

Дмитрий Михайлович Бородулин¹, Максим Валерьевич Просин²,

Яна Сергеевна Головачева³✉

^{1,2}Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А.Тимирязева, Москва, Россия

³Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹borodulin@rgau-msha.ru

²prosinmv@yandex.ru

³iitumr@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУХИХ ВЕЩЕСТВ В ВИСКОВЫХ ДИСТИЛЛЯТАХ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель исследования – определить количественное содержание сухих веществ в выдержанных висковых дистиллятах с дубовой клепкой, подвергавшихся воздействию сверхвысокочастотного излучения. Исследования проводились на базе инжинирингового центра «FOOD ENGINEERING» в ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». Объекты исследования – молодые висковые дистилляты с применением сверхвысокочастотного излучения на стадии выдержки напитка. Содержание сухих экстрактивных веществ в образцах висковых дистиллятов определяли методом гравиметрического высушивания. Молодые висковые дистилляты с дубовой клепкой были разделены на четыре группы в зависимости от концентрации спирта и условий воздействия. Группы 1–3 включали образцы с разной концентрацией спирта: 40 % об. (группа 1), 50 % об. (группа 2), 60 % об. (группа 3), каждый из которых подвергался микроволновой обработке с мощностью 750 Вт в течение 1, 2 и 3 мин (образцы 1-1–1-3; 2-1–2-3; 3-1–3-3 соответственно). Группа 4 служила контрольной – висковые дистилляты с аналогичными концентрациями спирта (40 % об., 50 % об., 60 % об.), не подвергавшиеся микроволновому воздействию (образцы 4-1–4-3). На основе анализа экспериментальных образцов висковых дистиллятов получены следующие значения содержания сухих веществ (Св). Для контрольного образца, выдержанного с дубовой клепкой без дополнительного воздействия – 0,121 г. Максимальное значение (0,203 г) зафиксировано в образце с концентрацией спирта в дистилляте Сс = 60 % об., подвергнутом воздействию сверхвысокочастотного излучения в течение 1 мин. Полученные показатели почти в два раза превышают показатели контрольного образца висковых дистиллятов. Определены рациональные параметры для интенсификации выдержки висковых дистиллятов: обработка сверхвысокочастотным излучением в течение 1 мин 1 раз в 2 дня с общей продолжительностью в 280 дней, при сохранении концентрации спирта в висковом дистилляте 60 % об.

Ключевые слова: экстрагирование, интенсификация, дубовая клепка, висковый дистиллят, сверхвысокочастотное излучение, рациональные технологические параметры, содержание сухих веществ

Для цитирования: Бородулин Д.М., Просин М.В., Головачева Я.С. Определение содержания сухих веществ в висковых дистиллятах, подвергавшихся воздействию сверхвысокочастотного излучения // Вестник КрасГАУ. 2026. № 2. С. 215–225. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-215-225.

Dmitry Mikhailovich Borodulin¹, Maksim Valerievich Prosin², Yana Sergeevna Golovacheva³✉

^{1,2}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

³Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹borodulin@rgau-msha.ru

²prosinmv@yandex.ru

³iitumr@yandex.ru

DETERMINATION OF DRY MATTER CONTENT IN WHISKY DISTILLATES EXPOSED TO ULTRA-HIGH FREQUENCY RADIATION

The aim of the study is to determine the quantitative content of dry substances in aged whiskey distillates with oak staves exposed to ultra-high frequency radiation. The studies were conducted at the FOOD ENGINEERING engineering center at the FSBEI HE Kemerovo State University. The objects of the study were young whiskey distillates using ultra-high frequency radiation at the beverage aging stage. The content of dry extractive substances in whiskey distillate samples was determined by gravimetric drying. Young whiskey distillates with oak staves were divided into four groups depending on the alcohol concentration and exposure conditions. Groups 1–3 included samples with different alcohol concentrations: 40 % vol. (Group 1), 50 % vol. (Group 2), 60 % vol. (Group 3), each of which was subjected to ultra-high frequency treatment with a power of 750 W for 1, 2 and 3 min (samples 1-1-1-3; 2-1-2-3; 3-1-3-3, respectively). Group 4 served as a control – whiskey distillates with similar alcohol concentrations (40 % vol., 50 % vol., 60 % vol.), not subjected to ultra-high frequency exposure (samples 4-1-4-3). Based on the analysis of the experimental samples of whiskey distillates, the following values of dry matter content (Dm) were obtained. For the control sample, aged with oak staves without additional exposure – 0.121 g. The maximum value (0.203 g) was recorded in a sample with an alcohol concentration in the distillate of $C_c = 60\%$ vol., exposed to microwave radiation for 1 minute. The obtained values are almost twice as high as those of the control sample of whisky distillates. Rational parameters for intensifying the aging of whisky distillates were determined: treatment with ultra-high frequency radiation for 1 minute once every two days for a total duration of 280 days, while maintaining the alcohol concentration in the whisky distillate at 60 % vol.

