

УДК: 664:612.393.1

DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0018

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭКСТРАКЦИОННОГО АППАРАТА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ВИСКИ

© Автор(ы) 2022

SPIN: 5147-2676

AuthorID: 279181

ORCID: 0000-0003-3035-0354

ResearcherID: F-1784-2014

ScopusID: 57190973304

БОРОДУЛИН Дмитрий Михайлович, доктор технических наук,

директор Института инженерных технологий

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: borodulin_dmitri@list.ru)

SPIN: 6276-9754

AuthorID: 430602

ORCID: 0000-0002-9503-1349

ResearcherID: AEM-0268-2022

ScopusID: 57217050130

САФОНОВА Елена Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры Инженерного дизайна

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: safonnova.kem@yandex.ru)

SPIN: 6149-6300

AuthorID: 796839

ORCID: 0000-0002-4615-5628

ResearcherID: AAB-8546-2022

ScopusID: 57218105822

ПРОСИН Максим Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Техносферной безопасности

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: prosinmv@yandex.ru)

SPIN: 8256-5779

AuthorID: 1059896

ORCID: 0000-0002-6521-9308

ScopusID: 57219225693

ГОЛОВАЧЕВА Яна Сергеевна, аспирант кафедры Инженерного дизайна

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6, e-mail: iitumr@yandex.ru)

Аннотация. Оснащение технологических линий новым, более эффективным оборудованием и внедрение современных технологий является актуальной задачей перед российскими производителями виски. При классической технологии выдержка висковых дистиллятов происходит в дубовых бочках и является длительным процессом. Бочки проходят предварительную подготовку, что приводит к повышению их стоимости, и как следствие самого виски. Целью данной работы являлась оценка эффективности работы новой конструкции экстракционного аппарата на предприятии ООО «БирЛайн» для осуществления процесса созревания висковых дистиллятов с добавлением в него дубовой щепы при воздействии на них кислородом. Для этого была разработана технологическая линия, включающая в себя экстракционный аппарат новой конструкции. Его особенностью является наличие рецикл-каналов. Интенсификация процесса созревания вискового дистиллята с добавлением в него дубовой щепы в данном аппарате происходит за счет ввода в нижнюю часть экстрактора воздушной смеси, обогащенной кислородом, в газораспределительное устройство. В результате этого происходит хаотичное движение твердой фазы по всему объему аппарата и таким образом щепы переходит в псевдоожиженное состояние. Кислород, прошедший через весь объем жидкой фазы и затем через рецикл-каналы, вновь попадает в газораспределительное устройство. Это приводит к более интенсивному перемешиванию дубовой щепы и снижению расхода кислорода. В представленном экстракторе был исследован процесс созревания висковых дистиллятов с концентрацией спирта $C_c = 42\%$ при их насыщении газом с концентрацией кислорода 90% ежедневно в течении 3 минут под давлением $0,8$ ат. в течение 3 месяцев. В результате длительность данного процесса сокращается в три раза, по сравнению с классическим способом, предусматривающим созревание вискового дистиллята в дубовых бочках.

Ключевые слова: виски, висковый дистиллят, созревание, дубовая щепы, экстрактор, рецикл-каналы, насыщение кислородом, псевдоожиженный слой.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE EXTRACTION APPARATUS OF NEW DESIGN IN THE TECHNOLOGICAL LINE FOR THE PRODUCTION OF WHISKEY

© The Author(s) 2022

BORODULIN Dmitry Mikhailovich, doctor of technical sciences,
director of the Institute of Engineering Technologies**SAFONOVA Elena Aleksandrovna**, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Engineering design**PROSIN Maksim Valerievich**, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Technosphere safety**GOLOVACHEVA Yana Sergeevna**, postgraduate student of the department of Engineering design,
Kemerovo State University

(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya street, 6,

e-mails: borodulin_dmitri@list.ru, safonova.kem@yandex.ru, prosinmv@yandex.ru, iitumr@yandex.ru)

