

УДК 664.857.2

UDC 664.857.2

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
ВЫПАРИВАНИЯ НАСТОЕВ  
ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ****INVESTIGATION OF THE PROCESS OF  
EVAPORATION OF CHOKEBERRY  
INFUSIONS**

Ашеулов Андрей Сергеевич  
*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), Кемерово, Россия*

Ascheulov Andrey Sergeevich  
*Kemerovo Technological Institute of Food Industry (University), Kemerovo, Russia*

Для проектирования роторно-пленочных выпарных аппаратов технологии пищевых производств необходимы сводные таблицы режимных параметров процесса. Чтобы их получить необходимо значительное количество экспериментов, которые потребуют большие затраты времени и ресурсов. Поэтому актуальной задачей становится сокращение затрат на проектирование технологического процесса, за счет выбора оптимальных параметров работы роторно-пленочного выпарного аппарата. Данная задача решается путем проведения небольшой серии экспериментов, направленных на выявление общих математических зависимостей параметров процессов выпаривания на производительность аппарата. На основании полученных зависимостей возможно целенаправленное проектирование и подбор выпарных аппаратов. При проведении исследования исходили из предположения, что достижение максимального сгущения исходного раствора в выпарном аппарате возможно при достижении предельно возможных показателей температуры, подачи исходного раствора в аппарат и производительности при многократном выпаривании настоев из плодов черноплодной рябины. Расчет проведен с учетом предотвращения прилипания выпариваемого раствора на стенках аппарата и на лопастях ротора, из-за чего возможно снижение качества конечного продукта. Приведенные данные подтверждают эффективность использования метода многократного выпаривания на примере концентрирования водно-спиртовых настоев черноплодной рябины

For the design of rotary-film evaporators of the technology for food production we need summary tables of performance parameters of the process. To obtain them it requires a significant amount of experiments that require a large investment of time and resources. Therefore the actual task is reducing the cost of designing of the technological process, due to the choice of optimal parameters of the rotor-film evaporator. This problem can be solved by conducting a small series of experiments aimed at identifying general mathematical dependences of the parameters of the processes of evaporation on the performance of the device. Based on the obtained dependencies it is possible to find design and selection of evaporators. The study proceeded from the assumption that the maximum thickening of the initial solution in the evaporator, it is possible while achieving the maximum possible temperature, the filing of the original solution in the apparatus and performance during repeated evaporation and infusions from the fruits of chokeberry. The calculation is performed taking into account the prevention of adhesion of evaporated solution on the walls of the apparatus and the rotor blades, which may reduce the quality of the end product. The data confirm the effectiveness of the method of repeated evaporation on the example of concentrating the water-alcohol extracts of black chokeberry

Ключевые слова: ВЫПАРИВАНИЕ, ПЛЕНКА, НАСТОИ, ЧЕРНОПЛОДНАЯ РЯБИНА, РОТОРНО-ПЛЕНОЧНЫЙ АППАРАТ

Keywords: EVAPORATION, FILM, EXTRACTS, ARONIA, ROTARY-FILM DEVICE

Doi: 10.21515/1990-4665-126-009

Процесс выпаривания является одним из главных при производстве сгущенных молочных продуктов, повидла, томатной пасты, фруктовых соков, варенья и другой продукции. Увеличение концентрации целевого

компонента происходит за счет удаления легколетучего растворителя, что позволяет значительно продлить сроки хранения готового продукта и полуфабрикатов, сократить их объемы и массы при транспортировке и хранении.

В результате исследования, направленного на выявление недостатков в конструкциях выпарных аппаратах, можно сделать вывод, что в большинстве существующих конструкций нарушен процесс вывода вторичного продукта, а также неравномерное распределение обрабатываемого сырья по рабочей поверхности аппарата. Для решения этих задач необходимо разработать новое высокотехнологичное оборудование для концентрирования настоев плодов черноплодной рябины. Кроме того, повысить качество продукта можно за счет подбора оптимальных режимов работы аппарата.

