УДК 664.857.2

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПОТОКОВ В РОТОРНО-ПЛЕНОЧНОМ ВЫПАРНОМ АППАРАТЕ

А.С. Ащеулов

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

e-mail: dobriyandrey@mail.ru

Дата поступления в редакцию: 02.03.2016
Дата принятия в печать: 01.06.2016

В технологических процессах пищевых производств обработка сырья в тонких слоях занимает особое место, так как зачастую технология предусматривает операции концентрирования жидких продуктов, которые могут терять полезные свойства при нагреве до высоких температур, а при длительном времени обработки – прилипать. В этом случае эффективность применения пленочных аппаратов выше, поэтому роторно-пленочные испарители широко используются также в химической, фармацевтической и других отраслях промышленности. В работе приводятся результаты исследования кинетических закономерностей движения потоков жидкости в роторно-пленочном выпарном аппарате, также дается анализ факторов, влияющих на процесс выпаривания в подвижной тонкой пленке. Определено, что получение качественных сгущенных продуктов зависит от равномерности распределения обрабатываемого раствора по рабочей поверхности аппарата. Визуальные наблюдения процесса образования пленки показали, что жидкость, находящаяся в зазоре между рабочей поверхностью аппарата и вращающейся лопастью ротора, образует подвижный клин, что позволило использовать аналогию с теорией смазки при описании движения жидкостного клина в подшипнике скольжения. Для проведения количественного анализа влияния конструктивных и режимных параметров работы аппарата на равномерность распределения пленки обрабатываемого раствора использовался аналитический метод построения зависимостей. Путем преобразования аналитического выражения напряжения сдвига между слоями получено выражение для определения силы действия лопасти на раствор. Проведен анализ влияния вязкости раствора, величины давления в аппарате и скорости вращения ротора на равномерность образования жидкостной пленки. Графическим методом найдено направление действия сил со стороны лопасти при различных параметрах работы и определено направление движения потоков в объеме роторно-пленочного выпарного аппарата. На основе полученных данных предложены рекомендации по подбору конструктивных и рабочих параметров аппарата.

Выпаривание, выпарной аппарат, лопасть, пленка, вязкость, трение

Введение

Производство пищевых продуктов с повышенными качественными характеристиками опирается на применение сырья, которое обладает всеми полезными свойствами природной растительной основы [1, 2]. Использование концентрированных густых настоев и добавок распространено во многих технологических процессах. Процесс выпаривания – это основа при производстве продуктов, таких как сгущенные молочные продукты, плодовые соки, томатная паста, повидло и другие [3, 4]. Концентрирование исходного продукта происходит за счет удаления легколетучей фракции растворителя, что в свою очередь позволяет продлить не только сроки хранения полуфабрикатов и готового продукта, но также уменьшить их объем и массу при хранении и транспортировке.

Наиболее целесообразно процесс концентрирования экстрактов из растительного сырья проводить в выпарных аппаратах роторно-пленочного типа, так как они обладают рядом преимуществ перед другими, а именно обработка термолабильных растворов, достижение более высокого качества продукта с сохранением всех исходных полезных свойств [5].

При изучении кинетики движения потоков жидкости в роторно-пленочном выпарном аппарате важно учитывать, что благодаря сжатию жидкости в клине между лопастью и рабочей поверхностью аппарата возникает давление на рабочий орган, а также нормальная сила, имеющая направление по нормали к его поверхности.

Р. Шнейдер изучал процесс концентрирования в роторно-пленочном аппарате с шарнирно-закрепленными лопастями, использовав при этом метод отсечки, с помощью которого находил толщину пленки и время задержания жидкости в аппарате, а также визуально определял характер течения. Для этого он использовал аппарат диаметром 160 мм и прозрачную модель. Его работа выполнялась на воде,

глицерине и в смесях этих веществ при температуре 20 °С [6].

