

Техника и технология пищевых производств

Food Processing: Techniques and Technology

№ 3'15



**ТЕХНИКА
И ТЕХНОЛОГИЯ
ПИЩЕВЫХ
ПРОИЗВОДСТВ
№ 3, Т.38, 2015**

Научно-технический
журнал

Издается с 1998 года

Главный редактор

А.Ю. Просеков, доктор техниче-
ских наук, профессор, лауреат
премии Правительства РФ в об-
ласти науки и техники;

Зам. главного редактора

Е.А. Жидкова, кандидат экономи-
ческих наук, доцент;

Редакционная коллегия:

П.П. Баранов, доктор экономиче-
ских наук, доцент;

Г.Б. Гаврилов, доктор техниче-
ских наук, заслуженный работник
пищевой индустрии;

Г.В. Гуринович, доктор техниче-
ских наук, профессор;

Г.А. Жданова, кандидат педаго-
гических наук, доцент;

В.П. Зотов, доктор экономиче-
ских наук, профессор;

В.Н. Иванец, доктор технических
наук, профессор, заслуженный
деятель науки, почетный работ-
ник высшего профессионального
образования РФ;

Т.А. Краснова, доктор техниче-
ских наук, профессор, заслужен-
ный эколог РФ, почетный работ-
ник высшего профессионального
образования РФ;

Л.А. Маюрникова, доктор тех-
нических наук, профессор;

Л.А. Остроумов, доктор техниче-
ских наук, профессор, заслужен-
ный деятель науки и техники, ла-
уреат премии Правительства РФ в
области науки и техники;

В.М. Позняковский, доктор
биологических наук, профессор,
заслуженный деятель науки, по-
четный работник высшего про-
фессионального образования РФ;

В.А. Помозова, доктор техниче-
ских наук, профессор;

Б.А. Рскелдиев, доктор техниче-
ских наук, профессор;

Л.В. Терещук, доктор техниче-
ских наук, профессор;

Б.А. Федосенков, доктор техни-
ческих наук, профессор;

Gösta Winber, M.D., Ph.D. Associate
professor, Karolinska Institutet

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

<i>Бабеньшев С.П., Емельянов С.А., Жидков В.Е., Мамай Д.С., Уткин В.П.</i> Основные аспекты получения напитков из молочной сыворотки с добавлением растительных полисахаридов на основе использования процесса ультрафильтрации	5
<i>Бабий Н.В., Степакова Н.Н., Соловьева Е.Н.</i> Актуальность производства фитонапитков для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.....	11
<i>Ивашина О.А., Терещук Л.В., Старовойтова К.В., Тарлюн М.А.</i> Переэтерификация как альтернативный способ модификации жиров, свободных от трансизомеров.....	18
<i>Инербаев Б.О., Инербаева А.Т.</i> Мясная продуктивность герефордов сибирской репродукции.....	24
<i>Киселева Т.Ф., Ушакова А.С., Газиева А.Ф.</i> Комплексная переработка сушеного плодово-ягодного сырья.....	30
<i>Марьин В.А., Верещагин А.Л., Бычин Н.В.</i> Технологические свойства влажного и сырого зерна гречихи.....	35
<i>Пермякова Л.В.</i> Исследование различных способов снижения потребности дрожжей в кислороде.....	41
<i>Пчелкина В.А., Хвеля С.И.</i> Практические аспекты применения ГОСТ 31474-2012 «Мясо и мясные продукты. Гистологический метод определения растительных белковых добавок».....	50
<i>Соловьева А.А.</i> Оценка безопасности ферментированных колбас.....	55
<i>Солодников С.Ю., Люшина Г.А., Колесова О.В., Маслова В.В., Андреева Ю.В., Кузнецов А.А.</i> Оценка биологических свойств сока из ростков пшеницы. Разработка технологии его получения.....	62
<i>Черненко А.А., Леонова С.А., Пусенкова Л.И.</i> Улучшение качества и биологической ценности сахарного печенья путем добавления пыльцы-обножки.....	69

ПРОЦЕССЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

<i>Доценко С.М., Бибик И.В., Купчак Д.В., Обухов Е.Б., Грызлов В.М., Агафонов И.В.</i> Обоснование технологических подходов к получению и использованию зародышевой фракции семян сои в пищевых продуктах специализации.....	75
<i>Ермолаев В.А., Равнюшкин Е.А.</i> Исследование процессов баровакуумной сушки сыров при начальном повышении и понижении давления.....	83
<i>Короткий И.А., Короткая Е.В., Учайкин А.В.</i> Исследование процессов очистки воды раздельным вымораживанием.....	88
<i>Людья Д.Н., Пономаренко В.В., Лементарь С.Ю.</i> Низкочастотные колебания давлений в гетерогенных системах как способ интенсификации массообменных процессов.....	94
<i>Савенко А.В., Сорокопуд А.Ф., Гриценко В.В.</i> Получение экстрактов листьев крапивы двудомной и березы повислой в вибрационном аппарате..	101

ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

<i>Лобач Е.Ю., Вековцев А.А., Фесинова П.В., Позняковский В.М.</i> Клиническая апробация специализированного продукта для диетического питания.....	109
<i>Подзорова Г.А., Вековцев А.А., Казьмина А.Ю., Позняковский В.М.</i> Доказательство эффективности и функциональной направленности биологически активной добавки «ОлеопренНейро» в натуральных наблюдениях.....	115

Ответственный за выпуск
Е.В. Дмитриева
Литературный редактор
А.В. Дюмина
Дизайн и компьютерная верстка
О.П. Долгополова

Выходит 4 раза в год
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

Учредитель:
Федеральное государственное
бюджетное образовательное уч-
реждение высшего образования
«Кемеровский технологический
институт пищевой промышленно-
сти (университет)»
(ФГБОУ ВО «КемТИПП»)
650056, г. Кемерово,
бульвар Строителей, 47

Адрес редакции:
650056, г. Кемерово, б-р Строи-
телей, 47, к. 1212, тел. (3842) 39-68-45
<http://fptt-journal.ru>
e-mail: food-kemtipp@yandex.ru

Адрес издателя:
650056, г. Кемерово,
б-р Строителей, 47,
ФГБОУ ВО «КемТИПП»

Адрес типографии:
650002, г. Кемерово, ул. Институт-
ская, 7, к. 2006, тел. (3842) 39-09-81

Журнал включен в Перечень ВАК
ведущих рецензируемых научных
журналов (№ 6/6 от 19 февраля 2010 г.)

