

## Определение рациональных технологических параметров работы экстрактора Сокслета при получении спиртовой настойки из ягод клюквы

Б. Н. Федоренко<sup>1</sup>, Д. М. Бородулин<sup>2</sup>, М. В. Просин<sup>2,\*</sup>,  
А. В. Шафрай<sup>2</sup>, Б. А. Лобасенко<sup>2</sup>, Я. С. Головачева<sup>2</sup>



<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет  
пищевых производств»,  
125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

Дата поступления в редакцию: 14.01.2020  
Дата принятия в печать: 23.03.2020

\*e-mail: [prosinmv@yandex.ru](mailto:prosinmv@yandex.ru)



© Б. Н. Федоренко, Д. М. Бородулин, М. В. Просин, А. В. Шафрай, Б. А. Лобасенко, Я. С. Головачева, 2020

### Аннотация.

**Введение.** Растительное сырье является основным сырьем для получения настоек. Важнейшей производственной стадией получения настоек и ароматных спиртов является процесс экстрагирования. Целью данной работы является исследование процесса экстрагирования целевых веществ из плодово-ягодного сырья для производства алкогольных настоек.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объекта исследования были использованы ягоды клюквы, широко распространенные на территории Сибири и обладающие множеством полезных свойств. Плоды клюквы богаты витаминами С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, РР и редким витамином К<sub>1</sub>. Исследования проводились при помощи экстрактора Сокслета. Обработка экспериментальных результатов проводилась при помощи метода множественного регрессионного анализа. При проведении исследований использовались общепринятые методики оценки качества образцов алкогольных напитков.

**Результаты и их обсуждение.** В результате обработки экспериментальных данных подобраны рекомендуемые технологические режимные параметры производства ароматной клюквенной алкогольной настойки. Наибольшее влияние на содержание сухих веществ в клюквенной настойке оказывают максимальные значения всех трех исследуемых параметров, входящих в процесс экстрагирования. При рекомендуемых условиях клюквенные настойки получаются с высоким содержанием целевых компонентов. Представленное математическое описание процесса экстрагирования в экстракторе Сокслета позволяет предварительно определить качественные показатели получаемого напитка в начале производства. Контрольные эксперименты, проведенные при данных режимах, подтвердили расчетные значения.

**Выводы.** За счет использования экстрактора Сокслета продолжительность приготовления алкогольной клюквенной настойки сократилась до 20 мин, что отличается от классического настойного метода производства. При использовании экстрактора Сокслета расходуется меньшее количество растворителя и сырья за счет почти максимальной полноты извлечения целевых компонентов плодово-ягодного сырья. Все это отразится на себестоимости конечного продукта, на затратах производителя и скажется на его экономической ситуации.

**Ключевые слова.** Экстрактор Сокслета, клюква, экстрагирование, настойки, спирт, регрессионный анализ, рациональные режимы

**Для цитирования:** Определение рациональных технологических параметров работы экстрактора Сокслета при получении спиртовой настойки из ягод клюквы / Б. Н. Федоренко, Д. М. Бородулин, М. В. Просин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 115–123. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-115-123>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

## Rational Technological Parameters of the Soxhlet Extractor in the Production of Alcoholic Extracts from Cranberries

B.N. Fedorenko<sup>1</sup>, D.M. Borodulin<sup>2</sup>, M.V. Prosin<sup>2,\*</sup>,  
A.V. Shafrai<sup>2</sup>, B.A. Lobasenko<sup>2</sup>, Ya.S. Golovacheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Food Production,  
11, Volokolamskoye shosse, Moscow, 125080, Russia

Received: January 14, 2020  
Accepted: March 03, 2020

<sup>2</sup> Kemerovo State University,  
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

\*e-mail: prosinmv@yandex.ru



© B.N. Fedorenko, D.M. Borodulin, M.V. Prosin, A.V. Shafrai, B.A. Lobasenko, Ya.S. Golovacheva, 2020

## Abstract.

*Introduction.* Vegetable raw materials have always been and still remain the main raw material for obtaining extracts. The extraction process is the most important stage during the production of extracts and aromatic spirits. The research objective was to study the extraction process of the target substances from fruit and berry raw materials for the production of alcoholic extracts.

*Study objects and methods.* The study featured cranberries, which are widespread in Siberia and have many useful properties. Cranberries are rich in vitamins C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, PP and rarer vitamin K<sub>1</sub>. The studies were conducted using a Soxhlet extractor. The experimental results were processed using the method of multiple regression analysis. The research also exploited generally accepted methods for assessing the quality of samples of alcoholic beverages.