Abstract. Equipping production lines with new, more efficient equipment and introducing modern technologies is an urgent task for Russian whiskey producers. With the classical technology, whiskey distillates are aged in oak barrels and is a long process. Barrels are pre-treated, which leads to an increase in their cost, and as a result of the whiskey itself. The purpose of this work was to evaluate the efficiency of the new design of the extraction apparatus at the enterprise LLC «BeerLine» for the process of maturation of whiskey distillates with the addition of oak chips to it when exposed to oxygen. For this a technological line which includes an extraction apparatus of a new design is developed. Its feature is the presence of recycling channels. The intensification of the maturation process of whiskey distillate with the addition of oak chips in this apparatus occurs due to the introduction of an oxygen-enriched air mixture into the gas distribution device into the lower part of the extractor. As a result of this, a chaotic movement of the solid phase occurs throughout the entire volume of the apparatus, and thus the chips pass into a fluidized state. Oxygen that has passed through the entire volume of the liquid phase and then through the recycle channels again enters the gas distribution device. This results in more intensive mixing of oak chips and reduced oxygen consumption. In the presented extractor, the process of maturation of whiskey distillates with an alcohol concentration $C_c = 42\%$ was studied when they were saturated with gas with an oxygen concentration of 90% daily for 3 minutes under a pressure of 0.8 atmospheres for 3 months. As a result, the duration of this process is reduced by three times, compared with the classical method, which involves the maturation of the whisk distillate in oak barrels.

Keywords: whisky, whiskey distillate, maturation, oak chips, extractor, recycling channels, oxygenation, fluidized bed.

Для цитирования: Бородулин Д.М. Исследование эффективности работы новой конструкции экстракционного аппарата в технологической линии по производству виски / Д.М. Бородулин, Е.А. Сафонова, М.В. Просин, Я.С. Головачева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3(59). – С. 122-127. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0018.

Введение. В настоящее время перед российскими производителями виски поставлена проблема оснащения технологических линий новым, более эффективным оборудованием и внедрения современных технологий, интенсифицирующих как отдельные процессы, так и изготовление продукта в целом, не потеряв при этом качество, вкуса и аромата напитка [1-2].

К определяющим факторам, оказывающее влияние на качество напитка, относится сырье и технология. Выдержку висковых дистиллятов по классической технологии проводят в дубовых бочках. Этот процесс является довольно долгим, поскольку занимает несколько лет. Кроме того, предъявляются определенные требования для подготовки бочек, что повышает и их стоимость и, как следствие, готового напитка. В настоящее время имеется ряд исследований, которые показывают ряд преимуществ выдержки висковых дистиллятов с применением дубовой щепы перед бочками [3-6]. Также, для сокращения срока выдержки рассматриваются различные интенсивные технологии с применением

методов воздействия на процесс экстрагирования ультразвуком, микроволнами, озонированием, термической обработкой и др. [7-17], которые требуют современного аппаратного оформления. В результате была сформулирована цель работы, которая заключалась в исследовании эффективности работы новой конструкции экстракционного аппарата в технологической линии по производству виски. Аппарат применялся на этапе созревания висковых дистиллятов с применением дубовой щепы методом воздействия на процесс экстрагирования кислородом.

Методология. Для проведения исследования была спроектирована технологическая линия на предприятии ООО «БирЛайн».

Она состояла из заторно-сусловарочно-фильтрационного аппарата, дистилляционно-ректификационного аппарата и экстракционного аппарата новой конструкции (рис. 1).

В заторно-сусловарочно-фильтрационном аппарате [18] производилось приготовление сусла (рис. 1). В таблице 1 показаны значения его технических характеристик.