Журнал включен в международные
базы данных: AGRIS, AGRICOLA,
EBSCOhost (Food Science Source),
Ulrich's Periodicals Directory.

*Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
Эл № ФС77-61607 от 30 апреля
2015 г. Выдано Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и
массовых коммуникаций*

Подписано в печать 15.09.2015.
Дата выхода в свет 15.09.2015.
Усл. п. л. 20,5. Уч.-изд. л. 19,0.
Тираж 300 экз. Заказ № 52
Цена свободная.

*Подписной индекс по объединенному
каталогу «Пресса России» – 41672*

Мнение авторов публикуемых
материалов не всегда совпадает
с мнением редакции. Ответствен-
ность за научное содержание ста-
тей несут авторы публикаций.

Кемеровский технологический
институт пищевой промышленности
(университет)
(КемТИПП), г. Кемерово,
б-р Строителей, 47
© КемТИПП, 2015

ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Бутов А.В., Мандрова А.А. Экологически чистый картофель для детского
и диетического питания..... 121

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ

Безносов Ю.В., Ермакова В.П., Позняковский В.М. Разработка программ-
ного продукта для оценки бездефектности производства хлебобулочных
изделий..... 127
Буданина Л.Н., Верещагин А.Л., Бычин Н.В. Определение состава спре-
дов сливочного масла с пальмовым методами термического анализа..... 133
Неверова О.А., Егорова И.Н. Оценка качества плодов шиповника (*Rosa
majalis Herrm.*), произрастающего на породном отвале угольного разреза
в условиях Кемеровской области..... 139
Соколова Л.И., Белюстова К.О., Привар Ю.О., Шапкин Н.П., Разов В.И.
Определение антибиотиков (левомецетина и тетрациклина) в пищевых
продуктах с различными матрицами..... 146
Табаторович А.Н., Резниченко И.Ю. Особенности химического состава
яблочного пюре как основа идентификации..... 153

ИНФОРМАЦИЯ

Порядок рассмотрения, утверждения и отклонения статей..... 160
Требования к оформлению статьи..... 160

**FOOD PROCESSING:
TECHNIQUES AND
TECHNOLOGY
No. 3, Vol. 38, 2015**

**Scientific technical
Journal**

Issued since 1998

Editor-in-Chief

A.Yu. Prosekov, Doctor of technical sciences, professor, a recipient of The RF Government Prize in the domain of science and engineering;

Deputy-chief editor

E.A. Zhidkova, Candidate of economic sciences, associate professor;

Editorial board members:

P.P. Baranov, Doctor of economic sciences, associate professor;

G.B. Gavrilov, Doctor of technical sciences, Honoured Worker of Food Industry;

G.V. Gurinovich, Doctor of technical sciences, professor;

G.A. Zhdanova, Candidate of pedagogical sciences, associate professor;

V.P. Zotov, Doctor of economic sciences, professor;

V.N. Ivanets, Doctor of technical sciences, professor, Honoured Scientist, Honorary Worker of Higher Vocational Education of RF;

T.A. Krasnova, Doctor of technical sciences, professor, Honoured Ecologist of RF, Honorary Worker of Higher Vocational Education of RF;

L.A. Majurnikova, Doctor of technical sciences, professor;

L.A. Ostroumov, Doctor of technical sciences, professor, Honoured Worker of Science and Engineering, a recipient of The RF Government Prize in the domain of science and engineering;

V.M. Poznyakovsky, Doctor of biological sciences, professor, Honoured Scientist, Honorary Worker of Higher Vocational Education of RF;

V.A. Pomozova, Doctor of technical sciences, professor;

B.A. Rskeldiev, Doctor of technical sciences, professor;

L.V. Tereshchuk, Doctor of technical sciences, professor;

B.A. Fedosenkov, Doctor of technical sciences, professor;

Gösta Winber, M.D., Ph.D. Associate professor, Karolinska Institutet

CONTENTS

FOOD PRODUCTION TECHNOLOGY

<i>Babenyshv S.P., Emelyanov S.A., Zhidkov V.E., Mamay D.S., Utkin V.P.</i> Main aspects of producing whey beverages with the addition of plant polysaccharides based on the use of ultrafiltration.....	5
<i>Babiy N.V., Stepakova N.N., Solovyova E.N.</i> The relevance of the phyto-beverages production for the prevention of cardiovascular diseases.....	11
<i>Ivashina O.A., Tereshchuk L.V., Starovoitova K.V., Tarlyun M.A.</i> Transesterification as an alternative method of modifying fats free from transisomers.....	18
<i>Inerbaev B.O., Inerbaeva A.T.</i> Meat efficiency of herefords of siberian reproduction.....	24
<i>Kiseleva T.F., Ushakova A.S., Gazieva A.F.</i> Complex processing of dried fruit raw materials.....	30
<i>Mar'in V.A., Vereshchagin A.L., Bychin N.V.</i> Technological properties of wet and crude buckwheat.....	35
<i>Permyakova L.V.</i> Investigation of different ways of reducing the oxygen requirement of yeast.....	41
<i>Pchelkina V.A., Khvilya S.I.</i> Practical aspects of application of GOST 31474-2012 «Meat and meat products. Histological method of plant protein additive identification».....	50
<i>Solovyova A.A.</i> Assessment of fermented sausage safety.....	55
<i>Solodnikov S.Yu., Lyushina G.A., Kolesova O.V., Maslova V.V., Andreeva Yu.V., Kuznetsov A.A.</i> Assessment of biological properties of wheat grass juice. Technology development for its production.....	62
<i>Chernenkova A.A., Leonova S.A., Poussenkova L.I.</i> Improvement of quality and biological value of sugar cookies by adding bee pollen.....	69