*Results and discussion.* The experiments made it possible to define the optimal technological regime parameters for the production of aromatic cranberry extract. The maximum values of all three processing parameters exerted the greatest effect on the dry matter content in cranberry extract. The recommended conditions resulted in a cranberry extract with a high content of target components. The presented mathematical description of the extraction process in the Soxhlet extractor makes it possible to preliminarily determine the quality indicators of the resulting beverage at the onset of production. Control experiments conducted under these conditions confirmed the calculated values.

*Conclusion.* By using a Soxhlet extractor, the preparation time for alcoholic cranberry extract was reduced to 20 minutes, which differs by one order of magnitude from the classical infusion production method. The Soxhlet extractor made it possible to use less solvent and raw materials, due to the almost maximum completeness of extraction of the target components of fruit and berry raw materials. This fact is bound to decrease the production expenses and the cost of the final product.

**Keywords.** Soxhlet extractor, cranberries, extraction, tinctures, alcohol, regression analysis, rational modes

**For citation:** Fedorenko BN, Borodulin DM, Prosin MV, Shafrai AV, Lobasenko BA, Golovacheva YaS. Rational Technological Parameters of the Soxhlet Extractor in the Production of Alcoholic Extracts from Cranberries. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):115–123. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-115-123>.

## Введение

Растительное сырье является основным сырьем для получения настоек. Современные производители отдают предпочтение ягодам и фруктам, но встречаются варианты изделий, изготовленные на косточках, душистых и лечебных травах, пряностях, а также прочих составляющих [1, 2].

В ликероводочном производстве для получения настоек используются свыше 100 видов растительного сырья [3, 4]. Химический состав растительного сырья весьма сложен и разнообразен. Своим составом отличаются не только разные виды растений, но в пределах одного вида различные сорта могут иметь неодинаковый химический состав. Содержание тех или иных веществ колеблется в широких диапазонах в зависимости от множества причин. В первую очередь это климат, метеорологические условия вегетационного периода и качество почвы.

В связи с ростом потребительских способностей населения России и повышением спроса на алкогольные напитки становятся актуальными вопросы импортозамещения. Для снижения себестоимости и расширения линейного ассортимента продукции необходимо использовать основное сырье, произрастающее на территории Сибири.

Основной производственной стадией получения настоек и ароматных спиртов является процесс

экстрагирования, применяемый практически во всех отраслях промышленности. Поэтому существует огромное количество конструкций экстракторов для системы твердое тело-жидкость периодического и непрерывного действия. Все они отличны между собой по эффективности, энергозатратам и применимости в том или ином производстве [5, 6].

Интенсификация и увеличение производительности технологического оборудования с одновременным повышением качества конечного продукта – главные цели, которые ставят перед собой разработчики при создании новых или модернизации существующих конструкций экстракторов. Поэтому исследование и разработка нового оборудования для эффективного проведения процессов экстракции является актуальной задачей, представляющей интерес для пищевой, химической и фармацевтической отраслей промышленности.

Целью данной работы является определение рациональных технологических параметров работы экстрактора Соксклета на основе регрессионного анализа данных полученных при экстрагировании целевых компонентов из ягод клюквы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– определение рациональных технологических параметров работы экстрактора Соксклета при получении клюквенной настойки;

- определение степени влияния исследуемых технологических параметров на выход сухих веществ в получаемой клюквенной настойке;
- получение уравнений регрессии, адекватно описывающих процесс экстрагирования (извлечения целевых компонентов из ягод клюквы).

### Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны ягоды клюквы, широко распространенные на территории Сибири и обладающие множеством полезных свойств. Клюква часто используется для приготовления различных настоек из-за огромного количества лимонной и хининовой кислот, витаминов С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, РР, редкого витамина К<sub>1</sub> в плодах ягод. В лечебных целях клюква используется как жаропонижающее, мочегонное и бактерицидное средство [7–9].

В качестве экстрагента использовался водно-спиртовой раствор на основе этилового спирта класса «Люкс», соответствующего требованиям ГОСТ 5962-2013. Содержание этилового спирта составляет 96,5 %. Вода, используемая в исследованиях, соответствует требованиям ГОСТ 6709-72.

Процесс экстрагирования осуществляли в экстракторе Сокслета, который предназначен для получения экстрактов из различного сырья и быстрой ароматизации крепких напитков [10]. Его основное преимущество заключается в том, что внутрь экстрактора подается чистый водно-спиртовой раствор, не насыщенный экстрагируемым веществом. Это способствует более эффективному обогащению целевыми компонентами и ароматами извлекаемого вещества.

