

Оптимизация процесса получения экстрактов в поле низкочастотных механических колебаний

Любовь В. Плотникова	¹	lybanya_09@mail.ru	 0000-0002-8542-2055
Павел П. Иванов	¹	ipp7@yandex.ru	 0000-0002-8086-3273
Игорь Б. Плотников	¹	plotnikov-ib@mail.ru	 0000-0002-0149-1724
Константин Б. Плотников	¹	k.b.plotnikov.rf@gmail.com	 0000-0003-4145-0027
Евгений Н. Неверов	¹	neverov42@mail.ru	 0000-0002-3542-786X

¹ Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия

Аннотация. Использование экстрактов, полученных из плодово-ягодного сырья, давно нашло применение в пищевой промышленности. Так их использование позволяет получить готовый продукт не только с уникальными натуральными органолептическими показателями, но и повысить пищевую ценность готового продукта. При этом переработка местного дикорастущего плодово-ягодного сырья имеет высокое значение для экономики многих регионов. Однако сдерживающим фактором получения экстрактов из плодово-ягодного сырья является отсутствие высокоэффективной и гибкой технологии, основанной на современных способах экстрагирования. В работе рассмотрен современный способ получения экстрактов из замороженного плодово-ягодного сырья в поле низкочастотных механических колебаний. Способ является не только эффективным с точки зрения получения экстрактов с высоким содержанием целевых компонентов, но и позволяет сократить количество единиц оборудования в технологической цепочке производства, что увеличивает простоту перенастройки линии на другие виды сырья. При этом сдерживающим фактором применения данного способа является его мало изученность и как следствие отсутствие рациональных значений проведения процесса. На основании литературных источников и серии экспериментов определены основные параметры, влияющие на эффективность процесса, то есть на конечную концентрацию целевых компонентов в готовом экстракте. Для нахождения рациональных значений данных параметров была проведена серия экспериментов. Полученные данные были обработаны, и получены регрессионные уравнения зависимости выхода целевых компонентов в экстрагент (вода) от основных параметров, влияющих на процесс для двух видов сырья – ягоды клюквы и голубики. Полученные уравнения подверглись оптимизации с целью нахождения рациональных параметров. По полученным результатам проведена контрольная серия экспериментов, подтверждающая, что найденные параметры являются рациональными и значения выхода целевых компонентов на практике не отличаются более чем на 5% от полученных аналитическим путем значений.

Ключевые слова: экстрагирование, плодово-ягодное сырье, вибрационный экстрактор, гидромодуль, оптимизация процессов

Optimization of the process of obtaining extracts in the field of low-frequency mechanical vibrations

Liubov V. Plotnikova	¹	lybanya_09@mail.ru	 0000-0002-8542-2055
Pavel P. Ivanov	¹	ipp7@yandex.ru	 0000-0002-8086-3273
Igor B. Plotnikov	¹	plotnikov-ib@mail.ru	 0000-0002-0149-1724
Konstantin B. Plotnikov	¹	k.b.plotnikov.rf@gmail.com	 0000-0003-4145-0027
Evgeny N. Neverov	¹	neverov42@mail.ru	 0000-0002-3542-786X

¹ Kemerovo State University, Krasnaya Str., 6 Kemerovo, 650000, Russia

Abstract. The use of extracts obtained from fruit and berry raw materials has long found application in the alimentary industry. So, their use allows to get a finished food product not only with unique natural organoleptic characteristics, but also to increase the nutritional value of the finished food product. At the same time, the processing of local wild-growing fruit and berry raw materials is of great importance for the economy of many regions. However, a limiting factor in obtaining extracts from fruit and berry raw materials is the lack of a highly efficient and flexible technology based on modern extraction methods. The paper considers a modern method of obtaining extracts from frozen fruit and berry raw materials in the field of low-frequency mechanical vibrations. The method is not only effective from the point of view of obtaining extracts with a high content of target components, but also allows to reduce the number of pieces of equipment in the technological chain of production, which increases the simplicity in reconfiguring the line for other types of raw materials. At the same time, the limiting factor in the use of this method is its low exploration degree and, as a consequence, the lack of rational values for the process. On the basis of literature sources and a series of experiments, the main parameters that affect the efficiency of the process, i.e. the final concentration of the target components in the finished extract, have been determined. To find the rational values of these parameters, a series of experiments was carried out. The data obtained were processed, and regression equations were obtained for the dependence of the yield of the target components into the extractant (water) on the main parameters affecting the process for two types of raw materials - cranberries and blueberries. The resulting equations were optimized to find rational parameters. Based on the results obtained, a control series of experiments was carried out, confirming that the parameters found are rational and the values of the yield of the target components in practice do not differ by more than 5% from the those obtained analytically.