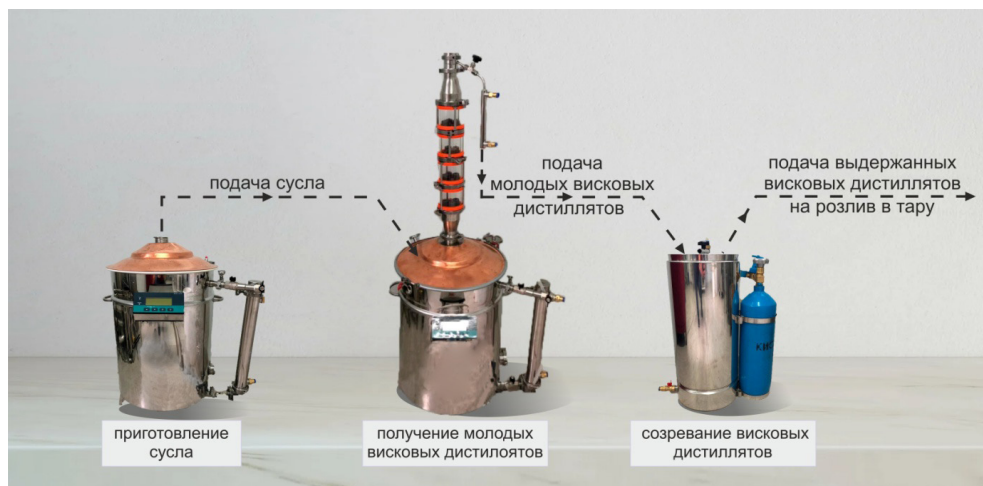


Рисунок 1 – Технологическая линия

Таблица 1 – Заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат

Технические характеристики	Значение
Номинальная потребляемая мощность, кВт	3
Номинальное напряжение, В	230
Род тока	переменный
Частота тока, Гц	50
Потребляемая мощность одного тэна, кВт	3
Количество тэнов, шт	1
Номинальный объем котла, л	60
Температура кипения пропиленгликоля, С	187,4
Объем заливаемого пропиленгликоля в рубашку, л	8,5
Основные размеры:	
объем, л	60
высота, мм	750
диаметр, мм	550

Дистилляционно-ректификационный аппарат, в котором были получены молодые висковые дистилляты (рис. 1), имеет аналогичные характеристики, как и заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат, так как он является универсальным для осуществления обоих процессов. После получения сусла на крышку аппарата устанавливают ректификационную колонну и конденсатор для проведения процесса перегонки.

Новый экстракционный аппарат, включенный в технологическую линию, является аппаратом периодического действия (рис. 2) и обладает техническими характеристиками, показанными в таблице 2. Технической особенностью экстрактора является наличие рецикл-каналов [19].

Экстрактор состоит из цилиндрического корпуса 1 и перфорированной крышки 2, для перекрытия отверстий которой служит рукоятка 3. На крышке смонтированы манометр 4 и клапан сброса избыточного давления 5. Для подачи вискового дистиллята и дубовой щепы установлен патрубок 6. Выход продукта осуществляется через разгрузочный патрубок 7. На корпусе выполнены два рецикл-канала 8. Патрубок 10 служит для подачи кислорода в газораспределительное устройство 9, расположенное в нижней части экстрактора.

В результате того, что газовая смесь, обогащенная кислородом, вводится в газораспределительное устройство, происходит хаотичное движение твердой

фазы по всему объему аппарата. Таким образом, щепы переходит в псевдоожиженное состояние. При этом дистиллят насыщается кислородом, улучшая органолептические характеристики виски. Кислород, прошедший через весь объем жидкой фазы и затем через рецикл-каналы 8, вновь попадает в газораспределительное устройство. Это приводит к более интенсивному перемешиванию дубовой щепы и снижению расхода кислорода. Через перфорированную крышку 2 из аппарата выводится часть кислорода. По окончании всего процесса созревания вискового дистиллята через патрубок 7 в нижней части цилиндрического корпуса 1 производят отвод насыщенного экстракта, а через крышку 2 удаляют отработанную дубовую щепу. Таким образом, длительность созревания вискового дистиллята в новом аппарате значительно сокращается, по сравнению с классическим способом проведения процесса в дубовых бочках.

Таблица 2 – Экстракционный аппарат

Технические характеристики	Значение
Номинальный объем экстрактора, л	60
Рабочее давление, ат	0,8
Основные размеры:	
высота, мм	560
диаметр, мм	400

В представленном экстракторе исследован процесс созревания висковых дистиллятов с концентрацией спирта 42% при их насыщении газом с концентрацией кислорода 90% ежедневно в течении 3 минут под давлением 0,8 ат. на продолжении 3 месяцев.

Были проконтролированы физико-химические параметры качества полученных висковых дистиллятов. Для их оценки был выполнен хроматографический анализ, который проводился в лаборатории центра стандартизации, метрологии и испытаний «Кузбасский ЦСМ» [20-22], в результате которого были определены массовые концентрации фурфурола, альдегидов, сивушного масла, сложных эфиров. Выдержанный висковый дистиллят также подвергался органолептическому анализу.

Результаты. На рисунках 3 и 4 изображены полу-

ченные хроматограммы молодого и выдержанного висковых дистиллятов. На них наблюдаются пики, которые показывают в различные промежутки времени массовые концентрации веществ.

Значения физико-химических показателей качества

полученных висковых дистиллятов в сравнении с регламентированными приведены в таблице 3.