Целью работы является выявление оптимальных режимных параметров работы выпарного аппарата для получения концентрированных настоев плодов черноплодной рябины.

На кафедре «Технологическое проектирование пищевых производств» проводились эксперименты на лабораторной установке роторного пленочного выпарного аппарата при различных режимах работы аппарата и различном конструктивном оформлении лопастей ротора.

Разработан и запатентован вертикальный роторно-пленочный выпарной аппарат [8]. 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.

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 греющая рубашка 2 нагревает движущуюся пленку, за счет чего происходит интенсивное испарение легколетучих фракций. Пары спиртов через патрубок 4 выводятся из аппарата для последующей конденсации, а концентрированный продукт опускается в резервуар 8.

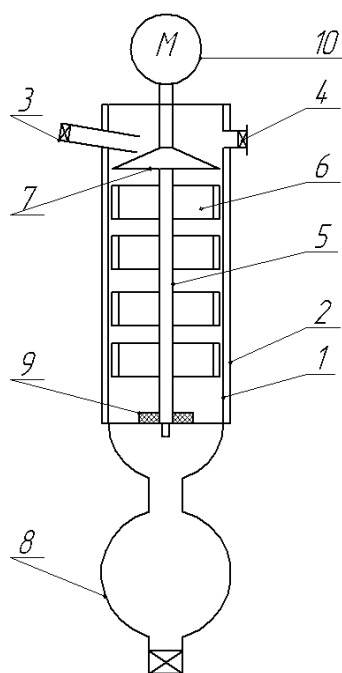


Рисунок 1. Роторно-пленочный выпарной аппарат

Благодаря распределителю 7 обеспечивается равномерное и качественное распределение продукта по стенке корпуса 1. Подбором скорости вращения ротора и величины вакуума, увеличивается интенсивность и эффективность концентрирования спиртовых настоев

плодово-ягодного сырья и, как следствие улучшается качество конечного продукта.

Первая серия опытов проводилась на выпарном аппарате с установленными на нем остроугольными лопастями (рисунок 2) при изменении температуры в диапазоне от 45 до 55 °С, временные рамки определены предварительной серией опытов [1], которые показали, что нахождение экстракта в аппарате менее 20 минут при максимальной температуре нерационально. Цель данной серии опытов – определение степени влияния температуры греющей рубашки и времени пребывания раствора в аппарате на производительность выпарного аппарата.

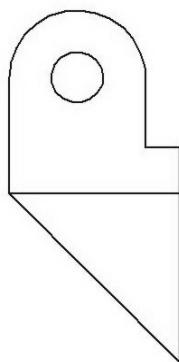
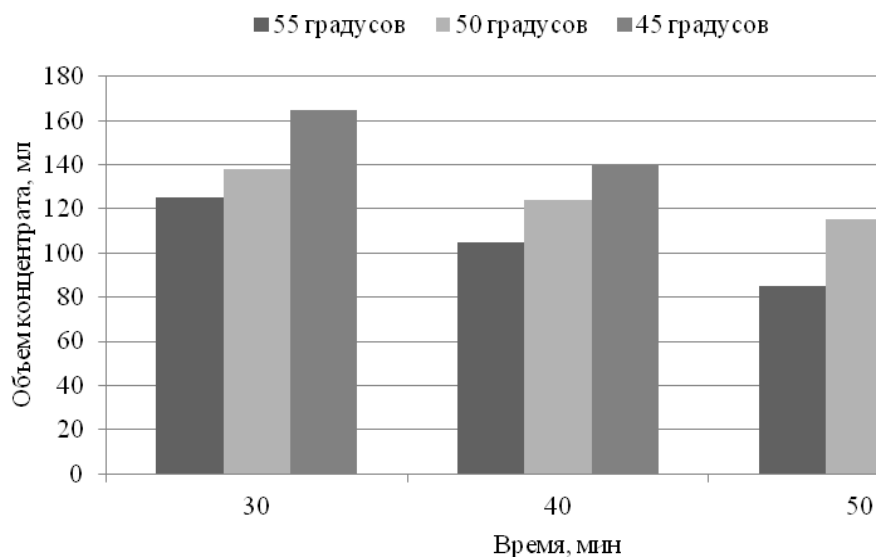


