УДК 664

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ

М.А. Халтурин*, П.П. Иванов, С.Н. Кравченко

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

**e-mail: longhair89@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 22.09.2016
Дата принятия в печать: 24.10.2016

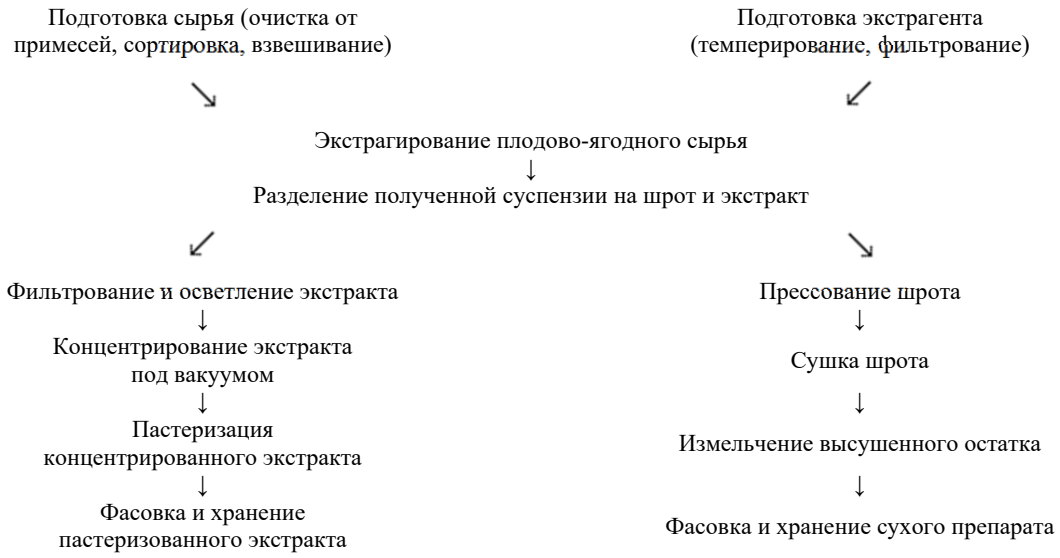
Развитие технологий производства посредством внедрения новых или модернизированных единиц оборудования является наиболее эффективным способом повышения их производительности и качества получаемого продукта. Внедрение экстрактора с вибрационной насадкой в линию производства концентрированных плодово-ягодных экстрактов позволяет не только существенно сократить продолжительность технологических процессов переработки сырья, но и повысить содержание целевых компонентов в получаемом экстракте. Повышение целостности и качества модернизированной технологии при внедрении новых единиц оборудования является важной задачей, для решения которой посредством методологии теории технологического потока построена операторная модель рассматриваемой технологии, определено ее узкое место – подсистема образования промежуточного продукта с заданными технологическими показателями качества; рассчитана стабильность функционирования подсистемы при использовании экстрактора с контуром внешней рециркуляции и без него; определен уровень целостности системы. Для определения стабильности функционирования подсистем согласно предварительным исследованиям были установлены: оцениваемый период (60 мин), требуемый объем выборки (25 проб), допускаемый предел отклонения контролируемых параметров (5 %). Результаты исследования показали, что экстрактор, оснащенный контуром внешней рециркуляции, обеспечивает высокую стабильность функционирования подсистемы образования промежуточного продукта, равную 1, по сравнению с 0,47 (без контура внешней рециркуляции). Полученное значение стабильности функционирования подсистемы способствует повышению уровня целостности системы, значение которого при использовании экстрактора с вибрационной насадкой составило 0,75.

Плодово-ягодный экстракт, система, подсистема, экстрактор с вибрационной насадкой, контур внешней рециркуляции

Введение

Производство экстрактов и концентратов биологически активных веществ методом экстрагирования плодово-ягодного сырья является эффективным технологическим решением, обеспечивающим максимально полное использование сырьевых ресурсов при минимальных эксплуатационных затратах на оборудование [1, 10].

Схему технологии производства концентрированных экстрактов из плодово-ягодного сырья диффузионным методом можно представить в следующем виде [2].