Из данного исследования можно сделать вывод, что толщина пленки растет прямо пропорционально плотности орошения и вязкости жидкости. За счет того, что модель аппарата выполнена из прозрачного материала, появилась возможность наблюдения за характером течения раствора. Это позволило выявить, что жидкость перед лопастью течет в виде носовой волны. Время пребывания жидкости в аппарате тем выше, чем выше вязкость. Увеличение плотности орошения до определенного значения приводит к тому, что уменьшается нахождение жидкости в аппарате, со временем нахождение жидкости в аппарате становится постоянным.

В связи с тем, что ученый в своих трудах не указывает технические данные аппарата, такие как количество лопастей в сечении аппарата и скорость вращения ротора, трудно определить зависимость времени нахождения раствора в аппарате от плотности орошения, однако общий характер изменения толщины пленки и время пребывания жидкости в аппарате можно проследить.

Целью данной работы является изучение движения потока жидкости в роторно-пленочном выпарном аппарате.

Объекты и методы исследований

Анализ распределения жидкости в роторно-пленочном выпарном аппарате исходя из равновесия центробежных и динамических усилий, действующих на лопасть, показал, что в зазоре между рабочим органом и корпусом аппарата жидкость рассматривается как клин с углом при вершине θ. Носовая волна образуется из-за вытеснения жидкости перед фронтом лопасти (рис. 1).

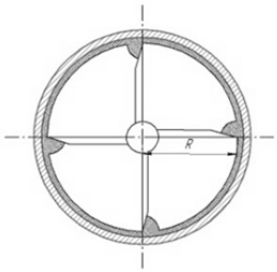

Рис. 1. Распределение жидкости шарниро-закрепленной лопастью

При сжатии жидкости в клине между стенкой аппарата и лопастью ротора возникает давление на последнюю и соответствующая сила, направленная по нормали к ее поверхности [7]. При этом возникает гидродинамическая обстановка, аналогичная при трении в подшипниках скольжения. Поэтому дальнейшие выводы основываются на теории смазки.

При ширине лопасти и зазоре h_0 между средней точкой лопасти и стенкой линейный зазор выражается:

$$h = h_0 \cdot \left(1 - \frac{l \cdot tg\theta}{2 \cdot h_0}\right), \quad (1)$$

где l – ширина лопасти ротора [8].

Рассмотрим часть роторно-пленочного аппарата, а именно одну лопасть ротора, стенку и жидкость, находящуюся между ними. Лопасть ротора движется с постоянной скоростью ($v_Л = v_0$) относительно рабочей поверхности аппарата ($V_А = 0$). Для того чтобы провести анализ движения жидкости, находящейся между плоскостями рабочего органа и рабочей поверхностью аппарата, разбиваем ее на мельчайшие слои так, что слои, находящиеся ближе к плоскостям, прилипают к ним, слой около плоскости лопасти захватывается и приобретает ее скорость, а ближайший слой жидкости к стенке аппарата статичен. Причем скорость всех слоев v изменяется линейно от стенки аппарата к лопасти ротора от 0 до V_0 аналогично ламинарному течению, когда все слои двигаются параллельно друг другу, таким образом градиент скорости равен:

$$\frac{dv}{dz} = \frac{v_0}{h}, \quad (2)$$

где h – зазор между поверхностями лопасти ротора и стенкой аппарата.

Эту разницу в скоростях рассматриваемых слоев жидкости можно объяснить трением между ними, оно называется внутренним трением. Рассмотрим случай, представленный на рис. 2. Плоские поверхности, обозначенные буквами *AB* и *CD*, параллельны друг другу. Поверхность *AB*, это лопасть ротора, движется с постоянной скоростью *V*. Поверхность *CD* (стенка аппарата) неподвижна. Толщина жидкой пленки, разделяющей поверхности, равна *h*.