Keywords: extraction, fruit and berry raw materials, vibration extractor, hydronic module, process optimization

Для цитирования

Плотникова Л.В., Иванов П.П., Плотников И.Б., Плотников К.Б., Неверов Е.Н. Оптимизация процесса получения экстрактов в поле низкочастотных механических колебаний // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 3. С. 46–54. doi:10.20914/2310-1202-2021-3-46-54

For citation

Plotnikova L.V., Ivanov P.P., Plotnikov I.B., Plotnikov K.B., Neverov E.N. Optimization of the process of obtaining extracts in the field of low-frequency mechanical vibrations. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 3. pp. 46–54. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-3-46-54

Введение

В свете современной концепции здорового образа жизни не маловажную роль играет питание человека. При этом рациональное питание рассматривается не как стандартное снабжение организма необходимой для жизнедеятельности энергией, путем поступления белков, углеводов и жиров, а как сложная система различных факторов питания и их взаимодействия. К одним из таких факторов является сбалансированность питания при высокой ценности компонентов, учитывая современный ритм жизни человека, наличие большого количества стрессовых ситуаций и экологическую обстановку. Одним из элементов сбалансированного питания можно считать высокую ценность готового продукта с точки зрения наличия необходимого витаминного комплекса и минеральных веществ. Для получения такого продукта целесообразно добавлять в него на стадии производства биологически активные вещества и их комплексы. Комплексы таких веществ – экстракты, полученные из натурального растительного сырья, широко применяются при производстве молочных продуктов, безалкогольных напитков и т. п. [1–4].

Получение таких веществ и их комплексов в настоящее время основывается на извлечении их из сырья путем экстрагирования. При этом вещество, извлекающее эти компоненты – экстрагент, должно быть нейтральным и легко отделяться от целевых компонентов для дальнейшего из дозирования в продукт [5–9].

Для получения экстрактов часто в качестве сырья используют плоды и ягоды в том числе дикорастущие. При этом учитывая короткий срок сбора сырья его подвергают консервированию. Одним из распространённых способов является замораживание. Это накладывает отпечаток на технологии и машинно-аппаратурное оформление линий переработки такого сырья.

Традиционная технология переработки замороженного плодово-ягодного сырья заключается в дефростации сырья, его измельчении, извлечении сока путем отжима и экстрагировании полученного при отжиме жома. Данная технология не рациональна с точки зрения необходимости большого количества площадей и наличия специализированного оборудования, что является одним из сдерживающих факторов развития и распространения производств натуральных экстрактов [10, 11].

Это позволяет сделать вывод, что совершенствование существующей технологии и развитие многофункционального оборудования,

является важной задачей. Так перспективным с точки зрения получения экстрактов из замороженного плодово-ягодного сырья является емкостной аппарат, в котором совмещаются три стадии производства экстрактов – это дефростирование, измельчение и экстрагирование. При этом с целью интенсификации процессов, протекающих в аппарате на систему взаимодействующих фаз, накладываются низкочастотные механические колебания, с помощью вибрирующего устройства, расположенного внутри рабочей камеры. Однако мало изученность и в этой связи отсутствие рациональных и режимных параметров работы данных аппаратов сдерживает их применение в производстве. В этой связи является актуальной задача нахождения рациональных параметров работы аппарата [12].

Материалы и методы

Среди широкого разнообразия дикорастущего плодово-ягодного сырья потребитель предпочитает ягоды клюквы. Так экстракты, полученные из этого сырья, широко используются в молочной промышленности. Ягоды клюквы широко распространены на территории нашей страны [13]. В большом количестве они произрастают на северных торфяных болотах. Сезон сбора ягод – осень и весна [14]. При этом состав ягод, собранных в разное время года может сильно отличаться. По мимо богатого витаминного состава, в который входит витамин С, в состав ягод клюквы входят красящие и дубильные вещества, минеральные вещества: кальций, калий, железо, фосфор и марганец. Кроме того, в состав ягод клюквы по сравнению с другими ягодами входит большое количество йода.

Исходя из этого в качестве объекта исследования были приняты ягоды клюквы. Кроме того, в качестве объекта исследования также использовались ягоды голубики, экстракты из которых также нашли отклик у потребителя, а состав ягод голубики также богат с точки зрения витаминного и минерального комплекса [15, 16].

Сроки сбора данного вида сырья короткие, а сроки хранения составляют 2–3 дня. В связи с чем ягоды подвергаются консервированию путем замораживания. Замораживание производится до температуры -18°C , при этом скорость замораживания медленная. Это позволяет не только подвергнуть консервации сырье, с целью предотвращения его порчи, но и подготовить сырье к экстрагированию. Подготовка связана с тем, что при медленном замораживании образуются крупные кристаллы льда внутри ягод.

В процессе роста этих кристаллов происходит повреждение оболочки клеток сырья. При дальнейшем размораживании жидкость, находящаяся внутри клеток, легко извлекается, за счет чего упрощается извлечение целевых компонентов.

Так же необходимо отметить, что не только скорость замораживания ведет к повреждению клеточной структуры сырья, но и температурные режимы хранения также играют важную роль. Так при колебаниях температуры в процессе хранения сырья в пределах $\pm 2^\circ\text{C}$ происходит перекристаллизация льда, ведущая к нарастанию молекул воды на уже образовавшихся кристаллах из других кристаллов льда, что ведет к образованию крупных агломераций и в конечном итоге повреждению клеточной структуры сырья.

Принимая это во внимание в качестве объекта исследования использовались замороженные до температуры 18°C ягоды клюквы и голубики.