Повысить эффективность рассматриваемой технологии за счет увеличения массы извлеченных целевых компонентов из обрабатываемого сырья и одновременно за счет уменьшения продолжительно-

сти процесса экстрагирования возможно благодаря созданию в рабочем объеме экстрактора интенсивного гидродинамического режима. Разработка массообменных аппаратов, реализующих метод наложения на обрабатываемую систему поля низкочастотных механических колебаний (НЧМК), является перспективным способом интенсификации процесса экстрагирования, поскольку характеризуется минимальными капиталовложениями и затратами на поддержание работы оборудования [3, 8].

Проведенные в работах [3, 8, 9] исследования показали высокую стабильность работы экстракторов с вибрационной насадкой в различных технологических системах. Полученные результаты объясняются тем, что использование экстрактора с вибрационной насадкой позволяет избежать потери обрабатываемого продукта, уменьшить количество межоперационных перемещений перерабатываемого сырья и повысить производительность линии в целом за счет сокращения единиц оборудования в технологическом потоке.

Минимизация отрицательного влияния факторов окружающей среды и повышение стабильности технологических процессов (усиление внутренних связей системы) при внедрении в технологический поток экстрактора с вибрационной насадкой во многом предопределяют целостность и качество разрабатываемого технологического потока [4, 7, 5].

Цель настоящих исследований – расчет стабильности функционирования подсистемы образования промежуточного продукта в технологическом потоке производства концентрированных экстрактов из замороженных плодов рябины красной на ОАО «Кемеровская фармацевтическая фабрика» при использовании модернизированного оборудования – экстрактора с вибрационной насадкой непрерывного действия, оснащенного контуром внешней рециркуляции.

Объекты и методы исследований

Операторная модель технологии производства концентрированных плодово-ягодных экстрактов при использовании экстрактора с вибрационной насадкой непрерывного действия представлена на рис. 1.

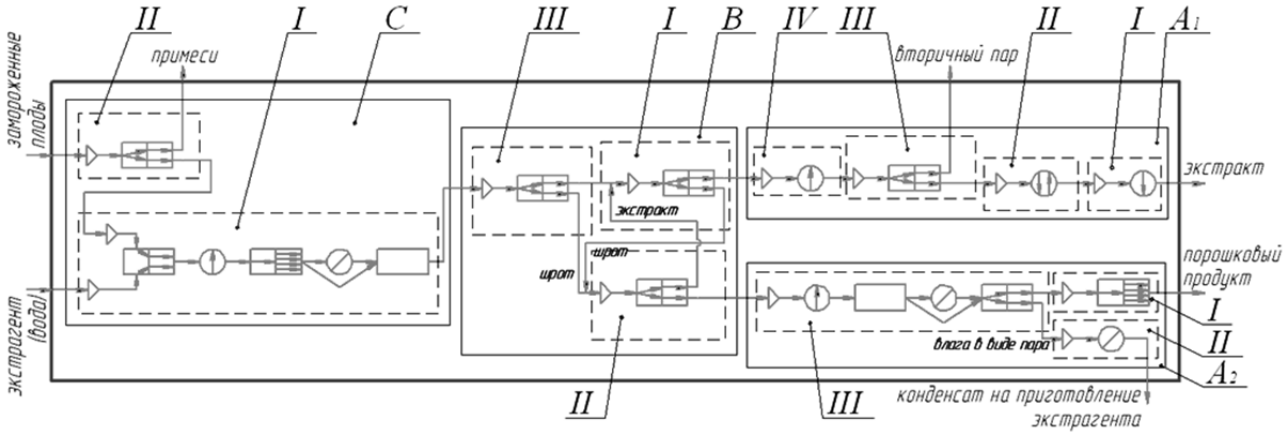


Рис. 1. Операторная модель технологической системы производства концентрированных экстрактов из замороженного плодово-ягодного сырья

В операторной модели приняты следующие обозначения:

A_1 – подсистема получения пастеризованного экстракта с показателями качества, соответствующими стандарту, содержащая операторы: *I* – охлаждения пастеризованного экстракта; *II* – пастеризации концентрированного экстракта; *III* – концентрирования осветленного экстракта; *IV* – нагревания экстракта до температуры концентрирования;

A_2 – подсистема получения измельченного сухого шрота с показателями качества, соответствующими стандарту, содержащая операторы: *I* – измельчения высушенного шрота; *II* – конденсации паров экстрагента; *III* – сушки шрота;

B – подсистема получения осветленного экстракта с заданными технологическими показателями качества, содержащая операторы: *I* – фильтрования экстракта; *II* – отжатия экстракта из шрота; *III* – разделения суспензии на шрот и экстракт;

C – подсистема образования промежуточного продукта с заданными технологическими показателями качества, содержащая операторы: *I* – переработки замороженного плодово-ягодного сырья; *II* – инспекции сырья.

Технологический поток ввиду возможности получения двух продуктов: пастеризованного экстракта и измельченного сухого шрота имеет разветвленную расходящуюся структуру.

Переработка замороженного плодово-ягодного сырья, находящаяся в начале технологического потока, в подсистеме *C*, представляет собой сочетание ряда процессов в одном аппарате: смешивание замороженных плодов с экстрагентом, размораживание плодов, разрушение плодов, образование суспензии и экстрагирование целевых компонентов из разрушенной твердой фазы. Учитывая сложность получения промежуточного продукта и влияние его характеристик на качество получаемого экстракта, переработку замороженного плодово-ягодного сырья можно рассматривать как узкое место технологической системы.

При многотоннажном производстве концентри-

рованных плодово-ягодных экстрактов наиболее предпочтительно использование в технологическом потоке экстрактора с вибрационной насадкой непрерывного действия, являющегося аппаратом II класса, поскольку процессы переработки совершаются в нем одновременно с перемещением обрабатываемой среды. Для проведения остальных технологических операций целесообразно использование оборудования не ниже II класса, позволяющего организовать непрерывную структуру технологического цикла.

В качестве способа повышения концентрации целевых компонентов в производимом экстракте при переработке замороженного плодово-ягодного сырья рекомендуется использование в экстракторе контура внешней рециркуляции [6].

Производительность по твердой фазе составляла 10 кг/ч при гидромодуле 1/4, частоте колебаний насадки 16,7 Гц и амплитуде – 14 мм. Габаритные размеры корпуса экстрактора: диаметр 150 мм, высота 640 мм; количество тарелок в насадке 4; диаметр тарелок 146 мм; диаметр отверстий перфорации в тарелке 3 мм; живое сечение тарелки 16,5 %; толщина тарелок 3 мм.

В качестве контролируемого параметра стабильности функционирования подсистемы *C* принята концентрация сухих растворимых веществ (СРВ) в промежуточном продукте. На основании результатов проведенных исследований экстрактора с вибрационной насадкой непрерывного действия при переработке замороженных плодов рябины красной было установлено значение концентрации СРВ в промежуточном продукте, при котором наблюдалась его стабильная работа: при работе без контура внешней рециркуляции эта концентрация составила 4,2 % масс.; с контуром внешней рециркуляции – 6,8 % масс. Для других подсистем были выбраны соответствующие контролируемые параметры: *B*, A_1 – массовая доля осадка в экстракте; A_2 – остаточная влажность измельченного сухого шрота.

По значениям проб выборки, разбитых на два интервала: удовлетворяющих и не удовлетворяющих выбранным пределам, рассчитывалась стабильность подсистем. Число проб выборки *n* рассчитывалось согласно следующим рекомендациям [5]

$$n = \frac{z_P^2\, y(1-y)}{\Delta^2}, \qquad (1)$$

где z_P – нормированное отклонение с соответствующей вероятностью; *y* – доля признака среди отобранных образцов; Δ – половина доверительного интервала.

Предварительные исследования показали, что при z_P = 1,96, соответствующей вероятности 0,95 [5]; *y* = 0,5 и Δ = 0,2, требуемое число выборки составило 25 проб.