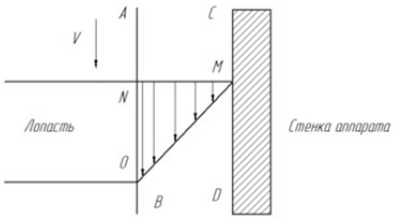

Рис. 2. Распределение скоростей движения пленки

Такую пленку можно представить состоящей из отдельных молекулярных слоев, на которые действуют силы сдвига. Эти слои скользят один относительно другого. Будем считать, что в контакте приповерхностного слоя жидкости с соответствующей поверхностью нет проскальзывания, и, следовательно, слой, соприкасающийся с движущейся пластиной, перемещается со скоростью *V*, а слой, прилегающий к неподвижной плоскости, имеет скорость, равную нулю. Скорость частицы жидкости, находящейся в какой-либо промежуточной точке между поверхностями, пропорциональна расстоянию от этой точки до поверхности *CD*. То

обстоятельство, что распределение скоростей *MO* в сечении *MN* является прямолинейным, указывает, что напряжение сдвига постоянно по толщине пленки. Поскольку рассматривается несжимаемая жидкость, площади распределений скорости, например *MNO*, пропорциональны количеству жидкости, проходящему через соответствующие поперечные сечения зазора.

Пусть напряжение сдвига, действующее на поверхности:

$$T = F / S, \tag{3}$$

где F – постоянная тангенциальная сила, которая перемещает лопасть относительно поверхности аппарата, а S – площадь контакта лопасти и стенки.

Это напряжение сдвига (или удельная сила трения) передается от слоя к слою за счет внутреннего трения между ними и, более того, пропорционально градиенту скорости:

$$T = \eta \frac{dv}{dz}, \tag{4}$$

где η – коэффициент пропорциональности, называемый вязкостью или коэффициентом вязкости.

Легко убедиться, что в последнем уравнении dv/dz представляет собой скорость деформации (сдвига) жидкости, которая определяется как изменение прямого угла элемента жидкости. Действительно, точка P, находящаяся в некотором элементе жидкости, за время dt сместится на расстояние PC: тогда прямой угол POA изменится на dy. Отсюда следует $dy/dt = v_0/h$. Анализируя (3) и (4), получим:

$$\frac{F}{S} = \eta \frac{dv}{dz} \tag{5}$$

или с учетом (2):

$$\frac{F}{S} = \eta \frac{v_0}{h}. \tag{6}$$

Выражая силу, действующую на лопасти ротора, получим:

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{v_0}{h}. \tag{7}$$

Так как происходит вращательное движение, то (7) примет вид:

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{\omega \cdot R}{h}, \tag{8}$$

где ω — угловая скорость; R – расстояние от ротора до стенки аппарата.

Мощность, необходимая для приведения лопасти в движение, определяется выражением:

$$N = z \cdot F \cdot \omega, \tag{9}$$

где z – количество лопастей ротора.

Объединяя (9) с (8), мощность будет выражаться следующим выражением:

$$N = z \cdot \frac{\eta \cdot S \cdot R \cdot \omega^2}{h}. \tag{10}$$

Результаты и их обсуждение

Разработан и запатентован вертикальный роторно-пленочный выпарной аппарат [9]. Он состоит из следующих элементов: вертикально расположенного цилиндрического корпуса 1 с греющей рубашкой 2, патрубков для ввода продукта 3 и для вывода паров спирта 4, вертикально расположенного ротора 5 с лопастями 6, распределителя 7, резервуара для сбора готового продукта 8. Ротор закреплен в подшипниковых опорах 9 и приводится во вращение электродвигателем 10 (рис. 3).

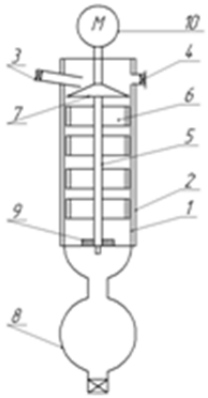

Рис. 3. Роторно-пленочный выпарной аппарат

Работа роторно-пленочного выпарного аппарата осуществляется следующим образом. Перед запуском аппарат вакуумируется с помощью вакуум-насоса. Исходный раствор подается в корпус 1 через патрубок 3 на распределитель 7. За счет центробежной силы раствор равномерно разбрызгивается на стенку корпуса 1. Продукт под действием силы тяжести стекает и распределяется лопастями 6, образуя пленку на поверхности корпуса 1. Одновременно с этим со стороны греющей рубашки передается тепло движущейся пленке, за счет чего происходит интенсивное испарение легколетучих фракций. Пары спирта через патрубок 4 выводятся из аппарата для последующей конденсации, а концентрированный продукт опускается в резервуар 8.