Рисунок 2. Остроугольная форма лопасти ротора

Результаты проведенного эксперимента представлены на графике (рисунок 3), из которого видно, что объем полученного концентрированного настоя черноплодной рябины уменьшается с увеличением температуры греющей рубашки и времени пребывания обрабатываемого раствора в выпарном аппарате. Изменение температуры греющей рубашки имеет большее влияние, чем изменение времени пребывания в аппарате.



Ри

сунок 3. График зависимости объема концентрата от времени и температуры

При помощи корреляционно-регрессионного анализа вывели аналитическое выражение функциональной зависимости концентрации от выше упомянутых параметров.

Теснота линейной связи между переменными представлена в таблице (таблица 1).

Таблица 1

Таблица коэффициентов корреляции

	Объем концентрата	Время	Температура
Объем концентрата	1	0,573	0,717
Время	0,573	1	0
Температура	0,717	0	1

По шкале Чеддока связь объема концентрата от времени прямая заметная, теснота объема концентрата и температуры высокая прямая, в то время как параметры время и температура между собой не связаны, что

подтверждается опытом, так как сочетание времени и температуры производилось независимо друг от друга.

С использованием регрессионного анализа получено линейное уравнение множественной регрессии, описывающее объем концентрата ( $y$ ) в зависимости от выбранных параметров времени ( $x_1$ ) и температуры ( $x_2$ ), представленное в виде

$$y = -3,808 + 0,039 \cdot x_1 + 0,098 \cdot x_2 \quad (2)$$

Данное уравнением множественной регрессии описывает 91,7% полученных результатов. Из записи данного уравнения видно что изменяя время на 1 минуту концентрация изменится на 0,039 единиц, а изменяя температуру на 1°C концентрация изменяется на 0,098 единиц.

При выборе параметров для корреляционно-регрессионного анализа необходимо учитывать физико-химические свойства и особенности процесса.

Полученным уравнением можно предсказывать количество конечного концентрата, значительно сокращая время подбора оптимальных параметров для процесса выпаривания.

Для сравнения интенсивности работы аппарата при различных условиях применяется коэффициент концентрирования ( $K$ ), который рассчитывается как отношение объема концентрата ( $V_{\text{конц}}$ ) к исходному объему раствора ( $V$ ) [8]:

$$K = \frac{V_{\text{конц}}}{V} \quad (4)$$

Для более качественного прогнозирования объема конечного продукта, необходимо рассмотреть влияние других факторов, таких как

величина вакуума, частота вращения ротора, угол наклона лопасти и др [4].

Кроме величины температуры греющей рубашки, подачи исходного раствора, на производительность аппарата большое влияние оказывает величина вакуума, которое определяет температуру кипения раствора внутри аппарата. С целью определения степени влияния величины вакуума на процесс выпаривания проводилась серия опытов при температуре 55 С. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние давления на процесс концентрирования

№ опыта	Время, мин	Вакуум, Атм	Объем, мл	Потери, мл	Объем концентр., мл	Коэф. концентрирования
1	30	-0.7	300	18	232	0.77
2	30	-0.8	300	18	160	0.53
3	30	-0.9	300	45	122	0.42
4	40	-0.7	300	14	206	0.69
5	40	-0.8	300	14	148	0.49
6	40	-0.9	300	35	95	0.32
7	50	-0.7	300	11	198	0.66
8	50	-0.8	300	12	154	0.51
9	50	-0.9	300	38	75	0.25

При проведении регрессионного анализа получено линейное уравнение множественной регрессии, описывающее коэффициент концентрирования ( $y$ ) в зависимости от выбранного параметра величины вакуума ( $x$ ), представленное в виде

$$y = 2,024 + 1,8x \cdot x \quad (3)$$

Данное уравнением множественной регрессии описывает 95,01 % полученных результатов.