**PROCESSES, EQUIPMENT, AND APPARATUS
FOR FOOD PRODUCTION**

<i>Dotsenko C.M., Bibik I.V., Kupchak D.V., Obukhov E.B., Gryzlov V.M., Agafonov I.V.</i> Technological approach to obtaining and using soybean seed germ fraction in specific foods.....	75
<i>Ermolaev V.A., Ravnushkin E.A.</i> Investigation of barovacuum cheese drying at initial pressure increase and decrease.....	83
<i>Korotkiy I.A., Korotkaya E.V., Uchaykin A.V.</i> Investigation of the process of water purification using separation freezing.....	88
<i>Lyul'ka D.M., Ponomarenko V.V., Lementar S.Yu.</i> Low frequency oscillations of pressure in heterogeneous systems as a way to intensify mass transfer processes.....	94
<i>Savenko A.V., Sorokopud A.F., Gricenko V.V.</i> The production of nettle and birch leaves extracts in the vibration device.....	101

FOOD HYGIENE

<i>Lobach E.Yu., Vekovtsev A.A., Fesikova P.V., Poznyakovskiy V.M.</i> Clinical testing of special food for dietary nutrition.....	109
<i>Podzorova G.A., Vekovtsev A.A., Kaz'mina A.Yu., Poznyakovskiy V.M.</i> Proof of efficacy and functional orientation of "Oleoprenneuro" dietary supplement in vivo observations.....	115

Publishing editor
E.V. Dmitrieva
Script editor
A.V. Dyumina
Layout of magazine
O.P. Dolgopolova

Issued 4 times a year
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

Establisher:

Federal state-owned budgetary educational institution of higher education «Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University)» (FSBEI HE «KemIFST») 650056, Russia, Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47

The editorial office address:

650056, Russia, Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47, room 1212, tel. (3842)39-68-45
<http://fptt-journal.ru>
e-mail: food-kemtipp@yandex.ru

The publisher office address:

650056, Russia, Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47, FSBEI HE «KemIFST»

Printing Office:

650002, Russia, Kemerovo, ul. Institutskaya 7, office 2006, tel.: (3842)39-09-81

The journal is included in the SQC list of leading peer-reviewed journals (№ 6/6 from 19 February, 2010)

The Journal is included in the International Databases: AGRIS, AGRICOLA, EBSCOhost (Food Science Source), Ulrich's Periodicals Directory.

The certificate of mass media registration is El № FS 77-61607 of 30 April 2015. Given by the Federal Service on Supervision in the sphere of communication industry, information technologies and public communications

Passed for printing 15.09.2015.
Date of issue 15.09.2015.
Printed sheet 20.5.
Conventional printed sheet 19.0.
Circulation 300 cop. Order № 52.
Open price.

Subscription index for the unified «Russian Press» catalogue – 41672

Opinions of the authors of published materials do not always coincide with the editorial staff's viewpoint. Authors are responsible for the scientific content of their papers.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University) (KemIFST), Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47
© 2015, KemIFST

CHEMISTRY AND ECOLOGY

Butov A.V., Mandrova A.A. Environmentally friendly potatoes for infant and dietetic foods..... 121

STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY AND SAFETY

Beznosov Y.V., Erdakova V.P., Poznyakovskiy V.M. Development of software for evaluation of defect-free manufacture of bakery products..... 127

Budanina L.N., Vereshchagin A.L., Bychin N.V. Determination of butter-palm oil spread composition using methods of thermal analysis..... 133

Neverova O.A., Egorova I.N. Evaluation of hips (*Rosa majalis Herrm.*) gathered on the coal opencast dump in the Kemerovo region..... 139

Sokolova L.I., Belyustova K.O., Privar Yu.O., Shapkin N.P., Razov V.I. Determination of antibiotics (Chloramphenicol and Tetracycline) in foods with different matrices..... 146

Tabatorovich A.N., Reznichenko I.Yu. Peculiarities of chemical composition of apple puree as the basis for identification..... 153

INFORMATION

Order of consideration, approval and rejection of articles..... 160

Requirements for the article formatting..... 160

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ДАВЛЕНИЙ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ КАК СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Д.Н. Люлька*, В.В. Пономаренко, С.Ю. Лементарь

*Национальный университет пищевых технологий,
01601, Украина, г. Киев, ул. Владимирская, 68*

*e-mail: lulkadm@ukr.net

Дата поступления в редакцию: 27.04.2015

Дата принятия в печать: 08.07.2015

Рассмотрена интенсификация массообменных процессов на примере экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки при воздействии на сокоотружечную смесь низкочастотных механических колебаний. Исследовано формирование и перемещение слоя сокоотружечной смеси под воздействием переменных силовых полей, которые создаются вращающимися лопастями транспортной системы колонного диффузионного аппарата, и их влияние на фильтрационную способность слоя, а соответственно, степень прогрева сокоотружечной смеси, скорость массопередачи сахарозы. Решена задача уплотнения слоя сокоотружечной смеси, что позволило выявить влияние ряда факторов на процесс распределения давления в слое и процесс фильтрации экстрагента через слой стружки. Получен закон изменения давления от времени для любого фиксированного сечения слоя, а также закон изменения давления по высоте слоя для любого фиксированного промежутка времени. Распределение давлений в сокоотружечной смеси под действием рабочих органов транспортных систем в аппаратах различных типов влияет на фильтрационную способность слоя стружки и соответственно формирует температурные поля в аппаратах. Получены результаты математического моделирования процесса сжатия пористой среды для волнообразного профиля транспортных лопастей диффузионных аппаратов, которые вызывают пульсационные низкочастотные колебания сокоотружечной смеси, что приводит к заметной интенсификации массообменных процессов. Их рекомендуется применять при профилировании рабочей поверхности элементов транспортных систем, при разработке новых и модернизации существующих промышленных экстракторов.