Благодаря распределителю 7 обеспечивается равномерное и качественное распределение продукта по стенке корпуса 1. Подбором скорости вращения ротора и величины давления вакуума увеличивается интенсивность и эффективность концентрирования спиртовых настоев плодово-ягодного сырья и выпаривания легколетучих компонентов и, как следствие, увеличивается концентрация конечного продукта.

Рассмотрим элементарную частицу А материала, движущегося в аппарате. На точку действуют две силы, это сила притяжения земли *G* и сила, действующая со стороны лопастей ротора *F*. Суммарная сила $P_{сум}$ будет находиться сложением этих двух сил. Сила притяжения будет всегда постоянной в отличие от силы *F*, так как из (8) видно, что некоторые переменные могут изменяться. Суммарная сила находится из выражения

$$P_{сум} = \sqrt{G^2 + F^2} \qquad (11)$$

или

$$P_{сум} = \sqrt{m^2 \cdot g^2 + \left((\eta \cdot S \cdot \frac{\omega \cdot R}{h}\right)^2} \cdot \qquad (12)$$

В данном выражении изменяемыми переменными являются масса раствора *m* в данной точке, угловая скорость *ω*. Эти величины могут изменяться как в процессе выпаривания, так и перед его началом в зависимости от желаемого результата. Вязкость раствора отличается тем, что может быть различной в начале процесса, это зависит от свойств исходного раствора, но также изменяется в процессе выпаривания за счет изменения химических и физических свойств обрабатываемого раствора. Остальные величины неизменны, а именно ширина пластины *S*, расстояние от ротора до рабочей поверхности аппарата *R*, зазор между лопастью и стенкой аппарата *h*, это конструктивные параметры аппарата.

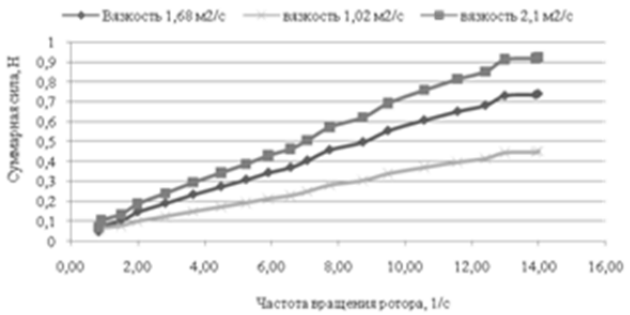

Рис. 4. График зависимости суммарной силы от величины оборотов

Из рис. 4 видно, что с уменьшением скорости вращения ротора суммарная сила будет приближаться к направлению силы тяжести. Тем самым материал в аппарате будет практически не задерживаться. Просто протекать через аппарат. Также при низких скоростях образование пленки нестабильно, в связи с этим ухудшается процесс выпаривания. Изучая график и формулу (12), можно сделать вывод, что на время, которое находится раствор в аппарате, влияет много факторов.

На рис. 4 представлен график изменения суммарной силы при изменении количества оборотов, из которого можно сделать вывод, что сила, действующая на раствор, значительно увеличивается с ростом оборотов ротора. Данный график получен аналитическими расчетами суммарной силы (12) для изучения степени влияния вязкости раствора и частоты вращения ротора на нее. Так, наблюдается рост силы с увеличением вязкости. При частоте вращения ротора до 2 $с^{-1}$ затрачиваемая суммарная сила практически не отличается при разной вязкости, но дальнейшее повышение оборотов приводит к тому, что разность силы при различной вязкости заметно увеличивается.

