати операторов, которые объединены в подсистемы и разделяют технологический поток на функциональные участки, предназначенные для выполнения важных технологических процессов (экстрагирование, фильтрование, измельчение, сушка, гранулирование, выпаривание, классификация и др.). Центральными являются подсистемы – выпаривания, экстрагирования,

формирования и сушки гранул. Именно в них формируются основные параметры качества быстрорастворимых гранулированных напитков.

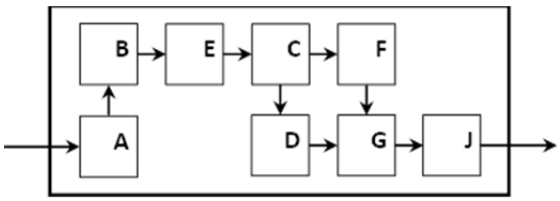

Рис. 1. Структурная схема существующего технологического потока производства быстрорастворимых гранулированных напитков на основе плодово-ягодного сырья: A – подсистема инспектирования сырья; B – подсистема подготовки и хранения сырья; E – подсистема измельчения сырья и разделения его на составляющие; C – подсистема экстрагирования; F – подсистема выпаривания; D – подсистема подготовки сухой основы; G – подсистема формирования гранул; J – подсистема сушки и классификации гранул

Качественное исследование операторных моделей предполагает выбор показателей, которые отражают систематическую оценку качества, устойчивости и управляемости технологических процессов на выходе из этих подсистем и отдельных операторов, а также эффективность переработки плодово-ягодного сырья в полуфабрикаты, готовую продукцию и необходимы при оценке стабильности технологии в целом [3, 4].

Определение стабильности подсистем и уровня целостности технологического потока производства быстрорастворимых гранулированных напитков осуществлялось по методике, разработанной академиком В.А. Панфиловым на основании результатов замеров контролируемых основных качественных показателей сырья и готовой продукции, а также режимно-технологических параметров работы оборудования [3]. Оценка стабильности технологии проводилась в течение месяца. За этот период брались выборки в количестве 100 образцов.

Уровень целостности существующего технологического процесса в соответствии с его структурой определялся по уравнению, которое имеет вид:

$$\Theta_{ABECFDGJ} = \eta_A+\eta_{B/A}+\eta_{E/AB}+\eta_{C/ABE}+\eta_{F/ABEC}+\eta_{D/ABEC}+ \\ + \eta_{G/ABECFD}+\eta_{J/ABECFDG}-7,$$

где η – условная стабильность подсистемы.

Выход каждой из подсистем оценивали контролируемыми параметрами: A – температура воды (10–11 °С), содержание примесей (0,4–0,5 %); B – содержание влаги в высушенном плодово-ягодном сырье (12–14 %), температура сушки плодово-ягодного сырья (50–55 °С), содержание витамина С в высушенном плодово-ягодного сырье (≥170 мг/100 г); E – степень измельчения высушенного плодово-ягодного сырья (0,5–1,0 мм); D – содержание влаги в высушенном шроте (12–14 %), температура сушки (50–55 °С); C – массовая доля сухих веществ в экстракте (≥4,0 %), температура процесса экстрагирования (45–50 °С), содержание витамина С в экстракте (≥7,0 мг/100 г); F – давление в вакуум-выпарном аппарате (≤4,8 кПа), температура выпаривания (48–50 °С), содержание витамина С в концентрированном экстракте (≥83,0 мг/100 г), массовая доля сухих веществ в концентрированном экстракте (55–60 %); G – массовые доли компонентов напитка согласно рецептуре; J – содержание влаги в высушенных гранулах (5–6 %), температура сушки (50–55 °С), время растворения гранул (30–35 с), содержание витамина С в гранулированном продукте (≥35,0 мг/100 г).

При выполнении работы использованы общепринятые и стандартные методы исследования.

Результаты и их обсуждение

В результате исследования установлено, что уровень целостности существующей технологической системы производства быстрорастворимых гранулированных напитков оказался низким и составил

$$\Theta_{ABECFDGJ} = 0{,}92+0{,}92+0{,}92+0{,}64+0{,}86+ \\ + 0{,}86+0{,}92+0{,}81-7 = -0{,}16.$$

Установлено, что низкая стабильность функционирования линии как системы во времени значительно снижается из-за нестабильности функционирования подсистемы C (η = 0,64), что обусловлено неустойчивостью процесса экстрагирования и, как следствие, невысоким качеством производимых быстрорастворимых напитков. В результате неэффективности данного процесса, проводимого по традиционному способу, происходит отклонение витамина С и содержания сухих растворимых веществ в экстракте, которое приходится компенсировать более длительным упариванием, что приводит к повышенным энергозатратам и дополнительным потерям термолабильных биологически активных веществ. Вследствие этого уровень целостности технологического потока находится в области плохо организованных суммативных систем (поз. 1, рис. 2).