С целью интенсификации процесса экстрагирования применяются различные физические способы, одним из которых является наложение на систему взаимодействующих фаз поля низкочастотных механических колебаний. Существует множество вариантов наложения такого рода полей, однако наложение таких полей при помощи вибрационной тарелки, совершающей возвратно-поступательное движение внутри аппарата с небольшой амплитудой, имеет большие преимущества. Это простота конструкции, не высокие энергетические затраты и, что не маловажно в аппарате данная конструкция позволяет производить стадию измельчения сырья [17–19].

Схема аппарата с вибрационной тарелкой, используемого при исследованиях, представлена на Рисунок 1 [20].

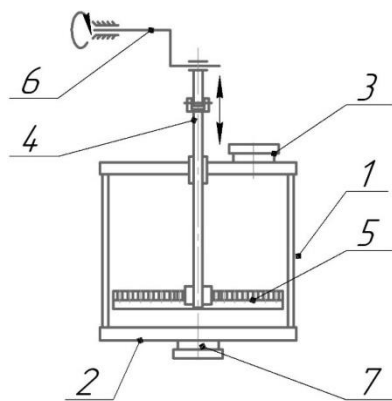


Рисунок 1. Аппарат периодического действия с вибрационной тарелкой

Figure 1. Batch apparatus with vibrating plate

Аппарат содержит корпус 1, выполненный цилиндрической формы с внутренним диаметром 0,15 м. Корпус – рабочая камера снабжен днищем 2 и крышкой 3, на которых расположены патрубки для разгрузки готового продукта и загрузки экстрагента соответственно. Внутри рабочей камеры расположен рабочий орган – вибрационная тарелка 5. Тарелка находится на расстоянии 45 мм от дна аппарата и представляет собой перфорированный диск с живым сечением 16,5%, имеющим отбортовку, направленную вниз. Величина отбортовки – 10 мм. Тарелка закреплена на штоке 4 и при помощи привода совершает возвратно-поступательное движение с амплитудой 8 мм.

Принцип работы аппарата. Сырье – замороженные ягоды с температурой -18°C помещались в пространство между вибрационной тарелкой и дном аппарата. Далее подавался экстрагент – вода, имеющая температуру $18 \pm 2^\circ\text{C}$. Далее приводилась в движение по средством привода вибрационная тарелка. В процессе работы аппарата происходило размораживание сырья, его измельчение и экстрагирование. На протяжении всего процесса происходило насыщение целевыми компонентами экстрагента. Для его фиксации производился отбор проб в объеме 15 мл. При этом интервал отбора проб с 1 по 5 минуту эксперимента составлял – 1 минута, далее с 5 по 15 минуту – 2,5 минуты и после через каждые 5 минут. Данная методика связана с тем, что наиболее интенсивный процесс насыщения экстрагента целевыми компонентами происходит в первоначальный момент работы аппарата.

Для определения концентрации целевых компонентов пробы фильтровались для удаления мелкодисперсной фракции, далее пробы термостатировались при температуре 20°C , после чего рефрактометрическим методом определялась содержание целевых компонентов в пробах.

В процессе проведения контролировалась частота колебаний тарелки. Контроль производился опосредованно через частоту вращения двигателя при помощи тахометра.

В процессе проведения исследования варьировались следующие факторы: гидромодуль – j (соотношение фаз твердое тело: жидкость), диаметры отверстий перфорации тарелки d , мм, частота колебаний тарелки n , Гц. Данные параметры, а также границы их варьирования были выбраны исходя из литературных данных, а также основываясь на предварительной серии экспериментальных исследований.

Фактор – гидромодуль был выбран как один из основных, так как при увеличении твердой фазы относительно жидкой происходит увеличение плотности суспензии и падение разности концентраций между насыщаемым экстрагентом и сырьем. Большее количество жидкости ведет к более интенсивному извлечению целевых компонентов за счет высокой разности концентраций, также это сказывается на дальнейшей переработке полученного экстракта. Так сильно разбавленных продукт необходимо дольше выпаривать и, следовательно, затрачивать больше энергоресурсов. Исходя из этого гидромодуль варьировался в пределах от 0,33 до 0,7.

На процесс измельчения сырья, а также на турбулизацию системы взаимодействующих фаз сильное влияние оказывает диаметр перфорации тарелки, и частота её колебаний в связи с чем данные факторы также были приняты в качестве основных, влияющих на процесс, протекающий в аппарате. Интервалы варьирования диаметров отверстий перфорации тарелки – 2,5 мм – 4 мм. Для частоты колебаний интервал составил 5–13,3 Гц.

Данные планирования эксперимента представлены в таблицах 1 и 2 для ягод клюквы и голубики соответственно. Разница в интервалах и шагах варьирования факторов для различных ягод объясняется разницей в структурных свойствах этих ягод.

Таблица 1.

Условия проведения эксперимента для ягод клюквы

Table 1.

Experimental conditions for cranberries

Фактор Factor	Обозначение факторов Designation of factors	Уровни Levels		Центр эксперимента Experiment Center	Шаг варьирования Variation step
		Нижний lower	Верхний upper		
Диаметр отверстий в тарелке, d, мм Diameter of holes in the plate, d, mm	C1	2,5	4	3,25	0,5
Частота колебаний тарелки, n, Гц Tray vibration frequency, n, Hz	C2	10	13,3	11,7	1,7
Продолжительность процесса τ , с Process duration τ , s	C3	750	1500	1125	375
Гидромодуль, j Hydronic module, j	C4	0,33	0,5	0,415	0,085

Таблица 2.