В таблице 4 показаны критерии полученного органолептического анализа выдержанного вискового дистиллята.

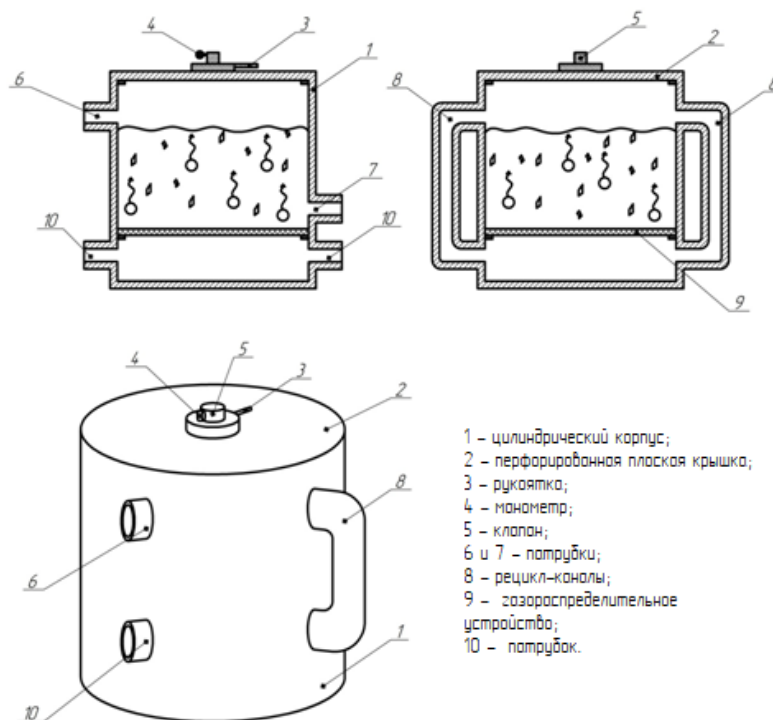


Рисунок 2 – Экстрактор периодического действия для извлечения целевых компонентов с рецикл-каналами