Классический метод производства спиртовых настоек является длительным и трудоемким процессом [11]. Экстрактор Сокслета позволяет сократить время приготовления от нескольких недель или даже месяцев до нескольких часов. Принцип работы данного аппарата основан на многократной обработке сырья небольшим объемом водно-спиртового раствора, в результате которого целевые компоненты выделяются и образуют готовый экстракт [10, 11].

На рисунке 1 показана конструкция экстрактора Сокслета. Он состоит из испарительного (перегонного) куба (1) с установленным в нем слив сифоном (5), в котором имеется паропровод (3) и сифон (4). В сифоне установлена корзинка (6), в которую загружается экстрагируемое сырье. Корпус экстрактора (2) закрывают крышкой корзинки (7). Дефлегматор (8) закрепляется на корпусе экстрактора с помощью клапана соединения. Через штуцер входа охлаждения (9) поступает холодная вода для охлаждения исследуемой жидкости. Через штуцер выхода охлаждения (10) идет трубка вывода отработанной воды в слив.

Экстрактор работает следующим образом. При закипании водно-спиртового раствора в перегонном кубе (1) образуется пар, который поднимается

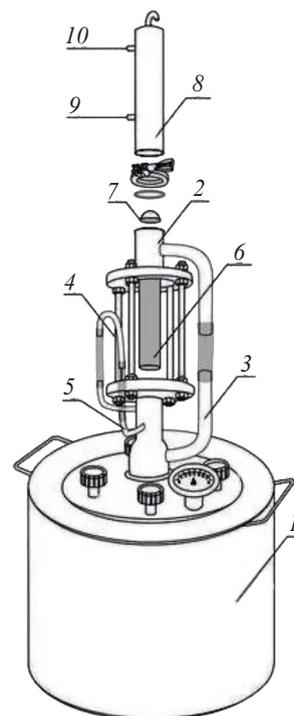


Рисунок 1. Экстрактор Сокслета: 1 – перегонный куб; 2 – корпус экстрактора; 3 – паропровод; 4 – сифон; 5 – слив сифона; 6 – корзинка; 7 – крышка корзинки; 8 – дефлегматор; 9 – штуцер входа охлаждения; 10 – штуцер выхода охлаждения

Figure 1. Soxhlet Extractor: 1 – distillation cube; 2 – casing; 3 – steam line; 4 – siphon; 5 – drain siphon; 6 – basket; 7 – basket cover; 8 – reflux condenser; 9 – cooling inlet fitting; 10 – cooling output fitting

по паропроводу (3) в дефлегматор (8). В нем происходит процесс охлаждения и конденсация пара. Получившаяся жидкость стекает в корзинку (6), в которую погружены ягоды клюквы (сырье). За время заполнения водно-спиртовым раствором корзинки (6) с ягодами происходит экстракция целевых компонентов. Затем насыщенный водно-спиртовой раствор стекает по сливу (5) в перегонный куб (1) и полый цикл повторяют снова. Таким образом, процесс экстрагирования происходит многократно до полного извлечения целевых компонентов из ягодного сырья [12].

Продолжительность осуществления процесса экстрагирования в экстракторе Сокслета прямым образом зависит от свойств и структуры сырья. В нашем случае во время предварительных экспериментов при извлечении целевых компонентов из ягод клюквы не целесообразно осуществлять процесс более 20 мин. Этот фактор определен из-за уникальности экспериментальной конструкции. Корзинка (6) выполнена из прозрачного стекла, для того чтобы визуально наблюдать за процессом. В первые минуты экстрагирования в экстракторе Сокслета раствор начинает набирать характерный

цвет продукта и после 10 мин наблюдается максимальная цветность. При достижении 20 мин раствор вновь приобретает бледно розовый оттенок и затем становится прозрачным. Это свидетельствует о прекращении процесса экстрагирования.

Основным показателем, по которому оценивается эффективность исследуемого экстрактора Соксклета, является содержание сухих веществ. Сухие вещества в полученных образцах клюквенных настоек определялись при помощи анализатора влажности «AND MS-70», состоящего из двух частей: аналитических весов и сушильного блока. Принцип работы анализатора влажности «AND MS-70» состоит в анализе влаги, которая испаряется при нагревании образца. В процессе исследований производилась следующая последовательность действий [13, 14]:

- взвешивание образца клюквенной настойки в количестве 1 мл;
- высушивание данного образца в сушильном блоке под действием теплового излучения;
- взвешивание образца клюквенной настойки после сушки;
- определение концентрации сухих веществ в образце.