Условия проведения эксперимента для ягод голубики

Table 2.

Experimental conditions for blueberry berries

Фактор Factor	Обозначение факторов Designation of factors	Уровни Levels		Центр эксперимента Experiment Center	Шаг варьирования Variation step
		Нижний lower	Нижний lower		
Диаметр отверстий в тарелке, d, мм Diameter of holes in the plate, d, mm	C1	2,5	4	3,25	0,5
Частота колебаний тарелки, n, Гц Tray vibration frequency, n, Hz	C2	6,7	10	8,35	1,65
Продолжительность процесса τ , с Process duration τ , s	C3	750	1200	975	225
Гидромодуль, j Hydronic module, j	C4	0,4	0,66	0,53	0,13

Результаты

Серия экспериментов, проведенная на ягоде – клюква, с варьированием одного из факторов – диаметра перфорации отверстий при прочих равных условиях (гидромодуль – $j = 0,4$, частота колебаний тарелки – $n = 10$ Гц) показала результаты по кинетике извлечения целевых компонентов, представленные в таблицах 3 и 4.

Таблица 3.

Кинетика процесса насыщения экстрагента при $d = 2.5$ мм

Table 3.

Kinetics of the process of saturation of the extractant at $d = 2.5$ mm

τ , мин. τ , min.	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	20
$C_{св.}$, % масс. $C_{св.}$, % mass.	0,6	0,8	0,9	0,9	1	1,2	1,4	1,8	2	2

Таблица 4.
Кинетика процесса насыщения экстрагента при
 $d = 3$ мм

Table 4.
Kinetics of the process of saturation of the extractant at
 $d = 3$ mm

τ , мин. τ , min.	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	20
$C_{св.}$, % масс. $C_{св.}$, % mass..	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,5	1,7	1,9	1,9

Так из представленных данных видно, что чем меньше диаметр перфорации отверстий тарелки, тем более интенсивнее проходит процесс, что связано с увеличением скоростей истечения жидкости из отверстий при колебаниях тарелки.

Также на основании результатов серии экспериментов был построен ряд графиков, представленных на рисунке 3, рисунок 4.

Так из графика, представленного на Рисунок 2 также видно, что диаметр отверстий положительно сказывается на динамике процесса.

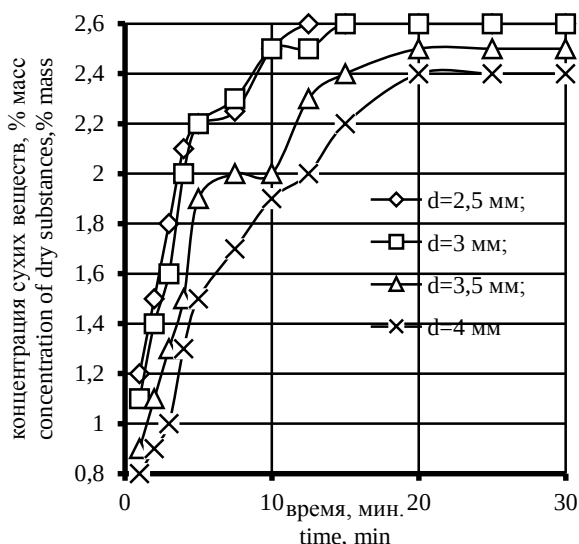


Рисунок 2. Зависимость выхода сухих веществ от продолжительности экстрагирования (ягода – голубика, экстрагент – вода) ($j = 0,5$; $n = 8,33$ Гц)

Figure 2. Dependence of the yield of dry substances on the duration of extraction (berry – blueberry, extractant – water) ($j = 0.5$; $n = 8.33$ Hz)

Это связано с тем, что при толщине тарелки в 3 мм разная перфорация отверстий приводит к тому, что при её уменьшении увеличивается отношение (δ/d) , при этом оно увеличивается от 0,75 до 1,5. Это в свою очередь позволяет говорить, что отверстие в данном случае можно рассматривать как насадку, а для насадки характерно большой расход и большие скорости истечения жидкости, что приводит к интенсификации процесса.

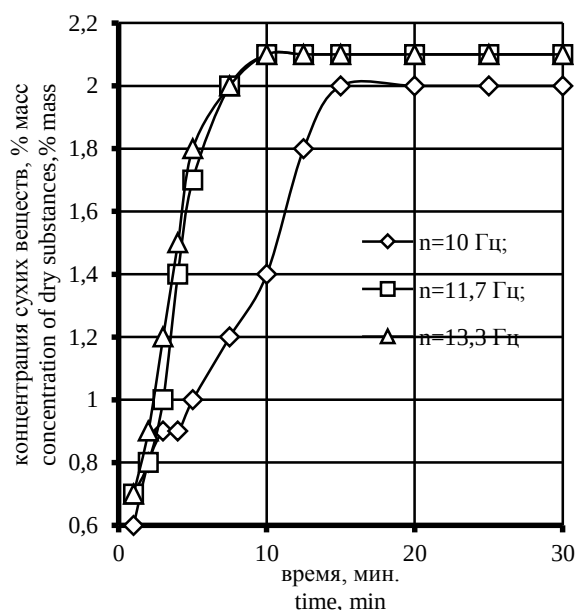


Рисунок 3. Зависимости выхода сухих веществ от продолжительности экстрагирования (ягода – клюква, экстрагент – вода) ($j = 0,4$; $d = 2,5$ мм)