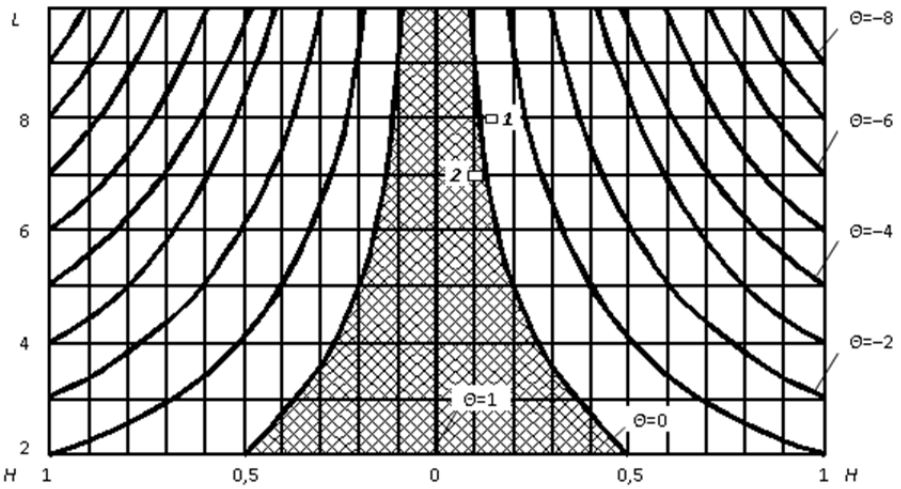

Рис. 2. Модель процесса развития технологической системы производства быстрорастворимых гранулированных напитков:
1 – зона уровней целостности существующей технологической системы;
2 – зона уровней целостности адаптированной технологической системы

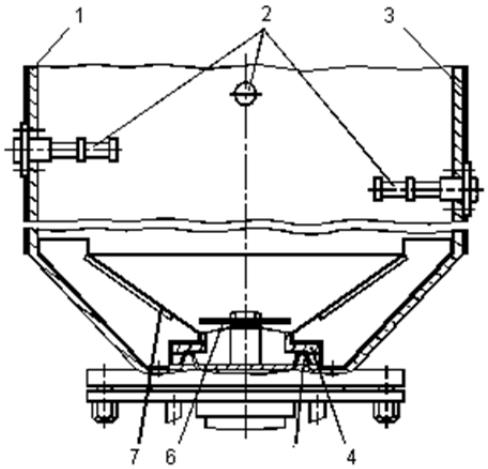

Рис. 3. Аппарат для диспергирования и экстрагирования плодово-ягодного сырья:
1 – корпус; 2 – ультразвуковые излучатели (3 шт., установлены друг относительно друга под углом 120º); 3 – термостатирующая рубашка; 4 и 5 – ротор и статор (РПА); 6 – ножи; 7 – направляющий конус

На основе проведенной диагностики для увеличения стабильности подсистемы С был разработан аппарат для диспергирования и экстрагирования сырья растительного происхождения (рис. 3) и проведен ряд дополнительных исследований [5]. Применение аппарата позволяет интенсифицировать процесс и увеличить глубину экстракции плодово-ягодного сырья за счет более эффективного воздействия на его клеточную структуру. В результате повышается выход экстрактивных веществ с сохраненной физиологической ценностью. Также отпадает необходимость в предварительном измельчении экстрагируемого сырья, что позволяет сократить подсистему Е (измельчения сырья и разделения его на составляющие).

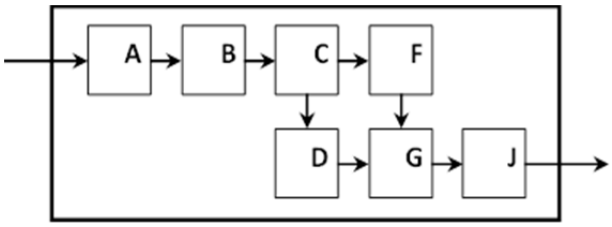

Рис. 4. Структурная схема адаптированного технологического потока производства быстрорастворимых гранулированных напитков на основе плодово-ягодного сырья