Keywords: extraction, intensification, oak stave, whisky distillate, ultra-high frequency radiation, rational technological parameters, dry matter content

For citation: Borodulin DM, Prosin MV, Golovacheva YaS. Determination of dry matter content in whisky distillates exposed to ultra-high frequency radiation. *Bulletin of KSAU*. 2026;(2):215-225. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-215-225.

Введение. В последние годы на российском рынке крепких алкогольных напитков фиксируется устойчивая тенденция к смещению потребительского спроса от традиционных напитков, таких как водка и крепкие настойки, в сторону продукции, относящейся к сегменту премиум-класса, включая коньяк и виски. Согласно статистическим оценкам, доля потребителей, предпочитающих данные категории напитков, превышает 40 %, что свидетельствует о структурных изменениях в модели потребления.

Ключевым фактором данной трансформации выступает изменение вкусовых установок потребителей, обусловленное ростом интереса к качественным характеристикам продукта, включая органолептические свойства, сырьевой состав и технологию производства. Особое значение приобретает виски как один из наиболее технологически сложных и сенсорно насыщенных видов крепкого алкоголя. Традиционный процесс производства висковых дистиллятов на протяжении многих десятилетий рассматривается как эталон технологического подхода, обеспечивающего формирование уникального органолептического профиля готового продукта.

Ключевым звеном данной технологии является дистилляция зернового суслу с последующей выдержкой полученного дистиллята в дубовой таре, продолжительность которой составляет три и более лет [1, 2]. В течение этого периода происходит сложный комплекс физико-химических и биохимических процессов, включающих экстракцию дубильных веществ, окисление фенольных соединений, трансформацию ароматических компонентов и формирование устойчивой цветовой гаммы напитка. Именно этот этап во многом определяет как потребительские свойства дистиллята, так и его коммерческую ценность. Однако современный этап развития пищевой и алкогольной промышленности характеризуется существенными изменениями в подходах к организации производственных процессов. В условиях глобализации рынка, ужесточения конкуренции и повышения требований со стороны потребителей все более актуальной становится задача оптимизации традиционных технологий. В этой связи особый интерес представляет разработка и внедрение инновационных методов ускоренного созревания дистиллятов, направленных на интенсификацию ключе-

вых процессов, протекающих при традиционной выдержке. В научной литературе и практике производства уже выявлен ряд перспективных подходов. Термическая обработка древесины, заключающаяся в контролируемом обжиге дубовой клепки при различных температурах, что приводит к термической деструкции гемицеллюлоз и лигнина. В результате существенно повышается выход фенольных соединений, а также изменяется качественный состав экстрактивных веществ, оказывающих решающее влияние на органолептические характеристики напитка [3–7]. Ультразвуковая экстракция, основанная на явлении кавитации, которая приводит к разрушению клеточных стенок древесины и, как следствие, к ускорению диффузии целевых компонентов в жидкую фазу. Данный метод позволяет существенно сократить сроки выдержки и при этом сохранить традиционный характер органолептического профиля [8–10]. Электрохимическая активация предполагает воздействие слабых токов на дистиллят в процессе выдержки. Изменение ионной силы среды способствует ускоренной экстракции, а также влияет на протекание окислительно-восстановительных реакций, играющих важную роль в формировании вкусо-ароматического комплекса [11, 12]. Контролируемое воздействие кислорода, стимулирующее каскад реакций, включая окисление танинов, модификацию липидов и дегградацию лигнинов. Эти процессы ускоряют формирование целевых компонентов, которые определяют цвет, аромат и вкус конечного продукта [13, 14]; а также комбинированные методы, предполагающие одновременное использование нескольких видов физико-химических воздействий, что позволяет достичь синергетического эффекта и повысить эффективность созревания [15, 16].