С целью определения рациональных режимов работы аппарата нами были проведены исследования по выявлению степени влияния крепости водно-спиртового раствора  $K$ , объема загрузки ягод в стаканчик  $V_{ст}$  и продолжительности экстрагирования  $\tau$  на содержание сухих веществ  $C$  в полученной клюквенной настойке. Для этого были определены все необходимые параметры проведения процесса экстрагирования по известной методике [15–17].

### Результаты и их обсуждение

Все исследования проводились на базе инжинирингового центра «Food engineering» Института инженерных технологий Кемеровского государственного университета. Во время предварительных экспериментов были определены диапазоны варьирования исследуемых параметров: крепость ( $K = 40 \pm 50 \%$ ), объем загрузки ягод в стаканчик ( $V_{ст} = 62 \pm 186 \text{ см}^3$ ), продолжительность экстрагирования ( $\tau = 10 \pm 20 \text{ мин}$ ).

Значения исследуемых технологических факторов по уровням представлены в таблице 1.

Матрица планирования в кодированном и натуральном виде, а также полученные результаты

Таблица 1. Значения технологических факторов по уровням

Table 1. Values of technological factors by levels

Метка	$V_{ст}, \text{ см}^3$	$\tau, \text{ мин}$	$K, \%$
Верхний уровень	186	20	50
Нижний уровень	62	10	40
Центр плана	124	15	45
Интервал	62	5	5

содержания сухих веществ в образцах клюквенной настойки представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что большее влияние на содержание сухих веществ в клюквенной настойке оказывают максимальные значения всех трех исследуемых параметров, входящих в процесс экстрагирования, т. е.  $V_{ст} = 186 \text{ см}^3$ ,  $\tau = 20 \text{ мин}$ ,  $K = 50 \%$ .

Обработка опытных данных для исследуемых настоек проведена в интегрированной системе комплексного статистического анализа «Statistica 8» при помощи модуля «Общие регрессионные модели». В ходе исследования было получено несколько регрессионных моделей содержания сухих веществ, наилучшая из которых рассчитана инструментом «Поверхностная регрессия смеси». Далее приведено ее описание.

Модель можно охарактеризовать как аналитическую эмпирическую динамическую стохастическую нелинейную математическую модель [18]. Ее общие статистические параметры сведены в таблицу 3. Значение коэффициента корреляции  $R$  составляет

Таблица 2. Матрица планирования и результаты

Table 2. Planning matrix and results

№	В кодированном виде			В натуральном виде			
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$V_{ст}, \text{ см}^3$	$\tau, \text{ мин}$	$K, \%$	$C, \%$
1	+	–	–	186	10	40	0,4
2	+	0	–	186	15	40	0,6
3	+	+	–	186	20	40	0,6
4	0	–	–	124	10	40	0,3
5	0	0	–	124	15	40	0,4
6	0	+	–	124	20	40	0,4
7	–	–	–	62	10	40	0,2
8	–	0	–	62	15	40	0,3
9	–	+	–	62	20	40	0,4
10	+	–	0	186	10	45	0,4
11	+	0	0	186	15	45	0,5
12	+	+	0	186	20	45	0,6
13	+	–	0	124	10	45	0,4
14	0	0	0	124	15	45	0,5
15	0	+	0	124	20	45	0,5
16	–	–	0	62	10	45	0,3
17	–	0	0	62	15	45	0,4
18	–	+	0	62	20	45	0,4
19	+	–	+	186	10	50	0,5
20	+	0	+	186	15	50	0,7
21	+	+	+	186	20	50	0,7
22	0	–	+	124	10	50	0,5
23	0	0	+	124	15	50	0,5
24	0	+	+	124	20	50	0,6
25	–	–	+	62	10	50	0,4
26	–	0	+	62	15	50	0,4
27	–	+	+	62	20	50	0,5

Таблица 3. Общие параметры регрессионной модели

Table 3. General parameters of the regression model

Параметр	Значение
R	0,99560
R <sup>2</sup>	0,99130
F	399,79000
p	0,00001

Таблица 4. Статистические показатели коэффициентов модели

Table 4. Statistical indicators of the coefficients in the model

	Значение	t-критерий	p-уровень	β
V <sub>ст</sub>	-0,000158	-0,086100	0,932100	-0,044700
τ	-0,013863	-0,899800	0,378300	-0,454100
K	0,004130	1,950900	0,064500	0,393200
V <sub>ст</sub> ·τ	0,000068	1,470500	0,156200	0,296400
V <sub>ст</sub> ·K	0,000015	0,366600	0,717500	0,185000
τ·K	0,000437	1,244500	0,226900	0,646200