Диффузия, сок, стружка, сокоотружечная смесь, фильтрация, давление, структурно-механические свойства

Введение

Движущей силой любого массообменного процесса является разность концентраций. В случае гетерогенного процесса массоперенос осуществляется не только внутри фазы, но и через границу раздела фаз.

Увеличить движущую силу, а следовательно и скорость процесса, возможно следующими путями:

- 1) повысить концентрацию вещества (реагента), то есть работать с более концентрированным сырьем;
- 2) понизить равновесную концентрацию вещества на границе раздела фаз.

Первый путь не всегда может быть реализован, так как концентрация исходного целевого компонента в сырье зачастую ограничена.

Реализовать второй путь интенсификации процесса массопередачи возможно, изменяя внешние условия проведения процесса. Выбор способа смещения равновесия зависит от конкретного типа исследуемой системы.

Для системы газ-жидкость сместить равновесие процесса растворения газа в жидкости можно, увеличивая общее давление (соответственно увеличивается парциальное давление абсорбируемого газа) или уменьшая температуру, при наложении на газожидкостный поток низкочастотных механических колебаний. Интенсификация абсорбции также возможна при существенном увеличении относительной скорости движения фаз [1]. Эффективным

аппаратом для осуществления такой интенсификации является эжекционный аппарат.

Для систем газ-твердое тело и жидкость-твердое тело необходимо найти условия смещения равновесия процесса массопередачи. Обычно для этого понижают температуру и повышают давление. Для систем жидкость-жидкость, а также твердое тело-жидкость (когда твердое вещество растворяется в жидкости) обычно повышают температуру. Принципы смещения равновесия в процессах массопереноса те же, что и для химических равновесий.

Другим инструментом управления гетерогенным процессом, протекающим в диффузионной области, является коэффициент массопередачи K_m , который характеризует количество вещества, переданного из фазы в фазу через единицу поверхности в единицу времени при движущей силе, равной единице. Коэффициент массопередачи выше при более высоком коэффициенте молекулярной диффузии диффундирующего вещества в данной фазе, при интенсивной конвективной диффузии и малой толщине пограничного слоя δ .

Для повышения коэффициента конвективной диффузии и уменьшения толщины пограничного слоя используют различные методы турбулизации внешнего потока: повышение скорости движения, интенсификация перемешивания, вибрация поверхности, низкочастотные механические колебания, импульсный ввод энергии, воздействие электрических и магнитных полей и др.

Не следует стремиться к максимально возможной величине межфазной поверхности. Она должна быть оптимальной, так как слишком сильное диспергирование одной из фаз приводит к уносу ее из аппарата, снижению проницаемости слоя и другим нежелательным эффектам.

Научной основой интенсификации технологических процессов является выбор наиболее эффективных способов воздействия на исследуемую систему, установление и использование новых физических эффектов, теоретическое описание поведения системы под влиянием таких воздействий.

В работе рассмотрена интенсификация массообменных процессов на примере экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки при воздействии на сокоотружечную смесь низкочастотных механических колебаний.

Если в процессе противоточного экстрагирования участвует только 20...25 % всей внешней поверхности частиц, то благодаря низкочастотным механическим колебаниям при оптимальных параметрах активная поверхность частиц приближается к 100 %.

Из общих положений теории процесса экстрагирования следует, что для интенсификации процесса необходимо увеличивать движущую силу и уменьшать диффузионное сопротивление.

Главный параметр, с помощью которого можно изменять коэффициент диффузии экстрагируемого вещества в частицах растительного сырья, – температура. Однако повышение ее выше определенного уровня для случая экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки приводит к ухудшению свойств частиц, а в результате – ухудшению условий массоотдачи и соответствующему увеличению внешнего диффузионного сопротивления, так что суммарное диффузионное сопротивление окажется в результате не меньшим, а большим.

Таким образом, при экстракции сахарозы из свекловичной стружки температура не является определяющим средством интенсификации процесса экстрагирования.

Значительное влияние на внутреннее диффузионное сопротивление оказывает размер частиц. Уменьшение размера частиц является одним из самых мощных средств для увеличения количества переданного вещества.

Очевидно, с повышением степени измельчения сырья будет увеличиваться суммарная поверхность частиц и молекулярная (внутренняя) диффузия, так как становится больше разорванных клеток сырья, экстрагент более свободно проникает в клетку и увеличивается контакт сырья с растворителем. Вслед за увеличением молекулярной диффузии должна увеличиться и наружная (конвективная), то есть диффузия от поверхности частиц сырья в экстрагент, а значит, увеличится и количество проэкстрагированной сахарозы.

Однако гидродинамические условия течения экстрагента через слой частиц по мере уменьшения их размера значительно ухудшаются. Для каждого вида сырья и условий протекания процесса суще-

ствует минимальный размер частиц, при котором суммарное внутреннее и внешнее диффузионное сопротивление является минимальным. При дальнейшем уменьшении размера частиц внешнее диффузионное сопротивление увеличивается в большей степени, чем уменьшается внутреннее сопротивление [2].

Для интенсификации процесса экстрагирования необходимо уменьшение размера частиц способствовать улучшению условий массоотдачи от поверхности частиц к экстрагенту. При этом важно как увеличение относительной скорости фаз, так и то, чтобы вся поверхность частиц участвовала в процессе. По мере уменьшения размера частиц увеличивается блокирование поверхности одних частиц другими, уменьшаются поры, по которым движется жидкость, могут возникать области, в которых жидкость не циркулирует.

Описанные процессы экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки имеют место в промышленных вертикальных диффузионных аппаратах непрерывного действия. Структурно-механические свойства сокоотружечной смеси оказывают влияние на характер противоточного перемещения твердой фазы вдоль аппарата и фильтрационную способность слоя смеси, которая изменяется при изменении давления на нее рабочими органами транспортных систем. Увеличение скорости течения экстрагента через поры твердой фазы вызывает снижение равновесной концентрации сахарозы у поверхности раздела фаз, увеличивает коэффициент массопередачи.