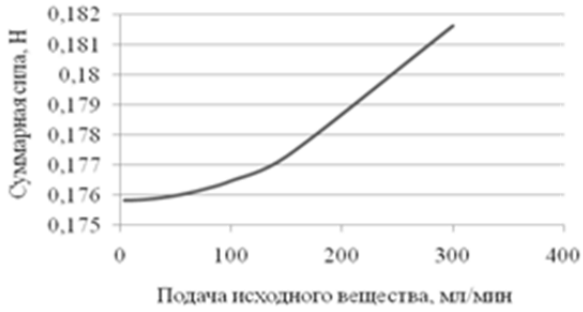

Рис. 5. График зависимости суммарной силы от расхода исходного раствора

Анализ рис. 5 показывает, что сила действия лопастей ротора на обрабатываемый раствор возрастает с ростом расхода вещества. Сравнивая рис. 4 и 5, можно сделать вывод, что рост суммарной силы при изменении числа оборотов более значительный, чем при изменении подачи.

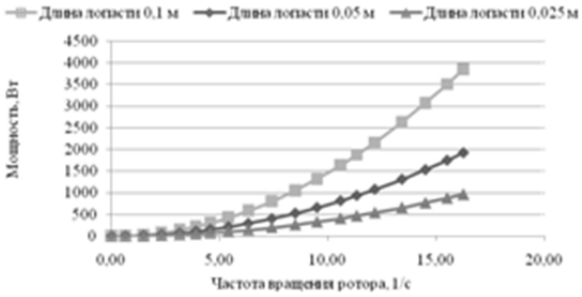

Рис. 6. График изменения расчетной мощности

Из графика на рис. 6 можно сделать вывод о том, что мощность тем выше, чем выше обороты. Рост мощности также связан и с конструктивной особенностью аппарата, а именно: чем больше длина лопастей ротора, тем большее количество мощности тратится. Данный график получен путем графического построения формулы мощности (10) для визуального определения зависимости мощности от конструктивных особенностей лопастей ротора и режимного параметра работы двигателя, а именно частоты вращения ротора. Выбор верхнего значения частоты вращения ротора обусловливается тем, что необходимо определить, при какой частоте оборотов происходит значительный рост мощности. Так, из графика видно, что при значении

6 $с^{-1}$ происходит резкий скачок мощности, и это приводит к лишним затратам энергии. Данный вывод подтверждается экспериментальными данными, которые показали, что увеличение частоты вращения ротора свыше 6 $с^{-1}$ приводит к нарушению образования пленки на рабочей поверхности аппарата.

На основе проведенных исследований движения потоков жидкости в роторно-пленочных аппаратах получены рекомендации по выбору конструкции, размерам лопастей ротора, частоты вращения ротора. Используя полученные данные, разработан и запатентован роторно-пленочный выпарной аппарат. Предложена модель, которая позволяет рассчитывать направление движения жидкости, геометрическое положение частицы в аппарате. Анализ модели дает возможность рассчитать необходимую мощность для работы роторно-пленочного аппарата при различных условиях, что в свою очередь позволяет выбрать двигатель для различных режимов и конструкций роторных аппаратов.

Список литературы

1. Мустафина, А.С. Маркетинговое исследование рынка продуктов, содержащих экстракты и концентраты плодово-ягодного сырья / А.С. Мустафина, И.А. Бакин // Ползуновский вестник. − 2013. – № 12/2. − С. 132−137.

2. Исследование технологических процессов получения экстрактов ягод черной смородины / И.А. Бакин, А.С. Мустафина, Л.А. Алексенко, П.Н. Лунин // Вестник КрасГАУ. − 2014. − № 12. – С. 227−230.

3. Бакин, И.А. Совершенствование технологии экстрагирования ягодного сырья с использованием ультразвуковой обработки / И.А. Бакин, А.С. Мустафина, П.Н. Лунин // Вестник КрасГАУ. − 2015. − № 12. − С. 91−95.