0,9956. Это показывает сильную корреляционную связь, стремящуюся по своему значению к функциональной, между объемом загрузки стаканчика, продолжительностью экстрагирования, крепостью и содержанием сухих веществ. Коэффициент детерминации (R<sup>2</sup>) данной модели, равный 0,9913, также очень высок. Это говорит о том, что доля дисперсии количества сухих веществ объясняется исследуемой моделью на 99,13 %. F-критерий Фишера имеет высокое значение (F = 399,79), что показывает модель адекватной и пригодной для осуществления прогнозов. Если поставить произвольные значения (в пределах допустимых) независимых переменных в модель, то она спрогнозирует истинное значение зависимой величины. Об этом свидетельствует p-уровень, который близок к нулю. Его величина указывает на то, что модель с вероятностью 0,001% будет являться лишь случайным совпадением для данных экспериментальных значений.

В таблице 4 приведены коэффициенты регрессии модели [19]. Статистическая значимость (p-уровень) у коэффициентов находится в очень широком диапазоне: от 6,45 до 93,21 %. Это говорит о разной статистической силе коэффициентов и характеризует случайность особенности экспериментальных данных. Аналогичные результаты показывает t-критерий Стьюдента, принимая небольшие значения, значащие небольшую статистическую значимость коэффициентов. В соответствии с этим оценены коэффициенты β. Данный коэффициент оценивает меру чувствительности одной переменной к другой переменной. Это означает, что наиболее чувствительным для содержания сухих веществ будет влияние продолжительности экстрагирования и крепости, что подтверждает их совместное

Таблица 5. Сравнение моделируемых и экспериментальных значений содержания сухих веществ

Table 5. Comparison of modeled and experimental values of solids content

№	Экспериментальные	Моделируемые	Погрешность
1	0,400000	0,405356	-0,005356
2	0,600000	0,486182	0,113818
3	0,600000	0,567009	0,032991
4	0,300000	0,337304	-0,037304
5	0,400000	0,397187	0,002813
6	0,400000	0,457069	-0,057069
7	0,200000	0,269252	-0,069252
8	0,300000	0,308191	-0,008191
9	0,400000	0,347130	0,052870
10	0,400000	0,461330	-0,061330
11	0,500000	0,553070	-0,053070
12	0,600000	0,644810	-0,044810
13	0,400000	0,388780	0,011220
14	0,500000	0,459576	0,040424
15	0,500000	0,530373	-0,030373
16	0,300000	0,316229	-0,016229
17	0,400000	0,366082	0,033918
18	0,400000	0,415935	-0,015935
19	0,500000	0,517303	-0,017303
20	0,700000	0,619958	0,080042
21	0,700000	0,722612	-0,022612
22	0,500000	0,440255	0,059745
23	0,500000	0,521966	-0,021966
24	0,600000	0,603676	-0,003676
25	0,400000	0,363207	0,036793
26	0,400000	0,423973	-0,023973
27	0,500000	0,484740	0,015260

действие. Малое значение всех основных параметров, так же как и сама величина коэффициентов, объясняется большой разницей в размерностях всех величин, а особенно огромной разницей значений содержания сухих веществ (зависимая переменная) и размерностей всех независимых переменных.

Регрессионная модель представлена в виде уравнения, в котором в роли зависимой переменной приведено количество сухих веществ (C<sub>сух в-в</sub>), а в качестве независимых переменных выступают объем загрузки ягод в стаканчик (V<sub>ст</sub>), продолжительность экстрагирования (τ) и крепость (K). Данное уравнение имеет вид:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 \quad (1)$$

Подставляя в выражение (1) значения коэффициентов из таблицы 4, получается следующий вид математической модели:

$$C_{\text{сух в-в}} = -0,000158V_{\text{ст}} - 0,013863\tau + 0,004130K + 0,000068V_{\text{ст}} \cdot \tau + 0,000015V_{\text{ст}} \cdot K + 0,000437\tau \cdot K \quad (2)$$

Использование математической модели (2) позволяет предсказать значения зависимой переменной от независимых, т. е. предсказать содержание сухих веществ от загрузки ягод в стакане, продолжительности экстрагирования и крепости. Сравнение предсказанных (моделируемых) и экспериментальных значений содержания сухих веществ представлено в таблице 5. Из таблицы видно, что остатки от сравнения достаточно малы. Следовательно, модель можно использовать для моделирования получения желательного количества сухих веществ.

Математическая модель (2), полученная в ходе исследования, может считаться адекватной и может быть использована для дальнейшего тестирования [20].

Анализируя полученное итоговое уравнение множественной регрессии (2), можно сделать следующий вывод. На производство алкогольных настоек из ягод клюквы наибольшее влияние оказывает продолжительность проведения процесса в экстракторе Сокслета.