Согласно нашим исследованиям на величину внешнего диффузионного сопротивления оказывает влияние фильтрационная способность слоя, повысить которую возможно при воздействии низкочастотных механических колебаний, которые генерируются в систему при вращении специально разработанной лопасти волнообразного профиля [3].

Объекты и методы исследований

В промышленных экстракторах при переработке сахарной свеклы различного качества, разной степени измельчения возможно появление застойных зон, пробок, сжатие слоя свекловичной стружки с уменьшением его фильтрационной способности, наблюдается неравномерность прогревания сокоотружечной смеси. Это приводит к снижению скорости массопередачи [4].

Нами рассмотрено формирование и распределение силовых полей и их влияние на поведение сокоотружечной смеси, ее фильтрационную способность, а соответственно, степень прогрева сокоотружечной смеси и скорость массопередачи при перемещении ее лопастями различной конструкции по высоте колонны.

Сокоотружечная смесь представляет собой двухфазную систему, которая состоит из свекловичной стружки и экстрагента. Состояние смеси характеризуется величиной удельного наполнения стружкой объема диффузионного пространства. У аппаратов различных типов эта величина различна и колеблется в пределах

400...850 кг/м³ [5]. В процессе работы диффузионного аппарата сокоотружечная смесь подвергается механическому воздействию разной интенсивности, что значительно влияет на процесс экстрагирования. Для оценки этого воздействия необходимо определить локальное направление движения жидкости в аппарате, так как градиент давлений перед рабочим органом и после него разный.

Таким образом, в результате исследований необходимо изучить вопрос о распределении давлений в сокоотружечной смеси и определить коэффициент фильтрации под действием сжимающих усилий, различных по величине при прохождении смеси рабочих органов, которые перемещают твердую фазу.

Для выявления влияния распределения давления в слое сокоотружечной смеси на его фильтрационную способность используем метод математического моделирования сжатия пористой среды.

Результаты и их обсуждение

Для построения математической модели процесса сжатия сокоотружечной смеси сделаем следующие предположения:

- слой свекловичной стружки полностью насыщен экстрагентом, состояние которого в порах считается свободным, несжатым и гидравлически непрерывным;
- слой стружки принимается линейно деформированным: возникающие напряжения в нем мгновенно вызывают его перемещение;
- слой стружки не структурирован и внешнее давление, которое прикладывается к ней, моментально полностью передается на сок;
- фильтрация сока в порах слоя стружки подчиняется закону Дарси.

Внешнее давление, приложенное к выделенному объему сокоотружечной смеси, составляет:

$$P = P_{\Pi} + P_C, \quad (1)$$

где P_{Π} – избыточное давление экстрагента в порах; P_C – давление, которое передается движущимися лопастями на части свекловичной стружки.

В начальный момент времени t_1 внешнее давление P полностью передается на сокоотружечную смесь, но в следующие промежутки времени давление в соке P_C будет уменьшаться, а давление, действующее на стружку P_{Π} , расти до тех пор, пока не станет равным внешнему давлению (рис. 1).

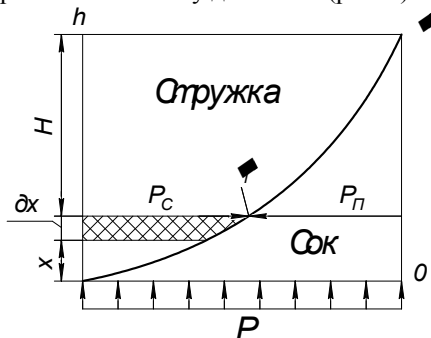


Рис. 1. Схема сжатия сокоотружечной смеси

Для элементарного слоя на глубине x в объеме сокоотружечной смеси увеличение расхода сока q равно уменьшению пористости слоя n :

$$\frac{\partial q}{\partial x} = -\frac{\partial n}{\partial t}, \quad (2)$$

где q – расход сока в направлении x ; n – объем сока в слое между стружкой.

Зависимость (2) представляет собой условие неразрывности движения сока в слое сокоотружечной смеси. По закону фильтрации Дарси для случая направленного движения сока (вдоль оси x) получим:

$$q = -k_{\phi} \cdot \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (3)$$

где k_{ϕ} – коэффициент фильтрации; H – напор в соке.

Отсюда:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = -k_{\phi} \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}. \quad (4)$$

Принимая во внимание, что напор в соке H равен избыточному давлению экстрагента в порах P_{Π} , разделенному на ρ_{Π} и g , и учитывая уравнение (1), получим:

$$P_{\Pi} = P - P_C, \quad H = \frac{P_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot g}, \quad H = \frac{P - P_C}{\rho_{\Pi} \cdot g},$$

откуда:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = -\frac{1}{\rho_{\Pi} \cdot g} \cdot \frac{\partial^2 P_C}{\partial x^2}.$$

С учетом (4) имеем:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{k_{\phi}}{\rho_{\Pi} \cdot g} \cdot \frac{\partial^2 P_C}{\partial x^2}. \quad (5)$$

Для преобразования правой части уравнения (2) введем понятие коэффициента пористости слоя сокоотружечной смеси e_{cc} . Поскольку выделенный единичный объем сокоотружечной смеси состоит из объема твердой фазы m и объема сока в порах твердой фазы n , то:

$$n + m = 1, \quad (6)$$

тогда:

$$e_{cc} = \frac{n}{m}. \quad (7)$$

Из выражений (6) и (7) получаем выражение:

$$n = \frac{e_{cc}}{1 + e_{cc}}, \quad \text{и} \quad \frac{\partial n}{\partial t} \approx \frac{1}{1 + e_{cp}} \cdot \frac{\partial e}{\partial t}. \quad (8)$$

Принимаем в знаменателе выражения (8) переменную e_{cc} , равную среднему значению пористости слоя e_{cp} .

Введем также коэффициент сжимаемости слоя m_0 , равный отношению изменения коэффициента пористости к действующему давлению:

$$m_0 = \frac{e_0 - e_i}{P_{Ci}} \quad (9)$$

Для некоего промежуточного текущего значения P_{Ci} имеем:

$$e_i = e_0 - m_0 \cdot P_{Ci}, \quad (10)$$

где e_0 – начальный коэффициент пористости.