4. Бакин, И.А. Изучение химического состава ягод черной смородины в процессе переработки / И.А. Бакин, А.С. Мустафина, П.Н. Лунин // Вестник КрасГАУ. − 2015. − № 6. − С. 159−162.

5. Лысянский, В.М. Экстрагирование в пищевой промышленности / В.М. Лысянский, С.М. Гребенюк. – М.: Агропромиздат, 1987. – 188 с.

6. Schneider, R. Ein neuer Dunnschichtverdampfer. - "Chem. Ing. Techn.", 1965, Bd. 27, N 5, S. 257-261.

7. Кавецкий, Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2000. – 551 с.

8. Кафаров, В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1979. – 439 с.

9. Пат. 117824 Российская Федерация, МПК7 и B01D1/22,/. Вертикальный роторно-пленочный выпарной аппарат / Бакин И.А., Мустафина А.С., Ащеулов А.С., Кобзев Ю.Н., Зайцева Е.А.; заявитель и патентообладатели: Бакин И.А., Мустафина А.С., Ащеулов А.С., Кобзев Ю.Н., Зайцева Е.А. – № 2012105138/05; заявл. 14.02.2012; опубл. 10.07.2012.

10. Алексенко, Л.А. Исследование процессов концентрирования настоев ягод черной смородины / Л.А. Алексенко, И.А. Бакин // Пищевые инновации и биотехнологии: материалы Междунар. науч. конф. – Кемерово: КемТИПП, 2015. – С. 138–139.

11. Бакин, И.А. Аппаратурное оформление процессов экстрагирования и концентрирования ягод черной смородины / И.А. Бакин, Л.А. Алексенко, П.Н. Лунин // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VII Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием (21–23 мая 2014, г. Бийск) / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 305–307.

12. Иванец, В.Н. Интенсификация процессов гомогенизации и диспергирования при получении сухих, увлажненных и жидких комбинированных продуктов / В.Н. Иванец, И.А. Бакин, Г.Е. Иванец // Техника и технология пищевых производств. − 2012. – № 3. – С. 34–45.

INVESTIGATION OF KINETICS FLOWS IN A ROTARY-FILM EVAPORATOR

A.S. Ashcheulov

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

e-mail: dobriyandrey@mail.ru

Received: 02.03.2016
Accepted: 01.06.2016

The processing of raw materials in thin layers has a special significance in the technological food processes, because technology frequently involves operations of concentrating liquid products, which can lose the beneficial properties when heated to high temperatures and which can stick when processed for a long time. In this case, the efficiency of using apparatuses is higher; therefore the rotary-film evaporators are widely used also in chemical, pharmaceutical and other industries. The article presents the results of the investigation of kinetic motion of fluid flows in a rotary-film evaporator, and also analyzes the factors affecting the evaporation process in the mobile thin film. It has been determined that to obtain high-quality condensed products depends on the uniform distribution of the solution treated on the working surface of the apparatus. The visual observation of the film forming process has shown that the fluid in the gap between the working surface of the apparatus and the jacket of the rotor blade forms a movable wedge. It enables to use the analogy with the lubrication theory when describing the wedge motion in the sliding bearing. The

analytical method for constructing dependences was used to conduct the quantitative analysis of the impact of the design and operational parameters of the apparatus on the uniformity of the film distribution of the solution treated. The expression to identify the blade force on the solution has been obtained by converting the analytical expression of the shear stress between layers. The analysis of the influence of solution viscosity, pressure in the apparatus and the rotor rotational speed on the uniformity of the liquid film formation has been carried out. The graphical method found the direction of the forces from the blades at different operating parameters and determined the direction of flow in the amount of rotary-film evaporator. The recommendations for selecting the design and operating parameters of the apparatus have been offered on the basis of the results obtained.

Evaporation, evaporator, blade, film, viscosity, friction

References

1. Mustafina A.S., Bakin I.A. Marketingovoe issledovanie rynka produktov, soderzhashchikh ekstrakty i kontsentraty plodovo-yagodnogo syr'ya [Market research of products containing extracts and concentrates of fruits and berries]. *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Vestnik], 2013, no. 12/2, pp. 132–137.