Стабильность функционирования подсистем η_i можно рассчитать, допуская предел отклонения этого значения на величину, не превышающую 5 %,

$$\eta_i = 1 - \frac{E_i}{E_{\max}}, \qquad (2)$$

где $E_i = -(-U \cdot \log_2 U - (1-U)\cdot \log_2(1-U))$ – энтропия подсистемы, соответствующая данному распределению значений величины концентрации СРВ в экстракте (здесь *U* – вероятность попадания случайной величины в область допускаемых значений); $E_{\max}$ = 1 – соответствующий закону равномерного распределения максимум энтропийной функции.

Слагаемые $(-U\cdot\log_2 U)$ и $(1 - U)\cdot\log_2(1 - U)$ для расчета E_i при различных значениях соответствующих вероятностей *U* и (1 – *U*) приняты согласно табличным данных [5].

Уровень целостности системы (рис. 1) складывается следующим образом:

$$\theta_{\text{CBA1}} = \eta_{\text{C}} + \eta_{\text{B/C}} + \eta_{A1/\text{CB}} - 2\ ; \qquad (3)$$

$$\theta_{\text{CBA2}} = \eta_{\text{C}} + \eta_{\text{B/C}} + \eta_{A2/\text{CB}} - 2, \qquad (4)$$

где η_{C} – стабильность подсистемы *C*; $\eta_{\text{B/C}}$, $\eta_{\text{A1/CB}}$, $\eta_{\text{A2/CB}}$ – условные стабильности одной подсистемы относительно другой.

Результаты и их обсуждение

Согласно представленным в табл. 1 результатам использование в технологическом потоке экстрактора с вибрационной насадкой непрерывного действия, оснащенного контуром внешней рециркуляции, обеспечивает достаточно высокую стабильность функционирования подсистемы *C*, равную 1, по сравнению с 0,47 (без контура внешней рециркуляции).

Уровень целостности системы при использовании экстрактора, оснащенного контуром внешней рециркуляции:

$$\theta_{\text{CBA1}} = 1 + 1 + 0,75 - 2 = 0,75;$$
$$\theta_{\text{CBA2}} = 1 + 1 + 1 - 2 = 1.$$

Уровень целостности системы при использовании экстрактора без контура внешней рециркуляции:

$$\theta_{\text{CBA1}} = 0,47 + 0,6 + 0,6 - 2 = -0,33;$$
$$\theta_{\text{CBA2}} = 0,47 + 0,6 + 1 - 2 = 0,07.$$

Полученные результаты показали, что подсистема *C* оказывает наибольшее влияние на уровень целостности системы посредством влияния на стабильности функционирования последующих подсистем *B* и A_1.

Таблица 1

Результаты расчета стабильности функционирования подсистем технологической системы производства концентрированных плодово-ягодных экстрактов

Подсистема	Оцениваемый период	Объем выборки, шт.	Число проб		U	$1-U$	$-U\cdot\log_2 U$	$-(1-U)\times\log_2(1-U)$	E_i	η_i
			в 1-м интервале	во 2-м интервале						
С контуром внешней рециркуляции										
С	60 мин	25	25	0	1	0	0	0	0	1
В	60 мин	25	25	0	1	0	0	0	0	1
A_2	60 мин	25	25	0	1	0	0	0	0	1
A_1	60 мин	25	24	1	0,96	0,04	0,06	0,19	0,25	0,75
Без контура внешней рециркуляции										
С	60 мин	25	22	3	0,88	0,12	0,16	0,37	0,53	0,47
В	60 мин	25	23	2	0,92	0,08	0,11	0,29	0,4	0,6
A_2	60 мин	25	25	0	1	0	0	0	0	1
A_1	60 мин	25	23	2	0,92	0,08	0,11	0,29	0,4	0,6

Для идеально целостной системы характерно значение уровня целостности, равное 1. Следовательно, использование экстрактора, оснащенного контуром внешней рециркуляции, не вызывает снижение стабильности функционирования подсистемы *С* и, кроме того, повышает уровень целостности всей системы.