Стоит помнить о том, что время оказывает положительное воздействие только до наступления состояния равновесия системы. Как только из сырья извлекается максимальное количество целевых компонентов, продолжать процесс становится не рациональным. За счет конструкции аппарата экстрагирование рационально проводить в течение 20 мин. Затем процесс стабилизировался и повышение концентрации сухих веществ не наблюдалось.

Следующий фактор, оказывающий наибольшее влияние на процесс экстрагирования, это крепость растворителя. И затем уже объем загрузки ягод в стаканчик аппарата.

Вышесказанное подтверждается при рассмотрении совместного воздействия факторов. Больше воздействие на конечное содержание сухих веществ оказывает продолжительность и крепость растворителя.

### Выводы

Проведенные эксперименты позволяют оценить эффективность производства клюквенных алкогольных настоек при помощи экстрактора Сокслета.

В результате обработки экспериментальных данных подобраны рекомендуемые технологические режимные параметры производства, а именно  $V_{\text{ст}} = 186 \text{ см}^3$ ,  $K = 50 \%$ ,  $\tau = 20 \text{ мин}$ . При данных

условиях клюквенные настойки получаются с высоким содержанием целевых веществ.

Представленное математическое описание процесса экстрагирования в экстракторе Сокслета с более чем 90 % достоверностью позволяет предварительно определить качественные показатели получаемого напитка в начале производства. Контрольные эксперименты, проведенные при данных режимах, подтвердили расчетные значения.

За счет использования экстрактора Сокслета продолжительность приготовления алкогольной клюквенной настойки сократилась до 20 мин, что на порядок отличается от классического настоечного метода производства. При использовании экстрактора Сокслета расходуется меньшее количество растворителя и сырья за счет максимальной полноты извлечения целевых компонентов плодово-ягодного сырья по отношению к классическому настоечному способу. Все это отразится на себестоимости конечного продукта, на затратах производителя и скажется на его экономической ситуации.

### Критерии авторства

Б. Н. Федоренко – руководитель проекта. Д. М. Бородулин – руководитель, исследовательская и описательная часть. М. В. Просин – исследовательская, экспериментальная и описательная часть. А. В. Шафрай – экспериментальная и техническая часть. Б. А. Лобасенко – консультант, описательная часть. Я. С. Головачева – экспериментальная часть.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### Contribution

B.N. Fedorenko supervised the project. D.M. Borodulin was responsible for the research and description. M.V. Prosin participated in the research, experimental, and descriptive parts. A.V. Shafrai was responsible for experimental and technical aspects. B.A. Lobasenko provided advice and interpreted the results. Ya.S. Golovacheva took part in the experimental research.

### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

### Список литературы

1. Borodulin, D. M. Investigation of influence of oxygen on process of whiskey ripening in new design of extractor / D. M. Borodulin, A. N. Potapov, M. V. Prosin // Advances in Engineering Research. – 2018. – Vol. 151. – P. 578–583. DOI: <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.108>.
2. Выявление предпосылок комплексной переработки плодово-ягодного сырья Сибирского региона / Т. Ф. Киселева, И. С. Зайцева, Д. Б. Пеков [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – Т. 14, № 3. – С. 7–11.

3. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide / M. H. Carlsen, B. L. Halvorsen, K. Holte [et al.] // Nutrition Journal. – 2010. – Vol. 9, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-3>.
4. Пакен, П. Функциональные напитки и напитки специального назначения / П. Пакен. – СПб. : Профессия, 2010. – 508 с.
5. Разработка экстракторов для системы «твердое тело–жидкость» / А. Н. Потапов, М. В. Просин, А. М. Магилина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – Т. 30, № 3. – С. 80–84.
6. Домарецкий, В. А. Технология экстрактов, концентратов и напитков из растительного сырья / В. А. Домарецкий. – М. : ФОРУМ, 2007. – 444 с.
7. Research on the mineral composition of cultivated and wild blueberries and cranberries / A. Karlsons, A. Osvalde, G. Cekstere [et al.] // Agronomy research. – 2018. – Vol. 16, № 2. – P. 454–463. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.18.039>.
8. Исследование процесса экстрагирования дикорастущих ягод Сибири с использованием биокаталитических методов / Е. А. Овсянникова, Т. Ф. Киселева, А. Н. Потапов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – Т. 27, № 4. – С. 110–114.
9. Cranberries versus lingonberries: A challenging authentication of similar *Vaccinium* fruit / K. Hurkova, L. Uttl, J. Rubert [et al.] // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 284. – P. 162–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.014>.
10. Интенсификация процесса охмеления пивного сула с применением роторно-пульсационного аппарата / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец, Е. А. Сафонова [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2017. – № 4. – С. 3–12. DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-4-3-12>.
11. Научные аспекты производства крепких спиртных напитков из плодового сырья / Л. А. Оганесянц, Б. Б. Рейтблат, В. А. Песчанская [и др.] // Виноделие и виноградарство. – 2012. – № 1. – С. 18–19.
12. Konga, A. K. Soxhlet extraction of *Spirogyra* sp. algae: an alternative fuel / A. K. Konga, A. S. Muchandi, G. P. Ponnaiah // Biofuels. – 2017. – Vol. 8, № 1. – P. 29–35. DOI: <https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1196328>.
13. Мурашев, С. В. Определение содержания воды и сухих веществ в пищевых продуктах / С. В. Мурашев, А. Л. Ишевский, Н. А. Уварова. – СПб. : НИУ ИТМО, 2007. – 24 с.
14. Comparative analysis of physical and chemical properties of biodegradable edible films of various compositions / L. Dyshlyuk, O. Babich, D. Belova [et al.] // Journal of Food Process Engineering. – 2017. – Vol. 40, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12331>.
15. Rudoy, G. I. Analysis of the stability of nonlinear regression models to errors in measured data / G. I. Rudoy // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2016. – Vol. 26, № 23. – P. 608–616. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1054661816030172>.
16. Wu, J. Noise variance estimation method based on regression analysis and principal component analysis / J. Wu, F. You, P. Jiang // Dianzi Yu Xinxu Xuebao/Journal of Electronics and Information Technology. – 2018. – Vol. 40, № 5. – P. 1195–1201. DOI: <https://doi.org/10.11999/JEIT170624>.
17. Просин, М. В. Разработка и исследование роторно-пульсационного экстрактора для интенсификации процесса затиранья при производстве пива: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Просин Максим Валерьевич. – Кемерово, 2014. – 150 с.
18. Бунтова, Е. В. Статистическая обработка результатов измерений / Е. В. Бунтова. – Самара : Книга, 2011. – 87 с.
19. Алексеев, Г. В. Использование математического моделирования для ресурсосберегающих пищевых производств / Г. В. Алексеев, О. И. Аксенова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 3. – С. 1–10.
20. Evangelista, R. L. Oil extraction from lesquerella seeds by dry extrusion and expelling / R. L. Evangelista // Industrial Crops and Products. – 2009. – Vol. 29, № 1. – P. 189–196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.024>.

## References

1. Borodulin DM, Potapov AN, Prosin MV. Investigation of influence of oxygen on process of whiskey ripening in new design of extractor. Advances in Engineering Research. 2018;151:578–583. DOI: <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.108>.
2. Kiseleva TF, Zajtseva IS, Pekov DB, Babij NV. Revealing of preconditions of complex processing of fruit-berry raw material of Siberian region. Food Processing: Techniques and Technology. 2009;14(3):7–11. (In Russ.).
3. Carlsen MH, Halvorsen BL, Holte K, Bohn SK, Dragland S, Sampson L, et al. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. Nutrition Journal. 2010;9(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-3>.
4. Paken P. Functional and speciality beverage technology. St. Petersburg: Professiya; 2010. 508 p. (In Russ.).
5. Potapov AN, Prosin MV, Magilina AM, Ponamareva MV. Development of extractors for system of solid – liquid. Food Processing: Techniques and Technology. 2013;30(3):80–84. (In Russ.).
6. Domaretskiy VA. Tekhnologiya ehkstraktov, kontsentratov i napitkov iz rastitel'nogo syr'ya [Technology of extracts, concentrates, and drinks from plant materials]. Moscow: FORUM; 2007. 444 p. (In Russ.).
7. Karlsons A, Osvalde A, Cekstere G, Ponnale J. Research on the mineral composition of cultivated and wild blueberries and cranberries. Agronomy research. 2018;16(2):454–463. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.18.039>.