Figure 3. Dependences of the yield of dry substances on the duration extraction (berry – cranberry, extractant – water) ($j = 0.4$; $d = 2.5$ mm)

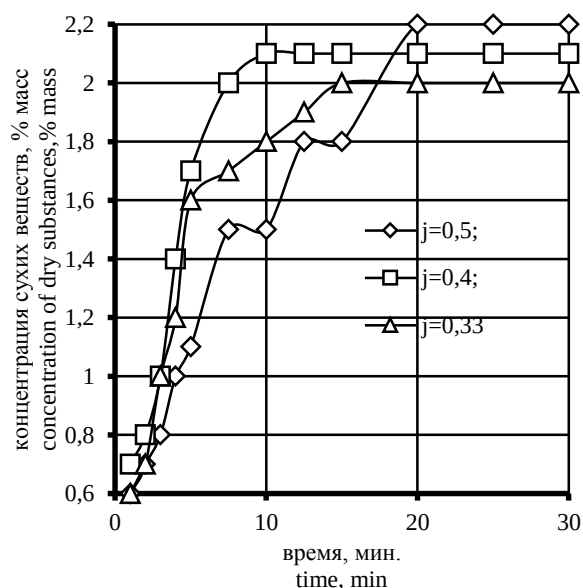


Рисунок 4. Зависимости выхода сухих веществ от продолжительности экстрагирования (ягода – клюква, экстрагент – вода) ($n = 11,7$ мм; $d = 2,5$ мм)

Figure 4. Dependences of the yield of dry substances on the duration of extraction (berry – cranberry, extractant – water) ($n = 11.7$ mm; $d = 2.5$ mm)

Из графика, представленного на рисунке 4, видно, что частота колебаний тарелки также оказывает сильное влияние на интенсивность процесса. Это можно объяснить более интенсивным процессом измельчения и интенсивным обновлением поверхности контакта фаз при

экстрагировании сырья. Однако увеличение частоты колебания тарелки также ведет к увеличению энергозатрат, что сказывается на экономической составляющей производства.

Для ягод голубики полученные данные имеют отличия в числовом значении, однако закономерности остаются сопоставимыми с теми, которые были получены при исследовании экстрагирования ягод клюквы.

Серия экспериментов позволила сделать следующие выводы:

1. Факторы, влияющие на процесс, остаются одинаковыми, но их параметрические значения для различного вида сырья будут различны.

2. Для нахождения рациональных параметров процесса для каждого из приведенного вида сырья необходимо провести серию планируемых экспериментов и подвергнуть полученные данные математической обработки.

3. Полученные значения должны быть проверены экспериментальным путем, при этом значения полученные аналитически не должны отличаться от экспериментальных более чем на 5%.

4. Энергетические затраты так же должны быть учтены при рекомендации рациональных параметров проведения процесса.

С целью нахождения рациональных параметров процесс необходимо получить регрессионные уравнения, описывающие зависимость степень насыщения целевыми компонентами от основных определённых экспериментальным путем факторов. Для чего была проведена серия экспериментов по параметру из таблиц 1 и 2.

Полученные данные были обработаны в ЭВМ, по результату которой были получены регрессионные уравнения зависимости выхода целевых компонентов в зависимости от входных факторов соответственно для различных ягод.

Для ягод клюквы уравнения множественной регрессии имеет вид, соответственно:

$$Y_K = 5,770975 - 1,90356 \cdot C_1 + 0,361067 \cdot C_2 + 0,005304 \cdot C_3 - 28,4312 \cdot C_4 + 0,036734 \cdot C_{12} - 0,016935 \cdot C_{22} - 10 - 6 \cdot C_{32} + 36,72145 \cdot C_{42} + 0,030503 \cdot C_1 \cdot C_2 + 0,000326 \cdot C_1 \cdot C_3 + 1,990929 \cdot C_1 \cdot C_4 - 0,000185 \cdot C_2 \cdot C_3 + 0,243217 \cdot C_2 \cdot C_4 - 0,0065 \cdot C_3 \cdot C_4, R = 98$$

Для ягод голубики уравнения множественной регрессии имеет вид, соответственно:

$$Y_r = -4,14233 + 0,250232 \cdot C_1 + 0,003029 \cdot C_2 - 0,003821 \cdot C_3 + 31,08552 \cdot C_4 - 0,071192 \cdot C_{12} - 0,003593 \cdot C_{22} - 0,00000023 \cdot C_{32} - 35,8769 \cdot C_{42} + 0,014986 \cdot C_1 \cdot C_2 + 0,000049 \cdot C_1 \cdot C_3 - 0,347264 \cdot C_1 \cdot C_4 + 0,000039 \cdot C_2 \cdot C_3 - 0,014844 \cdot C_2 \cdot C_4 + 0,008175 \cdot C_3 \cdot C_4, R = 98,9$$

Степень значимости коэффициентов были проверены с помощью t – критерия. Анализ уравнений показывает, что определяющую роль в степени насыщения целевыми компонентами экстрагента играет гидромодуль C_4 , при этом он является не только основным фактором, а имеет влияние на межфакторное взаимодействие. Особое межфакторное взаимодействие этого фактора наблюдается при взаимодействии с такими факторами, как частота колебаний тарелки и диаметр перфорации. Все это можно объяснить, тем что при снижении гидромодуля концентрация готового продукта снижается в виду большого количества жидкой фазы. А при увеличении гидромодуля концентрация растет, но извлечение целевых компонентов снижается.