Стабильная работа экстрактора, оснащенного контуром внешней рециркуляции, объясняется его основным преимуществом – выравниванием поля концентраций СРВ по высоте рабочего объема экстрактора. Это позволяет судить о постоянстве остальных свойств получаемого промежуточного продукта (плотности, вязкости, органолептических показателях и др.), способствующих стабильной работе оборудования на дальнейших технологических операциях.

Таким образом, энтропийная оценка стабильности функционирования подсистемы *С*, выполненной на базе экстрактора с вибрационной насадкой непрерывного действия, оснащенного контуром внешней рециркуляции, показала высокий уровень ее организованности.

Список литературы

1. Бакуменко, О.Е. Технология обогащенных продуктов питания для целевых групп. Научные основы и технология. – М.: ДеЛи плюс, 2013. – 287 с.
2. Бурачевский, И.И. Современные способы получения полуфабрикатов ликеро-водочного производства / И.И. Бурачевский, К.И. Скрипник. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 136 с.
3. Вибрационные массообменные аппараты / И.Я. Городецкий, А.А. Васин, В.М. Олевский, П.А. Лупанов; под ред. В.М. Олевского. – М.: Химия, 1980. – 192 с.
4. Кравченко, С.Н. Моделирование и синтез технологического потока производства экстрактов из сырья растительного происхождения / С.Н. Кравченко, А.М. Попов, С.С. Павлов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 7. – С. 62–64.
5. Панфилов, В.А. Теория технологического потока. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: КолосС, 2007. – 319 с.
6. Пат. 2545300 Российская Федерация, МПК B 01 D 11/02 (2006.01). Экстрактор вибрационный / Сорокопуд А.Ф., Иванов П.П., Халтурин М.А.; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9. – 5 с.
7. Попов, А.М. Системные закономерности сложных объектов и принципы их использования при исследовании и проектировании технико-технологических комплексов / А.М. Попов, В.А. Панфилов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 10. – С. 15–17.
8. Сорокопуд, А.Ф. Использование системного анализа при исследовании аппаратов с вибрационной насадкой / А.Ф. Сорокопуд, П.П. Иванов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2014. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://processes.open-mechanics.com/articles/938.pdf (20 июня 2016).
9. Халтурин, М.А. Оценка стабильности процесса экстрагирования в технологическом потоке при использовании аппарата с вибрационной насадкой / М.А. Халтурин, П.П. Иванов // Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 23 апреля 2014 г.): в 2 ч. Ч. 2. – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. – С. 114–118.
10. Шобингер, У. Фруктовые и овощные соки: научные основы и технологии / пер. с нем. под общ. науч. ред. А.Ю. Колеснова, Н.Ф. Берестеня и А.В. Орещенко. – СПб.: Профессия, 2004. – 640 с.

ESTIMATION OF STABILITY OF TECHNOLOGICAL SYSTEM FOR CONCENTRATED FRUIT EXTRACTS PRODUCTION

M.A. Khalturin*, P.P. Ivanov, S.N. Kravchenko

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

**e-mail: longhair89@mail.ru*

Received: 22.09.2016
Accepted: 24.10.2016

The development of production technologies by implementation of new or modernized equipment is the most efficient way to raise their efficiency and improve the product quality. Implementation of the extractor with an oscillating plate in a concentrated fruit extracts production line leads not only to the significant shortening of material processing but also to the increase in the concentration of desired components in the obtained extract. The increase of integrity and improvement of quality of modernized technology when implementing new equipment is an important task that require the design of an operator model of the discussed technology based on the methodology of workflow theory. The bottleneck of the model has been defined. It is the subsystem of the formation of intermediate product with given quality parameters. The stability of subsystem functioning has been calculated when using an extractor with an external recirculation contour and without it. The level of system integrity has been determined. To value the stability of subsystem functioning, according to preliminary researches, the following parameters have been determined: estimated period (60 min), required sample numbers (25 samples), allowable limit of parameter divergence (5%). The research results show that the extractor equipped with an external recirculation contour provides stability of functioning of the subsystem of intermediate product formation equal to 1, comparing with 0.47 (without the external recirculation contour). The obtained value of subsystem functioning stability stimulates the increase of system integrity, which value (in case of using the extractor with an oscillating plate) is 0.75.