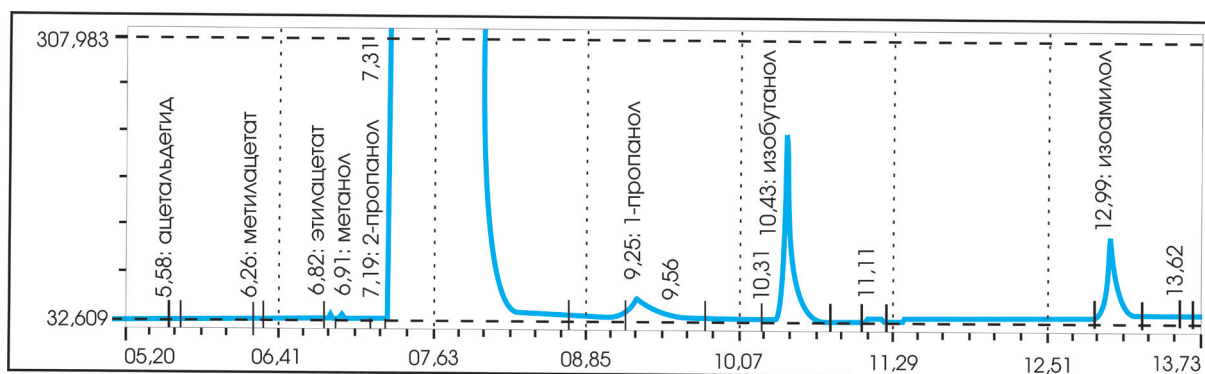


Рисунок 3 – Молодой висковый дистиллят

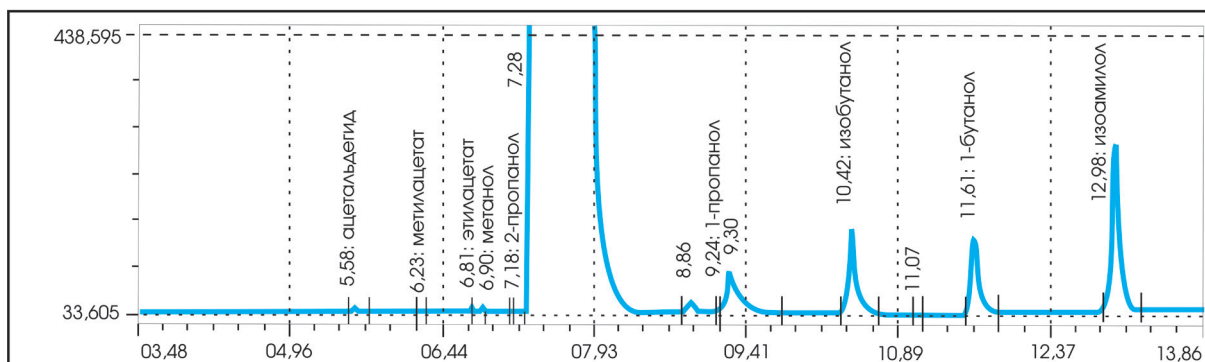


Рисунок 4 – Выдержанный висковый дистиллят

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества висковых дистиллятов

Показатель	Значение по ГОСТ 33281	Значения	
		Молодой висковый дистиллят	Выдержанный висковый дистиллят
Крепость, %, об.	40-60	42,1±0,1	42,9±0,1
Массовая концентрация фурфурола в 1 дм ³ безводного спирта, мг	30	не выявлено	Менее 2,7
Массовая концентрация альдегидов в 1 дм ³ безводного спирта, мг	10- 350	1,4± 0,21	62,29 ± 9,34
Массовая концентрация сивушного масла в 1 дм ³ безводного спирта, мг	500-6000	1788± 268,2	3208 ± 481,2
Массовая концентрация сложных эфиров в 1 дм ³ безводного спирта, мг	50 – 1500	11,01 ± 1, 65	46,52 ± 6,98
Объемная доля метилового спирта в пересчете на безводный спирт, %, не более	0,05	0,0053± 0,0008	0,0056± 0,0008

Таблица 4 – Органолептические показатели выдержанного вискового дистиллята

Показатель	Значение	
	По ГОСТ 33281	Факт
Внешний вид	Прозрачный, без посторонних включений и осадка	Прозрачный, без посторонних включений и без осадка
Цвет	От светло-желтого до темно-коричневого	Светло коричневый
Аромат	Сложный с тонами хереса, миндаля, карамели, меда, орехов, полыни, сухофруктов или другими тонами, без постороннего аромата	Сложный, без постороннего аромата
Вкус	Гармоничный, хорошо сбалансированный, сладко-сухой с тонами орехов, карамели, кофе, с оттенком горечи и яблок или другими тонами, без постороннего привкуса	Гармоничный без посторонних привкусов

Обсуждение. Из приведенных хроматограмм видно, что в обоих дистиллятах в составе 1 дм³ безводного спирта имеются фурфурол, альдегиды, сивушные масла. По прошествии 14 минут пиков не наблюдалось. Это означает последующее отсутствие нежелательных веществ в экспериментальных дистиллятах.

Крепость выдержанного вискового дистиллята составила 42%, что соответствует нормам ГОСТ. Фурфурол является веществом, вызывающим отравление человека. Его токсичные свойства оказывают отрицательные действия на нервную систему, кожу и слизистые оболочки. Поэтому, его концентрация строго регулируется. Содержание фурфурола в экспериментальном выдержанном висковом дистилляте определено менее 2,7 мг на 1 дм³ безводного спирта, вследствие чего можно утверждать, что полученный напиток соответствует высокому качеству. Концентрация альдегидов, сивушных масел и сложных эфиров, метилового спирта в исследуемых дистиллятах не превышают требуемых норм. Таким образом, все значения физико-химических показателей приближены к меньшему пределу нормативных интервалов. По окончании этапа выдержки значения рассматриваемых показателей несущественно увеличивается. Это можно объяснить тем, что вследствие воздействия кислорода на вещества в процессе экстрагирования происходят окислительные реакции, которые в результате положительно влияют на процесс созревания дистиллята. Сложные эфиры обогащают виски фруктовыми ароматами и влияют на их насыщенность [23-25].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученный висковый дистиллят в новой конструкции экстракционного аппарата при его насыщении 90% кислородом соответствует всем требованиям качества и безопасности.