Таким образом, современный этап развития технологии выдержки висковых дистиллятов характеризуется активным поиском баланса между сохранением традиций и внедрением научно обоснованных инноваций. Одной из таких технологий является применение сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения в процессе выдержки висковых дистиллятов (далее ВД). Использование электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона рассматривается как один из наиболее перспективных методов интенсификации процессов выдержки. Механизм действия заключается в глубинном и равномер-

ном прогреве жидкости, что приводит к ускорению массообменных процессов и повышению скорости экстракции фенольных, ароматических и сухих веществ из дубовой клепки. Эти соединения, как известно, играют ключевую роль в формировании сенсорных характеристик напитка, включая вкус, аромат и цвет.

Ранее авторами были проведены исследования, посвященные влиянию микроволнового воздействия на экстракционные процессы стадии созревания висковых дистиллятов, в ходе которых были получены данные об изменении различных качественных показателей выдержанных висковых дистиллятов под воздействием сверхвысокочастотного излучения [17]. Полученные ранее сведения позволили обозначить перспективность применения СВЧ-излучения в технологических процессах, но не отразили детального представления о структурно-химических изменениях в висковых дистиллятах. Настоящая работа направлена на более глубокое исследование процесса экстракции в висковых дистиллятах с дубовой клепкой, подвергавшихся микроволновому воздействию, с акцентом на определение количественного содержания сухих веществ. Применение иных режимных параметров микроволновой обработки обеспечивает расширение диапазона значений для более точного анализа, а также формирования более целостного представления о механизмах микроволнового воздействия. Полученные результаты будут иметь практическое значение для совершенствования технологических процессов и повышения качества готовой продукции при производстве спиртных напитков.

Цель исследования – определить количественное содержание сухих веществ в выдержанных висковых дистиллятах с дубовой клепкой, подвергавшихся воздействию сверхвысокочастотного излучения.

Задачи: определить и провести сравнительный анализ содержания сухих веществ в висковых дистиллятах, выдержанных без применения сверхвысокочастотного излучения и под его воздействием; установить рациональные технологические параметры сверхвысокочастотного излучения для получения выдержанных висковых дистиллятов, при которых они достигают требуемого качества.

Объекты и методы. Объектами исследования в данной работе являются выдержанные висковые дистилляты, полученные по усовер-

шенствованной технологии с применением сверхвысокочастотного излучения на стадии выдержки напитка, защищенной патентом РФ [18].

В рамках подготовительного этапа эксперимента в соответствии с ГОСТ 70225-2023, были изготовлены образцы молодых висковых дистиллятов. С целью моделирования различных условий выдержки дистилляты доводили до заданной спиртуозности (40 % об., 50, 60 % об.) посредством разбавления дистиллированной водой. Подготовленные образцы помещали в стеклянные резервуары объемом 1 дм³. Далее в каждый сосуд вносили дубовую клепку сильного уровня термического обжига в виде кубиков размером 10×10×10 мм в расчете 10 г клепки на 1 дм³ раствора. Такое соотношение древесного материала и жидкости обеспечивает стабильные условия экстрагирования и позволяет объективно оценить влияние факторов выдержки, включая последующую СВЧ-обработку, на химический состав и динамику созревания дистиллятов.

Молодые ВД с дубовой клепкой были разделены на четыре экспериментальные группы в зависимости от концентрации спирта и условий воздействия.

Группы 1–3 включали образцы с разной концентрацией спирта: 40 % об. (группа 1), 50 % об. (группа 2), 60 % об. (группа 3), каждый из которых подвергался микроволновой обработке (мощность микроволновой печи 750 Вт) в течение 1, 2 и 3 мин (образцы 1-1–1-3; 2-1–2-3; 3-1–3-3 соответственно).

Группа 4 служила контрольной – ВД с аналогичными концентрациями спирта (40 % об., 50, 60 % об.), не подвергавшиеся микроволновому воздействию (образцы 4-1–4-3).

Содержание сухих экстрактивных веществ в образцах ВД определяли методом гравиметрического высушивания по завершении одного года выдержки [19].

Результаты и их обсуждение. Первый этап эксперимента заключался в проведении исследований на контрольных образцах ВД. Образцы 4-1, 4-2, 4-3, содержащие дубовую клепку, выдерживались без применения СВЧ-воздействия с целью оценки динамики естественного экстрагирования компонентов древесины.

Результаты первого этапа по количественному содержанию сухих веществ в контрольных образцах висковых дистиллятов в течение 280 сут созревания при классической технологии выдержки виски приведены на рисунке 1.