Fruit extract, system, subsystem, extractor with an oscillating plate, external recirculation contour

References

1. Bakumenko O.E. *Tekhnologiya obogashchennykh produktov pitaniya dlya tselevykh grupp. Nauchnye osnovy i tekhnologiya* [The technology of enriched foodstuffs for target groups. Scientific basis and techniques]. Moscow, DeLi plyus Publ., 2013. 287 p.

2. Burachevskiy I.I., Skripnik K.I. *Sovremennye sposoby polucheniya polufabrikatov likero-vodochnogo proizvodstva* [Modern methods of intermediate alcoholic products manufacturing]. Moscow, “Legkaya i pishchevaya promyshlennost’” Publ., 1981. 136 p.

3. Gorodetskiy I.Ya., Vasin A.A., Olevskiy V.M. (ed.), Lupanov P.A. *Vibratsionnye massoobmennye apparaty* [Oscillating mass-transfer apparatuses]. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 192 p.

4. Kravchenko S.N., Popov A.M., Pavlov S.S. Modelirovanie i sintez tekhnologicheskogo potoka proizvodstva ekstraktov iz syr'ya rastitel'nogo proiskhozhdeniya [The modelling and synthesis of the workflow of extracts production from vegetable raw materials]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 2005, no. 7, pp. 62–64.

5. Panfilov V.A. *Teoriya tekhnologicheskogo potoka* [Workflow theory]. Moscow, KolosS Publ., 2007. 319 p.

6. Sorokopud A.F., Ivanov P.P., Khalturin M.A. *Ekstraktor vibratsionnyy* [Oscillating extractor]. Patent RF, no. 2545300, 2015.

7. Popov A.M., Panfilov V.A. Sistemnye zakonomernosti slozhnykh ob"ektov i printsipy ikh ispol'zovaniya pri issledovanii i proektirovanii tekhniko-tekhnologicheskikh kompleksov [Systemic regularities of compound objects and the principles of their application in the study and design of technological complexes]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 2005, no. 10, pp. 15–17.

8. Sorokopud A.F., Ivanov P.P. [System analysis applied to the research of mass transfer apparatuses with a vibrating nozzle] *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»* [ITMO University Scientific Journal: Processes and Apparatus of Food Industry edition], 2014, no. 1. Available at: http://processes.open-mechanics.com/articles/938.pdf (accessed 20 June 2016).

9. Khalturin M.A., Ivanov P.P. Otsenka stabil'nosti protsessa ekstragirovaniya v tekhnologicheskom potoke pri ispol'zovanii apparata s vibratsionnoy nasadkoy [The evaluation of extraction stability in a workflow using an apparatus with an oscillating plate]. *Mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. “Innovatsii v pishchevoy promyshlennosti: obrazovanie, nauka, proizvodstvo”* [Proc. of the All-Russian conference “Innovations in food industry: education, science, production”]. Blagoveshchensk, 2014, part 2, pp. 114–118.

10. Shopinger U. *Fruktovye i ovoshhnye soki: nauchnye osnovy i tehnologii* [Technology of fruit and vegetable juice]. Moscow, Professija Publ., 2004. 640 p.

Дополнительная информация / Additional Information

Халтурин, М.А. Оценка стабильности технологической системы производства концентрированных плодово-ягодных экстрактов / М.А. Халтурин, П.П. Иванов, С.Н. Кравченко // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 43. – № 4. – С. 135–140.

Khalturin M.A., Ivanov P.P., Kravchenko S.N. Estimation of stability of technological system for concentrated fruit extracts production. *Food Processing: Techniques and Technology,* 2016, vol. 43, no. 4, pp. 135–140 (In Russ.).

Халтурин Михаил Алексеевич
аспирант кафедры машин и аппаратов пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

Иванов Павел Петрович
канд. техн. наук, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

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

Mikhail A. Khalturin
Graduate Student of the Department of Machines and Equipment of Food Industries, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

Pavel P. Ivanov
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Machines and Equipment of Food Industries, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (university), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

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