Анализируя полученные органолептические характеристики качества выдержанного вискового дистиллята из таблицы 4, можно сделать вывод о том, что исследуемый экстракционный аппарат с технологическими параметрами работы (насыщение дистиллята газом с концентрацией кислорода 90% под давлением 0,8 ат. с регулярностью один раз в день в течение 3 мин., концентрация спирта вискового дистиллята 42%), позволяет получить качественный напиток, не имеющий посторонних ароматов и привкусов. Стоит также сказать, что в процессе созревания висковых дистиллятов не добавлялись какие-либо пищевые ингредиенты, оказывающие влияние на его вкусовые и ароматические характеристики.

Выводы. Анализ полученных при помощи хроматографии физико-химических характеристик выдержанного вискового дистиллята на ООО «БирЛайн» позволяет сделать вывод о том, что содержание фурфурола в нем определено менее 2,7 мг на 1 дм³ безводного спирта. Концентрация альдегидов, сивушных масел, сложных эфиров и метилового спирта не превышают норм, требуемых ГОСТ. Это говорит о высоком качестве полученного напитка.

Результаты органолептической оценки вискового выдержанного дистиллята показали, что произведен качественный напиток, в котором отсутствуют посторонние ароматы и привкусы. В процессе созревания висковых дистиллятов не добавлялись какие-либо пищевые ингредиенты, влияющие на данные характеристики.

Новая конструкция экстракционного аппарата доказала свою эффективность в результате успешно пройденных промышленных испытаний на ООО «БирЛайн», г. Кемерово. Таким образом, аппарат рекомендован к применению в технологических линиях по производству виски на этапе созревания

висковых дистиллятов с применением дубовой щепы методом воздействия на процесс экстрагирования кислородом.