2. Bakin I.A., Mustafina A.S., Aleksenko L.A., Lunin P.N. Issledovanie tekhnologicheskikh protsessov polucheniya ekstraktov yagod chernoy smorodiny [The research of the technological processes forthe black currant berry extract receivin]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2014, no. 12, pp. 227–230.

3. Bakin I.A., Mustafina A.S., Lunin P.N. Sovershenstvovanie tekhnologii ekstragirovaniya yagodnogo syr'ya s ispol'zovaniem ul'trazvukovoy obrabotki [Improvement of technology of berry raw materials extracting with use of processing by ultrasound]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2015, no. 12, pp. 91–95.

4. Bakin I.A., Mustafina A.S., Lunin P.N. Izuchenie khimicheskogo sostava yagod chernoy smorodiny v protsesse pererabotki [The study of the black currant berry chemical composition in the processing]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2015, no. 6, pp. 159–162.

5. Lysyanskiy V.M., Grebenyuk S.M. *Ekstragirovanie v pishchevoy promyshlennosti* [Extracting in Food Industry]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987. 188 p.

6. Schneider R. Ein neuer Dunnschichtverdampfer, *Chem. Ing. Techn*., 1965, Bd. 27, no. 5, pp. 257–261.

7. Kavetskiy G.D., Vasil'ev B.V. *Protsessy i apparaty pishchevoy tekhnologii* [Processes and devices of food technology]. Moscow, Kolos Publ., 2000. 551 p.

8. Kafarov V.V. *Osnovy massoperedachi* [Fundamentals of mass transfer]. Moscow, "Vysshaya shkola" Publ., 1979. 439 p.

9. Bakin I.A., Mustafina A.S., Ashcheulov A.S., Kobzev Yu.N., Zaytseva E.A.*Vertikal'nyy rotorno-plenochnyy vyparnoy apparat* [Vertical rotor and membranous evaporating device]. Patent RF, no. 117824, 2012.

10. Aleksenko L.A., Bakin I.A. Issledovanie protsessov kontsentrirovaniya nastoev yagod chernoy smorodiny [Research of processes of concentration of infusions of black currant]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Pishchevye innovatsii i biotekhnologii»* [Proc. of the Intern. Sci. Conf. "Food Innovation and Biotechnology"]. Kemerovo, 2015, pp. 138–139.

11. Bakin I.A., Aleksenko L.A., Lunin P.N. Apparaturnoe oformlenie protsessov ekstragirovaniya i kontsentrirovaniya yagod chernoy smorodiny [Hardware registration of processes of extraction and concoction of blackcurrants]. *Materialy VII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnologii i oborudovanie khimicheskoy, biotekhnologicheskoy i pishchevoy promyshlennosti»* [Proc. of the VII All-Russia Sci. and Prac. Conf. "Technologies and equipment of the chemical, biotechnological and food industry"]. Biysk, 2014, pp. 305–307.

12. Ivanets V.N., Bakin I.A., Ivanets G.E. Intensifikatsiya protsessov gomogenizatsii i dispergirovaniya pri poluchenii sukhikh, uvlazhnennykh i zhidkikh kombinirovannykh produktov [Intensification of homogenization and dispersion processes in the preparation of dry, moist and liquid combination products]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2012, no. 3, pp. 34–45.

Дополнительная информация / Additional Information

Ащеулов, А.С. Исследование кинетики потоков в роторно-пленочном выпарном аппарате / А.С. Ащеулов // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 42. – № 3. – С. 98–103.

Ashcheulov A.S. Investigation of kinetics flows in a rotary-film evaporator. *Food Processing: Techniques and Technology,* 2016, vol. 42, no. 3, pp. 98–103. (in Russ.).

Ащеулов Андрей Сергеевич
аспирант кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-32, e-mail: dobriyandrey@mail.ru

Andrew S. Ashcheulov
Graduate student of the Department of Technological Design of Food Production, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-32, e-mail: dobriyandrey@mail.ru