Таким образом, применение разработанного аппарата для диспергирования и экстрагирования в технологическом процессе позволяет представить структурную схему адаптированного технологического потока в виде, показанном на рис. 4. Тогда расчет уровня целостности выполняется по формуле

$$\Theta_{ABCFDGJ} = \eta_A+\eta_{B/A}+\eta_{C/AB}+\eta_{F/ABC}+\eta_{D/ABC}+ +\eta_{G/ABCFD}+\eta_{J/ABCFDG}-6.$$

После проведения необходимого комплекса исследований и практической апробации полученных результатов была повторно проведена диагностика процесса и установлены значения стабильности функционирования подсистемы экстрагирования и уровня целостности технологического потока в целом. Диагностика модернизированной технологической системы проводилась за тот же период, что и диагностика существующей технологии. Результаты этих исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Стабильность подсистем адаптированного технологического потока производства быстрорастворимых гранулированных напитков на основе плодово-ягодного сырья

Подсистема	Число проб и изделий в интервале		Вероятность исходов *P*	Информационная энтропия *H,* бит	Стабильность подсистем η	Целостность потока, Θ
	n_1	n_2				
A	99	1	0,99	0,08	0,92	0,21
B	99	1	0,99	0,08	0,92	
C	99	1	0,99	0,08	0,92	
F	98	2	0,98	0,14	0,86	
D	98	2	0,98	0,14	0,86	
G	99	1	0,99	0,08	0,92	
J	97	3	0,97	0,19	0,81	

Примечание: n_1 – число образцов, находящихся в пределах допуска; n_2 – число образцов, выходящих за допуск.

Проведенное повторное исследование показало, что стабильность подсистемы экстрагирования возросла до η = 0,92 в течение оцениваемого отрезка времени. Это привело к значительному повышению уровня целостности технологического потока производства быстрорастворимых гранулированных напитков, благодаря чему произошло смещение уровня целостности исследуемой технологической системы из области плохо организованных, суммативных систем в область высокоорганизованных целостных систем (поз. 2, рис. 2). В координатах *H* (информационная энтропия состояния подсистем) и *L* (количество подсистем в системе) показаны эквидистантные кривые, которые представляют собой уровни целостности Θ той или иной технологической системы. Заштрихованная область – область высокоорганизованных целостных систем, остальное поле графика – область плохо организованных, суммативных систем [6, 7].

Для повышения общего уровня целостности подсистем представляется целесообразным дополнительно оснастить их оборудованием дозирования, средствами автоматического управления и регулирования, а также использовать вакуумные сушилки, обеспечивающие температурные режимы, не оказывающие деструктивного влияния на термолабильные биологически активные вещества сырья растительного происхождения и продуктов его переработки в ходе технологического процесса.

Таким образом, применение системного подхода на уровне малых пищевых предприятий позволяет взаимосвязанно решить многочисленные задачи обеспечения качества в условиях многовариантности качественных показателей сырья за счет формирования в оптимальную совокупность (оборудования и технологии) разобщенных по функциональной нагрузке технологических процессов. Это, в свою очередь, позволит поднять качество выпускаемых быстрорастворимых гранулированных напитков на новый уровень, а стабильное качество обеспечит на них постоянный спрос.

Список литературы

1. Туманова, А.Е. Функционирование технологических потоков производства печенья / А.Е. Туманова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2003. – № 4. – С. 66–67.

2. Гуревич, М.А. Диагностика биотехнологического комплекса крупнотоннажного производства лимонной кислоты / М.А. Гуревич, А.К. Рябчеев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 5. – С. 28–30.

3. Панфилов, В.А. Диагностика технологий при разработке системы оборудования для производства сыров / В.А. Панфилов, Л.А. Остроумов, М.П. Щетинин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1997. – № 10. – С. 6–9.

4. Кравченко, С.Н. Производство обогащенных продуктов с использованием экстрактов и их товароведная оценка / С.Н. Кравченко, С.С. Павлов. – М.: Российские университеты; Кемерово: Кузбассвузиздат, 2006. – 151 с.

5. Кравченко, С.Н. Научное обоснование разработки технологических потоков и оценки качества быстрорастворимых гранулированных продуктов: дис. … д-ра техн. наук: 05.18.15 и 05.18.12 / С.Н. Кравченко. – Кемерово, 2011. – 322 с.

6. Панфилов, В.А. Организация пищевых технологий будущего и фундаментальные изыскания настоящего / В.А. Панфилов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 12. – С. 6–9.