Такой фактор, как диаметр отверстий перфорации тарелки C_1 несет однозначный посыл. Так его уменьшение ведет к увеличению интенсивности процесса, как измельчения, так и турбулизации на стадии экстрагирования. При этом различные значения весомости данного фактора для различного вида сырья объясняется различной структурной данного сырья. Так замороженные ягоды голубики имеют меньший предел прочности нежели ягоды клюквы.

Фактор C_2 (частота колебаний тарелки) напрямую влияет на интенсивность процесса. При этом увеличении данного фактора напрямую влияет на энергоэффективность аппарата, что обязательно должно быть учтено при проектировании промышленного образца.

По полученным уравнениям была проведена математическая обработка методом Ньютона с целью нахождения рациональных параметров процесса. Полученные значения представлены в таблице 5.

Полученные значения основных факторов легли в основу проведения серии контрольных экспериментов. Контрольная серия экспериментов показала, что найденные аналитическим путем рациональных параметров процесса не отличаются от экспериментальных более чем на 5%.

Таблица 5.

Оптимальные параметры процесса (экстрагент – вода)

Table 5.

Optimal process parameters (extractant – water)

	Диаметр отверстий, d, мм Hole diameter, d, mm	Частота колебаний тарелки, n, Гц Tray vibration frequency, n, Hz	Продолжительность, τ, с Duration, τ, s	Гидро модуль, j Hydronic module, j	Выход сухих веществ Solids yield	
					Теоретический, Ссв., масс. % Theoretical, Ссв., mass. %	Практический, Ссв., масс. % Practical, Ссв., mass. %
Клюква Cranberry	2,5	12,4	780	0,48	2,65	2,6
Голубика Blueberry	2,5	9,8	1100	0,56	2,79	2,7

Обсуждение

Результаты проведенных исследований и их обработки позволяют сделать несколько заключений:

1. Определены основные факторы, влияющие на выход целевых компонентов, при получении экстрактов из замороженного плодово-ягодного сырья в аппарате с вибрационной тарелкой.
2. Определены рациональные параметры входных параметров для получения макси-

мального выхода целевых компонентов для ягод клюквы и голубики для аппарата с вибрационной тарелкой.

Заключение

Полученные результаты лягут в основу определения рациональных параметров работы линии, основанной на данной технологии, что позволит увеличить производительность существующих линий.

Литература

- 1 Sabater C., Corzo N., Olano A., Montilla A. Enzymatic extraction of pectin from artichoke (*Cynara scolymus* L.) by-products using Celluclast® 1.5L // Carbohydrate Polymers. 2018. №. 190. P. 43–49.
- 2 Popov A.M., Plotnikov K.B., Donya D.V. Determination of dependence between thermophysical properties and structural-and-phase characteristics of moist materials // Foods and raw materials. 2017. V. 5. №. 1. P. 137–143.
- 3 Nizamova A.A., Galiakhmetova E.K., Mochalov K.S., Bokov D.O. et al. The determination of antioxidant activity of ethanol extracts of gynostemma pentaphyllum // Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences. 2021. №. 17. P. 91–98.
- 4 Xie Z.Q., He Y.L., Wang P.P., Su M.Y. et al. Two-dimensional optical edge detection based on pancharatnam-berry phase metasurface // Wuli xuebao. 2020. V. 69. №. 014101. doi: 10.7498/aps.69.20191181
- 5 Tamkutė L., Pukalskas A., Syrpas M., Urbonavičienė D. et al. Fractionation of cranberry pomace lipids by supercritical carbon dioxide extraction and on-line separation of extracts at low temperatures // Journal of Supercritical Fluids. 2020. V. 1631. 104884.
- 6 Rojo-Gutiérrez E., Carrasco-Molinari O., Tirado-Gallegos J.M., Levario-Gómez A. et al. Evaluation of green extraction processes, lipid composition and antioxidant activity of pomegranate seed oil // Journal of Food Measurement and Characterization. 2021. V. 15. №. 2. P. 2098–2107.
- 7 Adetunji L.R., Adekunle A., Orsat V., Raghavan V. Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review // Food Hydrocolloids. 2017. №. 62. P. 239–250.
- 8 Demirbas A., Groszman K., Pazmiño-Hernandez M., Vanegas D.C. et al. Cryoconcentration of flavonoid extract for enhanced biophotovoltaics and pH sensitive thin films // Biotechnology Progress. 2018. №. 34. P. 206–217.
- 9 Lončarić A., Jozinović A., Jelinić J., Kovač T. et al. Green extraction methods for extraction of polyphenolic compounds from blueberry pomace // Foods. 2020. V. 9. №. 11. 1521. doi: 10.3390/foods9111521
- 10 Radulescu C., Stihl C., Olteanu R.L., Dulama I.D. et al. Chemometric assessment of spectroscopic techniques and antioxidant activity for hippophae rhamnoides L. Extracts obtained by different isolation methods // Analytical letters. 2019. V. 52. №. 15. P. 2393–2415. doi: 10.1080/00032719.2019.1590379
- 11 Sharoglazova L.P., Belyakov A.A., Smol'nikova Ya.V., Velichko N.A. et al. Determination of an effective regimen for maceration of berry raw materials of the rubus genus // IOP Conference series: Earth and environmental science. 2020. 72061. doi: 10.1088/1755-1315/548/7/072061
- 12 Mironova E., Romanenko E., Sycheva O., Selivanova M. et al. Optimal parameters and modes of extraction of biologically active substances from natural fruit and berry raw materials // E3S Web of Conferences. 2020. 04009. doi: 10.1051/e3sconf/202020304009
- 13 Mirandola M., Salvati M.V., Rodigari C., Appelberg K.S. et al. Cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) extract impairs nairovirus infection by inhibiting the attachment to target cells // Pathogens. 2021. V. 10. №. 8. 1025.
- 14 Dienaite L., Pukalskiene M., Pereira C.V., Matias A.A. et al. Valorization of european cranberry bush (*Viburnum opulus* L.) berry pomace extracts isolated with pressurized ethanol and water by assessing their phytochemical composition, antioxidant, and antiproliferative activities // Foods. 2020. V. 9. №. 10. 1413.
- 15 Muñoz-Almagro N., Ruiz-Torralba A., Méndez-Albiñana P., Villamiel M. et al. Berry fruits as source of pectin: Conventional and non-conventional extraction techniques // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. №. 186. P. 962–974.