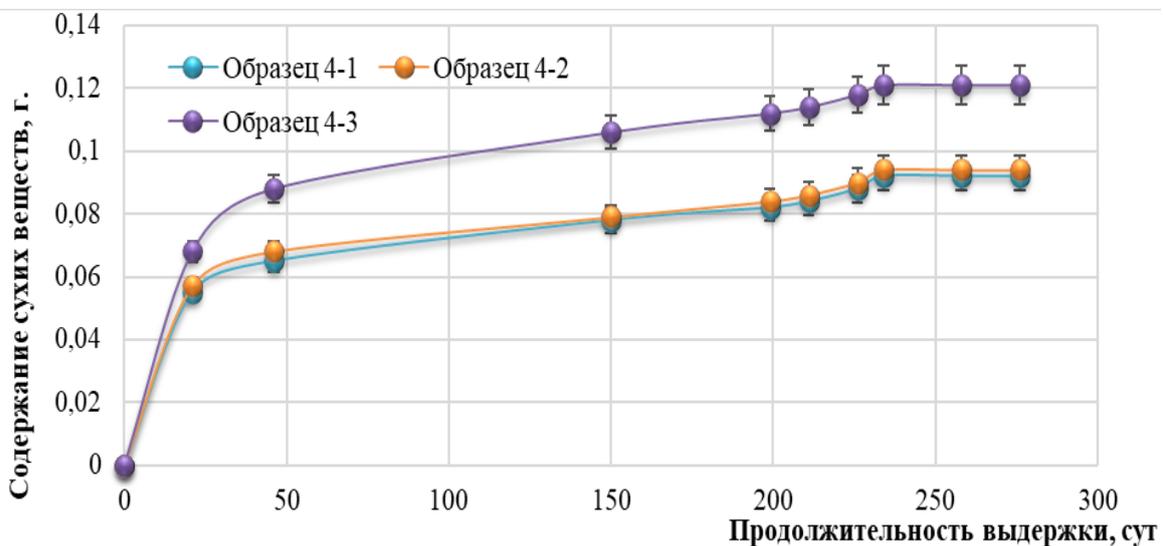


Рис. 1. Содержание сухих веществ в контрольных образцах висковых дистиллятов в течение 280 суток созревания при классической технологии выдержки виски
Dry matter content in control samples of whiskey distillates during 280 days of maturation using the classic whiskey aging technology

Согласно представленным данным, максимальная концентрация сухих веществ была зафиксирована при спиртуозности 60 % об. и составила 0,121 г. В образцах с концентрацией

спирта 40 и 50 % об. этот показатель составил 0,092 и 0,094 г соответственно. Зафиксированная динамика свидетельствует о стабильном накоплении экстрактивных веществ на протяже-

нии всего периода выдержки (280 сут), что указывает на длительное сохранение активных диффузионных процессов. В отличие от традиционных систем жидкостной экстракции, где выход целевых компонентов нередко достигает равновесного состояния значительно раньше, в исследуемых образцах сохраняется циклический характер изменения концентрации сухих веществ, что объясняет сложную многокомпонентную природу экстрагируемых соединений в поэтапном вовлечении различных структурных фракций древесины. Особый интерес представляет сопоставление полученных результатов с классическими технологиями выдержки виски. Как известно, процесс созревания данного напитка в дубовых бочках продолжается три года и более, и именно за этот временной интервал достигается формирование оптимального вкусоароматического профиля [20, 21]. Наблюдаемое накопление сухих веществ в течение 280 сут косвенно подтверждает идентичность механизмов экстрагирования: даже после завершения активной диффузионной стадии продолжается

поступление труднорастворимых и медленно мигрирующих компонентов, определяющих структурную сложность готового продукта.

На втором этапе эксперимента в течение 280 сут проводилось исследование на содержание сухих экстрактивных веществ в образцах ВД, подвергнутых СВЧ-обработке различной продолжительности.

Все три группы образцов, а именно: образцы 1-1, 1-2, 1-3 с концентрацией спирта 40 % об., образцы 2-1, 2-2, 2-3 с концентрацией спирта 50 % об. и образцы 3-1, 3-2, 3-3 с концентрацией спирта 60 % об., – подвергались воздействию микроволн в течение 1, 2 и 3 минут соответственно для каждой группы образцов, результаты которого представлены на рисунках 2–4.

Анализ полученных графиков по количественному содержанию сухих веществ в образцах 1-1, 1-2, 1-3 висковых дистиллятов (рис. 2) позволяет сделать вывод о характерной трехфазной динамике изменения концентрации сухих веществ под действием СВЧ-излучения.