Предложенный способ созревания висковых дистиллятов можно с уверенностью считать экономически эффективным, поскольку длительность данного процесса сокращается в три раза, по сравнению с классическим способом, предусматривающим созревание вискового дистиллята в дубовых бочках, и таким образом, производитель имеет возможность увеличить выпуск напитка без дополнительных расходов на необходимые ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Оганесянц Л.А., Рейтблат Б.Б., Песчанская В.А., Дубинина Е.В. Научные аспекты производства крепких спиртных напитков из плодового сырья // *Виноделие и виноградарство*. – 2012. – № 1. – С. 18-19.
- Prosin M., Borodulin D., Safonova E., Golovacheva Y. Research of extractors for the extraction of target components from plant materials of various internal structures // *E3S Web of Conferences*, 2021. – V. 273, 01031. – DOI: 10.1051/e3s-conf/202127301031.
- Луканин А.С., Байлук С.И., Сидоренко А.Н., Зражва С.Г. Выдержка коньячных спиртов в старых дубовых бочках с использованием продуктов переработки древесины дуба // *Магарах. Виноградарство и виноделие*. – 2010. – № 3. – С. 34-36.
- Новикова И.В. Теоретические и практические аспекты интенсивной технологии спиртных напитков из зернового сырья с применением экстрактов древесины. Москва-Берлин: DirectMEDIA, 2014. – 150 с.
- Морозова С.С., Абрамова И.М., Головачева Н.Е., Галлямова Л.П., Шубина Н.А., Мартиросян А.С. Перспективный способ обработки древесины дуба для выдержки висковых дистиллятов // *Пищевая промышленность*. – 2019. – № 4. – С. 69-70.
- Абрамова А.В. Состав древесины дуба и его воздействие на алкогольные напитки при выдержке // *Успехи современной науки*. – 2017. – Том 1. – № 6. – С. 140-142.
- D.M. Borodulin, Reznichenko I.Yu., Prosin M.V., Shalev A.V. Comparative analysis of extraction methods in distilled drinks production // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials*. – 2021. – Vol. 640. – P. 022060. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022060
- Новикова И.В., Агафонов Г.В., Шабанов И.Е., Коротких Е.А., Маркин А.А. Интенсификация экстрагирования компонентов из древесины дуба с помощью ультразвука // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2014. – № 10. – С. 34-37.
- Бородулин Д.М., Резниченко И.Ю., Просин М.В., Шалев А.В., Потапова М.Н., Головачева Я.С. Исследование совместного влияния сверхвысоко-частотного излучения и кислорода на процесс экстрагирования в технологии получения спиртных напитков // *Пиво и напитки*. – 2020. – № 2. – С. 15-19.
- Dmitry M. Borodulin, Maksim V. Prosin, Alexey V. Shalev and Yana S. Golovacheva. Influence of Microwave Radiation on Whiskey Distillate Quality Indicators // *Bioscience Biotechnology Research Communications*. – 2021. – Vol 14 – No (4). P. 1701-1713. DOI: <http://dx.doi.org/10.21786/bbrc/14.4.48>
- Бородулин Д.М., Просин М.В., Потапов А.Н., Шалев А.В. Исследование влияния микроволнового воздействия на процесс созревания висковых дистиллятов // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2019. – № 4. – С. 141-153. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfr.2019.154>
- Васильев А.В., М.Н. Простак. Термическая обработка коньячных спиртов в процессе выдержки // *Виноградарство и виноделие*. – 2009. – № 1. – С. 35-36.
- Оганесянц Л.А., В.А. Песчанская, В.П., Осипова Джанаева О.В., Гаджиев М.С., Мишиев П.Я. Влияние термической обработки древесины дуба на ее химический состав и качество коньяков // *Виноделие и виноградарство*. – 2008. – № 5. – С. 7.
- Borodulin D. M., Prosin M. V., Shalev A. V., Golovacheva Y. S. Influence of Microwave Radiation on Whiskey Distillate Quality Indicators // *Biosci.Biotech.Res.Comm.* – 2021. – 14 (4). – pp. 1701-1713 – DOI: <http://dx.doi.org/10.21786/bbrc/14.4.48>
- Востриков С.В., Новикова И.В. Влияние физико-химических методов обработки водно-спиртовых смесей и дубовой древесины на эффективность получения компонентов виски // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2002. № 4. С 26-28.
- Овсянникова Е.А., Киселева Т.Ф., Потапов А.Н., Дюжев А.В. Исследование процесса экстрагирования дикорастущих ягод Сибири с использованием биокаталитических методов // *Техника и технология пищевых производств*. – 2012. – № 4 (27). – С. 110-114.
- T. Belwal, F. Chemat, P.R. Venskutonis, G. Cravotto, D. K. Jaiswal, I. D. Bhatt, H. P. Devkota, Z. Luoah. Recent advances in scaling-up of non-conventional extraction techniques: Learning from successes and failures // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2020. – Vol. 127. – Article 115895. DOI: doi.org/10.1016/j.trac.2020.115895
- Шалев А.В., Бородулин Д.М., Сафонова Е.А., Сидорин К.М., Костина В.В. Затормо-сусловарочно-фильтрационный аппарат // Пат. 2713107 С1 Российская Федерация, МПК С12С 13/02, С12С 7/00. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО КемГУ. - №2018144334; заявл. 13.12.2018; опубл. 03.02.2020, Бюл. №4. – 8 с.
- Бородулин Д.М., Шалев А.В., Просин М.В., Вечтомова Е.А., Потураева Н.Л., Демченко К.Э. Экстрактор периодического действия для извлечения целевых компонентов с рецикл-каналами // Пат. 2707219 С1 Российская Федерация, МПК В01Д 11/02. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО КемГУ. - №2019109707; заявл. 02.04.2019; опубл. 25.11.2019, Бюл. №33. – 7 с.: ил.
- Федоренко Б.Н., Бородулин Д.М., Просин М.В., Шафрай А.В., Лобасенко Б.А., Головачева Я.С. Определение рациональных технологических параметров работы экстрактора Сокслета при получении спиртовой настойки из ягод клюквы // *Техника и технология пищевых производств*. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 115-123. – DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-115-123>
- 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. – Vol. 40, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12331>
- Carlsen M.H., Halvorsen B.L., Holte K. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide // *Nutrition Journal*. – 2010. – Vol. 9, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-3>
- Pizarro C., Rodríguez-Tecedor S., Esteban-Díez I., Pérez-del-notario N., González-Sáiz J.M. Experimental design approach to evaluate the impact of oak chips and micro-oxygenation on the volatile profile of red wines // *Food chemistry*, 2014. – № 148, pp. 357-366. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.039>
- Kodama S., Shoda T., Machmudah S., Wahyudiono Enhancing pressurized water extraction of β -glucan from barley grain by adding CO₂ under hydrothermal conditions // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2015. – V. 97. – pp. 45-54. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.08.012>
- Pradal D., Vauchel P., Decossin S., Dhulster P., Dimitrov K. Integrated extraction-adsorption process for selective recovery of antioxidant phenolics from food industry by-product // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2018. – V. 127. – pp. 83-92. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.03.016>

Статья поступила в редакцию 01.08.2022

Статья принята к публикации 16.09.2022