8. Ovsyannikova EA, Kiseleva TF, Potapov AN, Duzhev AV. Research on the wild berries of Siberia extraction using biocatalytic methods. Food Processing: Techniques and Technology. 2012;27(4):110–114. (In Russ.).
9. Hurkova K, Uttl L, Rubert J, Navratilova K, Kocourek V, Stranska-Zachariasova M, et al. Cranberries versus lingonberries: A challenging authentication of similar *Vaccinium* fruit. Food Chemistry. 2019;284:162–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.014>.
10. Borodulin DM, Ivanets VN, Safonova EA, Prosin MV, Milenkiy IO, Noskova VV. Intensification of beer wort hopping with the use of rotary pulsation apparatus. Scientific Journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment. 2017;(4):3–12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-4-3-12>.
11. Oganesyants LA, Reitblat BB, Peschanskaya VA, Dubinina EV. Scientific aspects of ardent spirits production from fruit raw materials. Vinodelie i vinogradarstvo [Winemaking and Viticulture]. 2012;(1):18–19. (In Russ.).
12. Konga AK, Muchandi AS, Ponnaiah GP. Soxhlet extraction of *Spirogyra* sp. algae: an alternative fuel. Biofuels. 2017;8(1):29–35. DOI: <https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1196328>.
13. Murashev SV, Ishevskiy AL, Uvarova NA. Opredelenie sodержaniya vody i sukhikh veshchestv v pishchevykh produktakh [Determination of water and solids in food products]. St. Petersburg: ITMO University; 2007. 24 p. (In Russ.).
14. Dyshlyuk L, Babich O, Belova D, Prosekov A. Comparative analysis of physical and chemical properties of biodegradable edible films of various compositions. Journal of Food Process Engineering. 2017;40(1). DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12331>.
15. Rudoy GI. Analysis of the stability of nonlinear regression models to errors in measured data. Pattern Recognition and Image Analysis. 2016;26(23):608–616. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1054661816030172>.
16. Wu J, You F, Jiang P. Noise variance estimation method based on regression analysis and principal component analysis. Dianzi Yu Xinxi Xuebao/Journal of Electronics and Information Technology. 2018;40(5):1195–1201. DOI: <https://doi.org/10.11999/JEIT170624>.
17. Prosin MV. Razrabotka i issledovanie rotorno-pul'satsionnogo ehkstraktora dlya intensivatsii protsessa zatiraniya pri proizvodstve piva [Development and research of a rotary pulsation extractor to intensify the mashing process in beer production]. Cand. eng. sci. diss. Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry; 2014. 150 p.
18. Buntova EV. Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov izmereniy [Statistical processing of measurement results]. Samara: Kniga; 2011. 87 p. (In Russ.).
19. Alexeev GV, Aksenova OI. Use of mathematical modeling for resursosberegayuschih food production. Scientific Journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment. 2014;(3):1–10. (In Russ.).
20. Evangelista RL. Oil extraction from lesquerella seeds by dry extrusion and expelling. Industrial Crops and Products. 2009;29(1):189–196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.024>.

#### Сведения об авторах

##### Федоренко Борис Николаевич

д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной механики и инжиниринга технических систем, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, тел.: +7 (499) 750-01-11,  e-mail: [fedorenkoBN@mgupp.ru](mailto:fedorenkoBN@mgupp.ru)

##### Бородулин Дмитрий Михайлович

д-р. техн. наук, профессор, директор Института инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (923) 616-58-75, e-mail: [borodulin\\_dmitri@list.ru](mailto:borodulin_dmitri@list.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

##### Просин Максим Валерьевич

канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (950) 262-31-88, e-mail: [prosinmv@yandex.ru](mailto:prosinmv@yandex.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-4615-5628>

#### Information about the authors

##### Boris N. Fedorenko

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Applied Mechanics and Engineering of Technical Systems, Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoye shosse, Moscow, 125080, Russia, phone: +7 (499) 750-01-11,  e-mail: [fedorenkoBN@mgupp.ru](mailto:fedorenkoBN@mgupp.ru)

##### Dmitry M. Borodulin

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Director of the Institute of Engineering, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (923) 616-58-75, e-mail: [borodulin\\_dmitri@list.ru](mailto:borodulin_dmitri@list.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

##### Maksim V. Prosin

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (950) 262-31-88, e-mail: [prosinmv@yandex.ru](mailto:prosinmv@yandex.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-4615-5628>

**Шафрай Антон Валерьевич**

канд. техн. наук, доцент кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (903) 984-38-46, e-mail: shafraia@mail.ru

**Лобасенко Борис Анатольевич**

д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (905) 902-12-27, e-mail: lobasenko@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>

**Головачева Яна Сергеевна**

магистрант кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (905) 947-54-57, e-mail: golovacheva-96@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6521-9308>

**Anton V. Shafrai**

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technological Design of Food Production, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (903) 984-38-46, e-mail: shafraia@mail.ru

**Boris A. Lobasenko**

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Technological Design of Food Productions, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (905) 902-12-27, e-mail: lobasenko@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>

**Yana S. Golovacheva**

Undergraduate of the Department of Technological Design of Food Productions, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (905) 947-54-57, e-mail: golovacheva-96@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6521-9308>