Дифференцируя уравнение (10) по t , получим:

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -m_0 \cdot \frac{\partial P_C}{\partial t}.$$

Или:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{m_0}{1 + e_{cp}} \cdot \frac{\partial P_C}{\partial t}. \quad (11)$$

Тогда уравнение (2) с учетом выражений (5) и (11) можно записать в виде:

$$\frac{k_\phi \cdot (1 + e_{cp})}{m_0 \cdot \rho_{II} \cdot g} \cdot \frac{\partial^2 P_C}{\partial x^2} = \frac{\partial P_C}{\partial t}.$$

Обозначив множитель в левой части через a , получим в конечном виде дифференциальное уравнение одномерной задачи уплотнения сокостружечной смеси:

$$\frac{\partial P_C}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 P_C}{\partial x^2}, \quad (12)$$

где

$$a = \frac{k_\phi \cdot (1 + e_{cp})}{m_0 \cdot \rho_{II} \cdot g}. \quad (13)$$

Величина a называется коэффициентом фильтрационного уплотнения, который отражает исходные условия задачи по характеристике уплотнения сокостружечной смеси.

Для однозначного решения уравнения (12) дополняем его крайними условиями сжатия слоя смеси толщиной $2h$ при двухсторонней фильтрации экстрагента (вверх и вниз) (рис. 2).

Выбираем начало координат в центре слоя. В этом случае функция $P_C(x, t)$ является четной относительно x для любого фиксированного t , поэтому данная задача является симметричной и для нее при $x = 0$ можно записать условие симметрии в виде (первое граничное условие):

$$\frac{\partial P_C(0, t)}{\partial x} = 0. \quad (14)$$

Поскольку рассматриваем фильтрацию сока через слой, то второе граничное условие при $x = h$ может быть записано в виде:

$$P_C(h, t) = P = const, \quad (15)$$

так как сок свободно выходит после фильтрации сквозь внешнюю поверхность слоя $x = h$. Начальным условием задачи примем, что в момент времени $t = 0$ по глубине слоя уплотнительное давление равномерно распределено: $P_0 = const$:

$$P_C(x, 0) = P_0 = const. \quad (16)$$

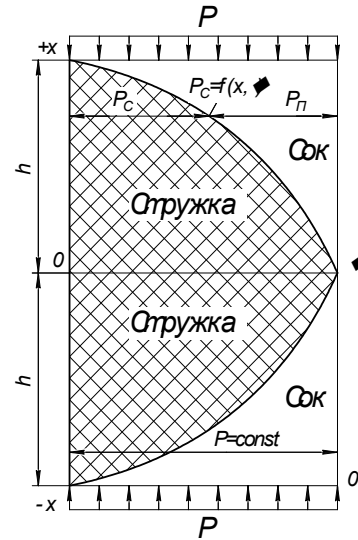


Рис. 2. Сжатие слоя смеси при двухсторонней фильтрации экстрагента

Тогда краевая задача может быть сформулирована в виде:

$$\frac{\partial P_C(x, t)}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 P_C(x, t)}{\partial x^2}, \quad (t > 0, -h \leq x \leq +h), \quad (17)$$

$$\frac{\partial P_C(0, t)}{\partial x} = 0, \quad (18)$$

$$P_C(h, t) = P = const, \quad (19)$$

$$P_C(x, 0) = P_0 = const. \quad (20)$$

Решение задачи проведем методом разделения переменных (методом Фурье). Частное решение уравнения (17) представим в виде произведения функций, каждая из которых зависит только от одного аргумента x или t :

$$P_C(x, t) = c \cdot \theta(t) \cdot \psi(x) \quad (21)$$

Подставим выражение (21) в (17):

$$\theta_i(t) \cdot \psi(x) = a \cdot \theta(t) \cdot \psi_{xx}(x),$$

откуда:

$$\frac{\theta_i(t)}{\theta(t)} = a \cdot \frac{\psi_{xx}(x)}{\psi(x)}, \quad (22)$$

где

$$\theta_i(t) = \frac{\partial \theta(t)}{\partial t}, \quad \psi_{xx}(x) = \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2}.$$

Выражение (22) должно выполняться при любых значениях x, t . Это возможно только в том случае, если правая и левая его части равны некоторой постоянной величине:

$$\frac{\theta_t(t)}{\theta(t)} = F, \quad (23)$$

$$a \cdot \frac{\psi_{xx}(x)}{\psi(x)} = F. \quad (24)$$

Интегрируя выражение (23), получим:

$$\theta(t) = e^{F \cdot t}. \quad (25)$$

Так как при прохождении бесконечно большого промежутка времени ($t \rightarrow \infty$) величина $P_C(x, t)$ принимает конечное значение, а именно $P_C \rightarrow P = const$, следовательно, из физических соображений величина F может быть только отрицательной. Поскольку величина F пока произвольная постоянная по числовым значениям, то можно принять $F = -a \cdot k^2$, где $a > 0$; k – некоторая постоянная, что определяется из граничных условий.

Тогда получим:

$$\theta(t) = e^{-a \cdot k^2 \cdot t}, \quad (26)$$

а уравнение (24) может быть представлено в виде:

$$\psi_{xx}(x) + k^2 \cdot \psi(x) = 0. \quad (27)$$

Решением уравнения (27) в общем виде будет выражение:

$$\psi(x) = A \cdot \sin kx + B \cdot \cos kx. \quad (28)$$

Тогда частное решение уравнения фильтрационного уплотнения будет иметь вид:

$$P_C(x, t) = (A \cdot \sin kx + B \cdot \cos kx) \cdot e^{-a \cdot k^2 \cdot t}. \quad (29)$$

Из условия симметрии (18) следует, что:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_C(0, t)}{\partial x} &= \lim_{x \rightarrow 0} (A \cdot k \cdot \cos kx - B \cdot k \cdot \sin kx) \cdot e^{-a \cdot k^2 \cdot t} = \\ &= A \cdot k \cdot e^{-a \cdot k^2 \cdot t} = 0, \end{aligned}$$

откуда $A = 0$.