Кроме рабочих параметров процесса выпаривания, а именно величины вакуума, частоты вращения ротора, температуры греющей рубашки, расхода исходного продукта, немаловажной характеристикой является число циклов выпаривания, в случае многократного выпаривания. Поэтому для выявления влияния данного фактора на готовый продукт, проводилась серия опытов по двукратному выпариванию и трехкратному выпариванию.

При однократном выпаривании, что бы получить продукт с высокой концентрацией, процесс необходимо проводить при повышенных рабочих параметрах, что в свою очередь негативно влияет на продукт. Необходимо увеличивать температуру, а подачу продукта наоборот уменьшать, в связи с этим будет происходить локальное налипание раствора на лопастях ротора и рабочей поверхности аппарата.

Это явление будет отрицательно влиять на процесс концентрирования: загрязнение продукта, уменьшение разности температур между греющей рубашкой и обрабатываемом экстрактом.

Многократное выпаривание позволяет проводить процесс при более мягких условиях, при этом достигается такой же результат, что и при однократном. Но есть и отрицательная сторона такого метода, а именно, увеличивается время, которое необходимо для проведения процесса, также увеличиваются необходимые затраты энергии.

На рисунке 4 приведен график изменения коэффициента концентрирования при двукратном и трехкратном выпаривании, из которого видно, что с каждым проходом через аппарат величина коэффициента уменьшается, то есть при каждом следующем повторном выпаривании происходит плавное, ступенчатое изменение свойств раствора.



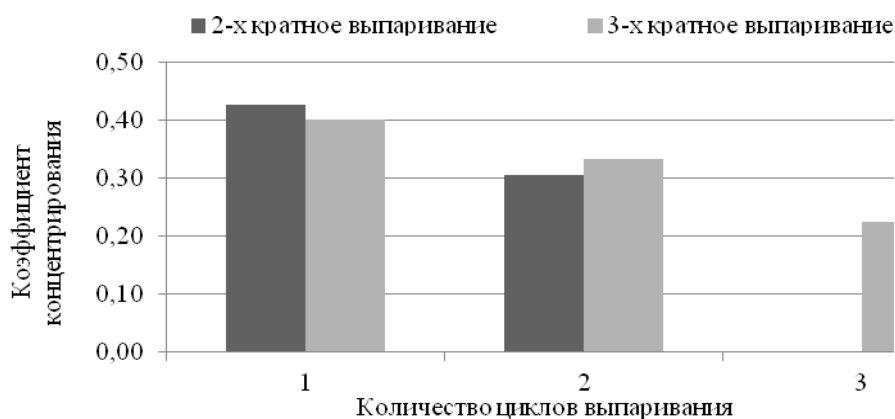


Рисунок 4. График изменения коэффициента концентрации при многократном выпаривании

Проведены исследования, направленные на выявление зависимостей влияния режимных параметров работы выпарного аппарата на интенсивность процесса концентрирования настоев черноплодной рябины. Выделены три основных режимных параметра, оказывающие наибольшее влияние: температура, величина вакуума и число циклов выпаривания. При росте температуры наблюдается значительное увеличение коэффициента концентрации до значения 0,25. Рост температуры ограничен свойствами раствора при условии отсутствия отложений на стенках аппарата. Результаты экспериментальных исследований показали возможность достижения большей концентрации упариваемого раствора при многократном выпаривании при более щадящих режимных параметрах. Получены обобщенные данные, представленные в виде статистических уравнений, которые можно использовать при проектировании роторно-пленочных выпарных аппаратов.