16 Yang H., Tian T., Wu D., Guo D., Lu J. Prevention and treatment effects of edible berries for three deadly diseases: Cardiovascular disease, cancer and diabetes // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017. V. 59. № 12. P. 1903–1912.

17 Bakin I.A., Mustafina A.S., Aleksenko L.A., Shkolnikova M.N. Intensification of extraction of phytocomponents from berry raw materials // *IOP Conference series: Earth and environmental science*. 2021. 022066. doi: 10.1088 / 1755–1315 / 640/2/022066

18 Orobinskaya V.N., Permyakov A.V., Kholodova E.N., Galdin E.V. The resource-saving technology of anthocyanins extraction by the method of low-frequency vibration impact // *IOP Conference series: Earth and environmental science*. 2020. 012097. doi: 10.1088/1755–1315/613/1/012097

19 Masota N.E., Heller E., Holzgrabe U., Vogg G. Comparison of extraction efficiency and selectivity between low-temperature pressurized microwave-assisted extraction and prolonged maceration // *Archiv der pharmazie*. 2020. V. 353. № 10. 2000147. doi: 10.1002/ardp.202000147

20 Пат. № 2547176, RU, A23L 1/212. Способ получения плодово-ягодных экстрактов / Сорокопуд А.Ф., Сорокопуд В.В., Плотников И.Б., Плотникова Л.В. заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. № 2014101853/13; Заявл. 21.01.2014; Оpubл. 10.04.2015, Бюл. № 10.

References

1 Sabater C., Corzo N., Olano A., Montilla A. Enzymatic extraction of pectin from artichoke (*Cynara scolymus* L.) by-products using Celluclast® 1.5L. *Carbohydrate Polymers*. 2018. no. 190. pp. 43–49.

2 Popov A.M., Plotnikov K.B., Donya D.V. Determination of dependence between thermophysical properties and structural-and-phase characteristics of moist materials. *Foods and raw materials*. 2017. vol. 5. no. 1. pp. 137–143.

3 Nizamova A.A., Galiakhmetova E.K., Mochalov K.S., Bokov D.O. et al. The determination of antioxidant activity of ethanol extracts of *Gynostemma pentaphyllum*. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2021. no. 17. pp. 91–98.

4 Xie Z.Q., He Y.L., Wang P.P., Su M.Y. et al. Two-dimensional optical edge detection based on pancharatnam-berry phase metasurface. *Wuli xuebao*. 2020. vol. 69. no. 014101. doi: 10.7498/aps.69.20191181

5 Tamkutė L., Pukalskas A., Syropas M., Urbonavičienė D. et al. Fractionation of cranberry pomace lipids by supercritical carbon dioxide extraction and on-line separation of extracts at low temperatures. *Journal of Supercritical Fluids*. 2020. vol. 1631. 104884.

6 Rojo-Gutiérrez E., Carrasco-Molinari O., Tirado-Gallegos J.M., Levario-Gómez A. et al. Evaluation of green extraction processes, lipid composition and antioxidant activity of pomegranate seed oil. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021. vol. 15. no. 2. pp. 2098–2107.

7 Adetunji L.R., Adekunle A., Orsat V., Raghavan V. Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*. 2017. no. 62. pp. 239–250.

8 Demirbas A., Groszman K., Pazmiño-Hernandez M., Vanegas D.C. et al. Cryoconcentration of flavonoid extract for enhanced biophotovoltaics and pH sensitive thin films. *Biotechnology Progress*. 2018. no. 34. pp. 206–217.