Рассмотрим второе граничное условие. Для упрощения расчета временно примем $P = 0$, то есть уплотнение проходит под действием силы тяжести слоя смеси.

Итак:

$$P_C(h, t) = B \cdot \cos(k \cdot h) \cdot e^{-a \cdot k^2 \cdot t} = 0,$$

отсюда следует, что $\cos(k \cdot h) = 0$, следовательно, $k_n = (2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{h}$, где $n = 1, 2, \dots$, а k имеет бесконечное количество решений. Итак, общее решение представляет собой сумму всех частных решений:

$$\begin{aligned} P_C(x, t) &= \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot \cos \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right] \times \\ &\times \exp \left[-(2 \cdot n - 1)^2 \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2} \right]. \quad (30) \end{aligned}$$

Общее решение данной задачи можно записать так:

$$P_C(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot P_0}{k_n \cdot h} \cdot \sin(k_n \cdot h) \cdot \cos(k_n \cdot h \cdot x) \cdot e^{-a \cdot k_n^2 \cdot t}, \quad (31)$$

или:

$$\begin{aligned} \frac{P_C(x, t)}{P_0} &= 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \cdot \cos \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right] \times \\ &\times \exp \left[-(2 \cdot n - 1)^2 \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2} \right]. \quad (32) \end{aligned}$$

Если внешнее давление не равно нулю, а равно P , так как это следует из условия задачи, то решение (32) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} P_C(x, t) &= P - (P - P_0) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \cdot \frac{4}{(2 \cdot n - 1) \cdot \pi} \cdot \cos \left[(2 \cdot n - 1) \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right] \times \\ &\times \exp \left[-(2 \cdot n - 1)^2 \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2} \right]. \quad (33) \end{aligned}$$

Для решения практических задач ограничимся первым членом ряда, то есть примем $n = 1$, отсюда получим:

$$P_C(x, t) = P - (P - P_0) \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2}}. \quad (34)$$

В случае приложения большого внешнего давления $P \gg P_0$ уравнение (34) примет вид:

$$P_C(x, t) = P \cdot \left[1 - \frac{4}{\pi} \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h} \right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2}} \right]. \quad (35)$$

Полученное аналитическое решение задачи уплотнения слоя сокоотружечной смеси (35) позволяет выявить влияние ряда факторов на процесс распределения давления в слое и процесс фильтрации экстрагента через слой стружки.

1. Из выражения (35) можно получить закон изменения давления P_C от времени для любого фиксированного сечения слоя $x = h_1 = const, 0 \leq h_1 \leq +h$:

$$P_C(h_1, t) = P \cdot (1 - A \cdot e^{-B \cdot t}), \quad (36)$$

где A и B – некоторые постоянные числа для данного значения.

2. Аналогично можно получить закон изменения давления по высоте слоя для любого фиксированного промежутка времени $t = t_j$:

$$P_C(x, t_j) = P \cdot \left[1 - A_1 \cdot \cos \left(\frac{\pi \cdot x}{2 \cdot h} \right) \right], \quad (37)$$

где A_1 – некоторое постоянное число для данного значения t_j .

3. Решение уравнения (1) позволяет найти распределение давлений в экстрагенте в любом сечении слоя для любого момента времени при заданной внешней нагрузке P . Предварительно по выражению (35) просчитывается значение P_C .

4. Уравнение (35) позволяет определить скорость фильтрации сока в любом сечении слоя для любого момента времени.

Из уравнения (5) следует, что:

$$q = \frac{k_\phi}{\rho_{II} \cdot g} \cdot \frac{\partial P_C}{\partial x}.$$

Таким образом, чтобы определить расход сока (объемную скорость фильтрации), необходимо дифференцировать по x уравнение (35). В результате получим:

$$q = \frac{k_\phi}{\rho_{II} \cdot g} \cdot P \cdot \frac{2}{h} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot h} \cdot x\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2 \cdot a}{4 \cdot h^2 \cdot t}}. \quad (38)$$

5. Из решения (35) видно, что изменения физико-механических свойств сокостружечной смеси, которые учтены параметром a , влияют на распределение давлений P_C и P аналогично изменению продолжительности процесса.

Выводы

Полученные решения описывают изменение параметров, характеризующих состояние сокостружечной смеси в разные моменты времени ее пре-

бывания в аппарате. Фильтрационная способность слоя стружки под действием давления, которое вызвано силовым воздействием лопастей транспортной системы, формирует температурные поля в аппаратах, поскольку в большинстве из них нагревание стружки происходит за счет передачи тепла стружке от нагретого сока. Фильтрационная способность слоя стружки косвенно характеризует протекание массообменных процессов между твердой фазой и экстрагентом. Повышение скорости фильтрации слоя стружки вызывает однозначное увеличение скорости массообменных процессов.

На основе полученных результатов математического моделирования процесса сжатия пористой среды был разработан волнообразный профиль транспортной системы, при движении которого поочередно вызывалось сжатие пористого слоя и последующее его увеличение. Вызванные механическим воздействием пульсационные низкочастотные колебания сокостружечной смеси приводят к заметной интенсификации массообменных процессов при ограниченной технологическими возможностями и экономической целесообразностью объемной скорости экстрагента.

Результаты математического моделирования фильтрационной способности слоя позволяют провести профилирование рабочей поверхности элементов транспортных систем при разработке новых и модернизации существующих промышленных экс-тракторов различных типов и производительности.