#### Список литературы

1. Ащеулов А. С., Модернизация аппарата для концентрирования плодоягодного настоя / Е. А. Зайцева // Пищевые инновации и биотехнологии: сборник материалов конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / под общ. ред. А.Ю. Просекова; ФГБОУВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». – Кемерово, 2013. – 1620 с. – с. 302 – 304.

2. Бакин И.А. 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. ВасиLINEЦ И. М., Сабурова А. Г., Роторные пленочные аппараты в пищевой промышленности.- М.: Агропромиздат, 1989. – 136 с.
4. Воронцов Е. В., Тананайко Ю. М. Теплообмен в жидкостных пленках. Киев, «Техника». - 1972. - 196 с.
5. Домарецкий В. А. Производство концентратов, экстрактов и безалкогольных напитков: Справочник / В. А. Домарецкий. – К.: урожай, 1990. – 245 с.;
6. Кафаров В. В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа. – 1979. – 439 с.
7. Коган В. Б., Харисов М. А. Оборудование для разделения смесей под вакуумом. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1976. 376 с.
8. 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.
9. Сорокопуд, А.Ф. Концентрирование плодово-ягодных экстрактов в роторном распылительном испарителе / А.Ф. Сорокопуд, Н.Г. Третьякова, П.П. Иванов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 7. – С. 38–40.

## References

1. Ashheulov A. S., Modernizacija aparata dlja koncentririvanja plodovo-jagodnogo nastoja / E. A. Zajceva // Pishhevye innovacii i biotehnologii: sbornik materialov konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh / pod obshh. red. A.Ju. Prosekova; FGBOUVPO «Kemerovskij tehnologicheskij institut pishhevoj promyshlennosti». – Kemerovo, 2013. – 1620 s. – s. 302 – 304.
2. Bakin I.A. Issledovanie tehnologicheskikh processov poluchenija jekstraktov jagod chernoj smorodiny / I.A. Bakin, A.S. Mustafina, L.A. Aleksenko, P.N. Lunin // Vestnik KrasGAU.- 2014. - № 12. - S. 227-230.
3. Vasilinec I. M., Saburova A. G., Rotornye plenochnye apparaty v pishhevoj promyshlennosti.- М.: Агропромиздат, 1989. – 136 с.
4. Voroncov E. V., Tananajko Ju. M. Teploobmen v zhidkostnyh plenkah. Kiev, «Tehnika». - 1972. - 196 s.
5. Domareckij V. A. Proizvodstvo koncentratov, jekstraktov i bezalkogol'nyh napitkov: Spravochnik / V. A. Domareckij. – К.: urozhaj, 1990. – 245 s.;
6. Kafarov V. V. Osnovy massoperedachi. – М.: Vysshaja shkola. – 1979. – 439 s.
7. Kogan V. B., Harisov M. A. Oborudovanie dlja razdelenija smesej pod vakuumom. L., «Mashinostroenie» (Leningr. otd-nie), 1976. 376 s.
8. Pat. 117824 Rossijskaja Federacija, MPK7 i B01D1/22,/ Vertikal'nyj rotornoplenochnyj vyparnoj apparat / Bakin I. A., Mustafina A. S., Ashheulov A. S., Kobzev Ju. N., Zajceva E. A.; zayavitel' i patentoobladateli: Bakin I. A., Mustafina A. S., Ashheulov A. S., Kobzev Ju. N., Zajceva E. A. - № 2012105138/05, zayavl. 14.02.2012, opubl. 10.07.2012.
9. Sorokopud, A.F. Koncentrirovanie plodovo-jagodnyh jekstraktov v rotornom raspylitel'nom isparitele / A.F. Sorokopud, N.G. Tret'jakova, P.P. Ivanov // Hranenie i pererabotka sel'hozsy'r'ja. – 2004. – № 7. – S. 38–40.