9 Lončarić A., Jozinović A., Jelinić J., Kovač T. et al. Green extraction methods for extraction of polyphenolic compounds from blueberry pomace. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 11. 1521. doi: 10.3390/foods9111521

10 Radulescu C., Stihl C., Olteanu R.L., Dulama I.D. et al. Chemometric assessment of spectroscopic techniques and antioxidant activity for *hippophae rhamnoides* L. Extracts obtained by different isolation methods. *Analytical letters*. 2019. vol. 52. no. 15. pp. 2393–2415. doi: 10.1080/00032719.2019.1590379

11 Sharoglazova L.P., Belyakov A.A., Smolnikova Ya.V., Velichko N.A. et al. Determination of an effective regimen for maceration of berry raw materials of the *rubus* genus. *IOP Conference series: Earth and environmental science*. 2020. 72061. doi: 10.1088/1755–1315/548/7/072061

12 Mironova E., Romanenko E., Sycheva O., Selivanova M. et al. Optimal parameters and modes of extraction of biologically active substances from natural fruit and berry raw materials. *E3S Web of Conferences*. 2020. 04009. doi: 10.1051/e3sconf/202020304009

13 Mirandola M., Salvati M.V., Rodigari C., Appelberg K.S. et al. Cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) extract impairs nairovirus infection by inhibiting the attachment to target cells. *Pathogens*. 2021. vol. 10. no. 8. 1025.

14 Dienaite L., Pukalskiene M., Pereira C.V., Matias A.A. et al. Valorization of european cranberry bush (*viburnum opulus* L.) berry pomace extracts isolated with pressurized ethanol and water by assessing their phytochemical composition, antioxidant, and antiproliferative activities. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 10. 1413.

15 Muñoz-Almagro N., Ruiz-Torralba A., Méndez-Albiñana P., Villamiel M. et al. Berry fruits as source of pectin: Conventional and non-conventional extraction techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. no. 186. pp. 962–974.

16 Yang H., Tian T., Wu D., Guo D., Lu J. Prevention and treatment effects of edible berries for three deadly diseases: Cardiovascular disease, cancer and diabetes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017. vol. 59. no. 12. pp. 1903–1912.

17 Bakin I.A., Mustafina A.S., Aleksenko L.A., Shkolnikova M.N. Intensification of extraction of phytocomponents from berry raw materials. *IOP Conference series: Earth and environmental science*. 2021. 022066. doi: 10.1088 / 1755–1315 / 640/2/022066

18 Orobinskaya V.N., Permyakov A.V., Kholodova E.N., Galdin E.V. The resource-saving technology of anthocyanins extraction by the method of low-frequency vibration impact. *IOP Conference series: Earth and environmental science*. 2020. 012097. doi: 10.1088/1755–1315/613/1/012097

19 Masota N.E., Heller E., Holzgrabe U., Vogg G. Comparison of extraction efficiency and selectivity between low-temperature pressurized microwave-assisted extraction and prolonged maceration. *Archiv der pharmazie*. 2020. vol. 353. no. 10. 2000147. doi: 10.1002/ardp.202000147

20 Sorokopud A.F., Sorokopud V.V., Plotnikov I.B., Plotnikova L.V. Method of obtaining fruit and berry extracts. Patent RF, no. 2547176, 2015.

Сведения об авторах

Любовь В. Плотникова аспирант, кафедра мехатроники и автоматизации технологических систем, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, lybanya_09@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8542-2055>

Павел П. Иванов к.т.н., доцент, кафедра мехатроники и автоматизации технологических, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, ipp7@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8086-3273>

Игорь Б. Плотников к.т.н., доцент, кафедра мехатроники и автоматизации технологических, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, plotnikov-ib@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0149-1724>

Константин Б. Плотников к.т.н., доцент, кафедра мехатроники и автоматизации технологических, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, k.b.plotnikov.rf@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4145-0027>

Евгений Н. Неверов д.т.н., профессор, кафедра техносферная безопасность, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, neverov42@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

Вклад авторов

Любовь В. Плотникова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написала рукопись

Павел П. Иванов Константин Б. Плотников Евгений Н. Неверов консультация в ходе исследования

Игорь Б. Плотников провел эксперимент, корректировал рукопись до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Liubov V. Plotnikova postgraduate student, mechatronics and automation of technological systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str., 6 Kemerovo, 650000, Russia, lybanya_09@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8542-2055>

Pavel P. Ivanov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, mechatronics and automation of technological systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str., 6 Kemerovo, 650000, Russia, ipp7@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8086-3273>

Igor B. Plotnikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, mechatronics and automation of technological systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str., 6 Kemerovo, 650000, Russia, plotnikov-ib@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0149-1724>

Konstantin B. Plotnikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, mechatronics and automation of technological systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str., 6 Kemerovo, 650000, Russia, k.b.plotnikov.rf@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4145-0027>

Evgeny N. Neverov Dr. Sci. (Engin.), professor, technosphere safety department, Kemerovo State University, Krasnaya Str., 6 Kemerovo, 650000, Russia, neverov42@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

Contribution

Liubov V. Plotnikova review of the literature on an investigated problem, wrote the manuscript

Pavel P. Ivanov Konstantin B. Plotnikov Evgeny N. Neverov consultation during the study

Igor B. Plotnikov conducted an experiment, correct the manuscript it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/07/2021	После редакции 12/08/2021	Принята в печать 30/08/2021
Received 21/07/2021	Accepted in revised 12/08/2021	Accepted 30/08/2021