Список литературы

1. Wave motion and heat and mass transfer of the disperse phase under the conditions of low-frequency gas pulsations Original Research Article International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 53, Issues 15–16, July 2010, Pages 3213-3221 P.V. Akulich, A.V. Akulich, V.L. Dragun.
2. Верхола, Л.А. Гидродинамические процессы в колонных диффузионных установках / Л.А. Верхола, Н.Н. Пушанко // Цукор України. – 2008. – № 6. – С. 33–41.
3. Люлька, Д.Н. Зависимость интенсивности массоотдачи в системе «свекловичная стружка – диффузионный сок» от конструкции транспортных систем колонных диффузионных аппаратов / Д.Н. Люлька, А.А. Серегин // Сахар. – 2010. – № 3. – С. 47–48.
4. Василяка, А. Пути повышения тепловой и технологической эффективности диффузионных установок / А. Василяка, Л. Верхола, М. Ладановский // Сахар и свекла. – 2011. – № 1. – С. 22–24.
5. Пушанко, М.М. Розподіл питомого навантаження стружки в об'ємі колонних дифузійних апаратів / М.М. Пушанко, А.М. Парахоня // Цукор України. – 2012. – № 9. – С. 12–16.

LOW FREQUENCY OSCILLATIONS OF PRESSURE IN HETEROGENEOUS SYSTEMS AS A WAY TO INTENSIFY MASS TRANSFER PROCESSES

D.N. Lyul'ka*, V.V. Ponomarenko, S.Yu. Lementar

National University of Food Technologies,
68, Volodymyrska Str., Kyiv, 01601, Ukraine

*e-mail: lulkadm@ukr.net

Received: 27.04.2015

Accepted: 08.07.2015

The intensification of mass transfer processes has been considered by the example of the sucrose extraction from beet chips under the influence of low frequency mechanical oscillations on a juice-chips mixture. The formation and the layer movement of the juice-chips mixture have been investigated under the influence of variable force fields that are generated by the rotating blades of the handling system of the column diffuser, and their impact on the filtering ability of the layer, and the degree of juice-chips mixture warming respectively, the rate of sucrose mass transfer. The problem of thickening the layer of juice-chips mixture has been solved,

which enables to reveal the influence of several factors on the pressure distribution in the layer and filtering of the extracting agent through the layer of beet chips. The law governing the change in pressure over time for any fixed section of a layer, has been obtained as well as the law of changes in pressure through the layer height for any fixed period of time. The pressure distribution in juice-chips mixture under the influence of the handling systems in various types of devices affects the filtration ability of the beet chips layer and thus forms the temperature fields in the apparatuses. The results of mathematical modeling of the porous medium compression for the wave-like profile of the handling blades of diffusers have been obtained, which cause pulsating low frequency oscillations of juice-chips mixture. This leads to a significant intensification of mass transfer processes. The results of studies are recommended for profiling the working surface of elements of handling systems, and for developing new and modernizing the existing commercial extractors.

Diffusion, juice, beet chips, juice-chips mixture, filtration, pressure, structural and mechanical properties

References

1. Akulich P.V., Akulich A.V., Dragun V.L. Wave motion and heat and mass transfer of the disperse phase under the conditions of low-frequency gas pulsations Original Research Article. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, July 2010, vol. 53, iss. 15–16, pp. 3213–3221.
2. Verhola L.A., Pushanko N.N. Hidrodinamicheskie processy v kolonnykh diffuzionnykh ustanovkakh [Hydrodynamic processes in columned diffusive installations]. *Zhurnal «Cukor Ukraini»*, 2008, no. 6, pp. 33–41.
3. Ljul'ka D.N., Seregin A.A. Zavisimost' intensivnosti massootdachi v sisteme «sveklovichnaja struzhka – diffuzionnyj sok» ot konstrukcii transportnykh sistem kolonnykh diffuzionnykh apparatov [Dependence of the intensity mass transfer in the system "beet chips - diffusion juice" on the design of transport systems of column diffusers]. *Sahar [Sugar]*, 2010, no. 3, pp. 47–48.
4. Vasiljaka A., Verhola L., Ladanovskij M. Puti povysheniya teplovoj i tehnologicheskoy jeffektivnosti diffuzionnykh ustanovok [Ways to improve the thermal and technological efficiency diffusion systems]. *Sahar i svekla [Sugar and beet]*, 2011, no. 1, pp. 22–24.
5. Pushanko M.M., Parahonja A.M. Rozpodil pitomogo navantazhennija struzhki v ob'emi kolonnykh difuzijnih aparativ [Average specific load chips in volume columnar diffusion facilities]. *Zhurnal «Cukor Ukraini»*, 2012, no. 9, pp. 12–16.

Дополнительная информация / Additional Information

Люлька, Д.Н. Низкочастотные колебания давлений в гетерогенных системах как способ интенсификации массообменных процессов / Д.Н. Люлька, В.В. Пономаренко, С.Ю. Лементарь // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 38. – № 3. – С. 94-100.

Lyul'ka D.M., Ponomarenko V.V., Lementar S.Yu. Low frequency oscillations of pressure in heterogeneous systems as a way to intensify mass transfer processes. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2015, vol. 38, no. 8, pp. 94-100 (In Russ.).

Люлька Дмитрий Николаевич

канд. техн. наук, доцент кафедры технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий, 01601, Украина, г. Киев, ул. Владимирская, 68, тел.: +38 (044) 289-54-72, e-mail: lulkadm@ukr.net

Пономаренко Виталий Васильевич

канд. техн. наук, доцент кафедры технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий, 01601, Украина, г. Киев, ул. Владимирская, 68

Лементарь Святослав Юрьевич

канд. техн. наук, доцент кафедры технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования, Национальный университет пищевых технологий, 01601, Украина, г. Киев, ул. Владимирская, 68

Dmytro N. Lyul'ka

Cand. Tech. Sci., Associate Professor of the Department of Technological Equipment and Computer Design Technology, National University of Food Technologies, 68, Volodymyrska Str., Kyiv, 01601, Ukraine, phone: +38(044) 289-54-72, e-mail: lulkadm@ukr.net

Vitaliy V. Ponomarenko

Cand. Tech. Sci., Associate Professor of the Department of Technological Equipment and Computer Design Technology, National University of Food Technologies, 68, Volodymyrska Str., Kyiv, 01601, Ukraine

Svyatoslav Yu. Lementar

Cand. Tech. Sci., Associate Professor of the Department of Technological Equipment and Computer Design Technology, National University of Food Technologies, 68, Volodymyrska Str., Kyiv, 01601, Ukraine