7. Панфилов, В.А. Систематизация теоретических основ пищевых технологий как необходимое условие их инновационного развития / В.А. Панфилов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 12. – С. 24–30.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL FLOWS OF INSTANT GRANULATED DRINK PRODUCTION

S.N. Kravchenko

Kemerovo Institute of Food Science and Technology(University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

**e-mail: k-sn@mail.ru*

Received: 12.10.2016
Accepted: 07.11.2016

The development of equipment for food processing enterprises caused by dissatisfaction with the reached level requires further improvement of methods for the development of the equipment-and-technology system, and also requires the analysis of all processes in a technological flow. Diagnostics of the corresponding technological system should become an indispensable condition of scientific justification of such developments. The article deals with quality evaluation of the integrity level of existing and adapted technological flows of instant granulated drink production. As a result of the research it has been established that the level of integrity of the existing production technology is low and constitutes Θ=–0.16. It has also been established that low stability of functioning of the line as a system considerably decreases in time because of instability of functioning of a subsystem of extraction (η=0.64) that is caused by instability of the process of extraction performed by a traditional method resulting in low quality of the produced drinks. To increase the stability of a subsystem of extraction the device for dispersing and extraction of plant raw materials has been developed. The use of the device makes it possible to intensify the process of extraction of fruit raw materials due to more effective impact on its cellular structure. As a result the output of extractives with preserved physiological value increases, and the need for preliminary crushing of the extracted raw materials passes. Thus, after performing repeated diagnostics of the modernized technological flow it has been established that stability of a subsystem of extraction has increased up to η=0.92 during the estimated interval of time. It has led to substantial increase of the level of integrity of a technological flow of instant granulated drink production up to Θ=0.21 followed by a shift of the level of integrity of a technological flow from the sphere of badly organized systems to the sphere of highly organized, complete systems.

Technological flow, instant granulated drinks, technological system, extraction, fruit raw material, diagnostics of technological flows

References

1. Tumanova A.E. Funktsionirovanie tekhnologicheskikh potokov proizvodstva pechen'ya [Functioning of technological streams of production of cookies]. *Izvestia vuzov. Pishevaya tekhnologia* [News institutes of higher Education. Food technology], 2003, no. 4, pp. 66–67.
2. Gurevich M.A., Ryabcheev A.K. Diagnostika biotekhnologicheskogo kompleksa krupnotonnazhnogo proizvodstva limonnoy kisloty [Diagnostics of a biotechnological complex of large-capacity production of lemon acid]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 1999, no. 5, pp. 28–30.
3. Panfilov V.A., Ostroumov L.A., Shchetinin M.P. Diagnostika tekhnologiy pri razrabotke sistemy oborudovaniya dlya proizvodstva syrov [Diagnostics of technologies in case of development of the system of the equipment for production of cheeses]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 1997, no. 10, pp. 6–9.
4. Kravchenko S.N., Pavlov S.S. *Proizvodstvo obogashchennykh produktov s ispol'zovaniem ekstraktov i ikh tovarovednaya otsenka* [Production of the enriched products with use of extracts and their tovarovedny assessment]. Moscow, Rossiyskie universitety; Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 2006. 151 p.
5. Kravchenko S.N. *Nauchnoe obosnovanie razrabotki tekhnologicheskikh potokov i otsenki kachestva bystrorastvorimykh granulirovannykh produktov. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Scientific reasons for development of technological flows and quality evaluation of the instant granulated products. Dr. eng. sci. diss.]. Kemerovo, 2011. 322 p.
6. Panfilov V.A. Organizatsiya pishchevykh tekhnologiy budushchego i fundamental'nye izyskaniya nastoyashchego [Organization of food technologies of the future and fundamental researches of the present]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 2008, no. 12, pp. 6–9.
7. Panfilov V.A. Sistematizatsiya teoreticheskikh osnov pishchevykh tekhnologiy kak neobkhodimoe uslovie ikh innovatsionnogo razvitiya ya [Systematization of theoretical bases of food technologies as necessary condition of their innovative devel-opment]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 2008, no. 12, pp. 24–30.

Дополнительная информация / Additional Information

Кравченко, С.Н. Совершенствование технологических потоков производства быстрорастворимых гранулированных напитков / С.Н. Кравченко // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 43. – № 4. – С. 123–128.

Kravchenko S.N. Development of technological flows of instant granulated drink production. *Food Processing: Techniques and Technology,* 2016, vol. 43, no. 4, pp. 123–128 (In Russ.).

Кравченко Сергей Николаевич
д-р техн. наук, профессор кафедры прикладной механики, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-40, e-mail: k-sn@mail.ru

Sergey N. Kravchenko
Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of Technology of Applied Mechanics, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-40,
e-mail: k-sn@mail.ru