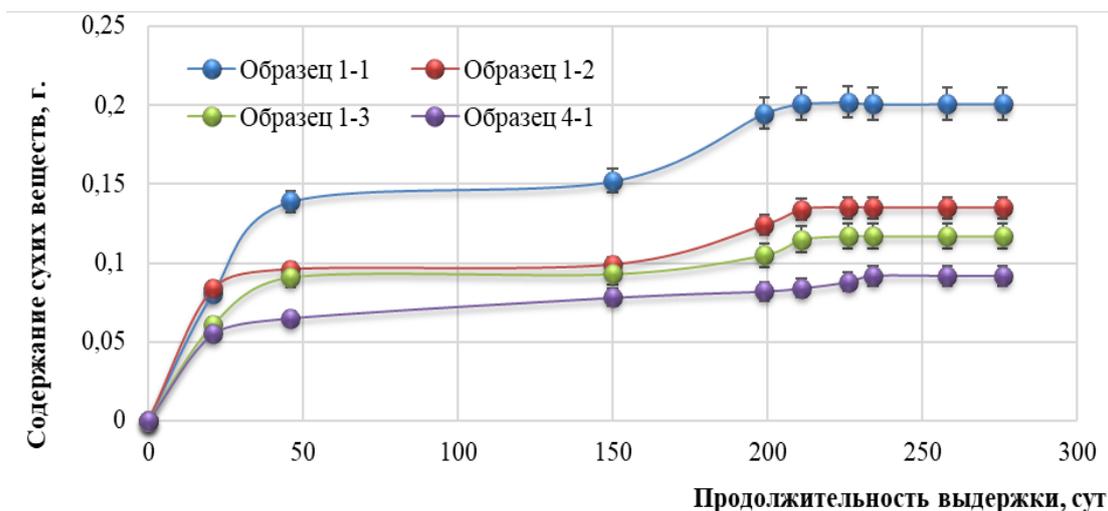


Рис. 2. Содержание сухих веществ в образцах 1-1, 1-2, 1-3 висковых дистиллятов с дубовой клепкой сильного обжига в течение 280 сут созревания при воздействии на них СВЧ-излучения
Dry matter content in "Samples 1-1, 1-2, 1-3" of whiskey distillates with oak staves of strong roasting during 280 days of maturation under the influence of microwave radiation

В течение первых 30 сут процесса выдержки фиксируется наиболее выраженное возрастание концентрации экстрактивных соединений. Данный эффект обусловлен активизацией массообменных процессов, протекающих в условиях теплового и микроволнового воздействия, которые вызывают структурные преобразования в матрице древесины и обеспечивают ускоренный выход низкомолекулярных фракций

(фенольных соединений, сахаров, летучих ароматических веществ) в жидкую фазу [20–22]. В промежутке от 30 до 140 сут наблюдается переход системы к более устойчивому режиму экстрагирования. В этот период процесс характеризуется равномерным поступлением растворимых компонентов, что указывает на формирование динамического равновесия между скоростью диффузии через клеточные стенки и

степенью насыщения растворителя. Особое внимание заслуживает стадия, приходящаяся на 150–230-е сут выдержки. Именно в этот период происходит частичное преодоление диффузионного сопротивления, связанного с капиллярно-пористой структурой древесины. Вовлечение в процесс глубинных участков растительной матрицы приводит к возобновлению роста концентрации сухих веществ и расширению спектра экстрагируемых соединений, включая более тяжелые и менее растворимые фракции.

По истечении 230 сут система вступает в фазу стабилизации. Концентрация экстрактивных компонентов достигает значений, близких к равновесным, что свидетельствует о насыщении растворителя и термодинамическом ограничении дальнейшего увеличения содержания сухих веществ [20, 22]. Подобное плато характерно

для большинства экстракционных процессов и, как правило, рассматривается в качестве индикатора завершения технологической стадии. Таким образом, исследуемая динамика подтверждает, что временной интервал порядка 230 сут можно рассматривать как критический рубеж для процесса экстракции целевых компонентов, а именно сухих веществ, из дубовой клепки в дистиллят на стадии его выдержки.

Согласно данным, представленным на рисунке 2, наибольшее содержание сухих экстрактивных веществ в образцах ВД фиксируется по истечении 280 сут. В образце 1-1, подвергнутом СВЧ-обработке продолжительностью 1 мин, концентрация сухих веществ достигает 0,201 г, тогда как в образцах с более длительным воздействием 1-2 и 1-3 (2 и 3 мин соответственно) – данный показатель снижен до 0,135 и 0,117 г.

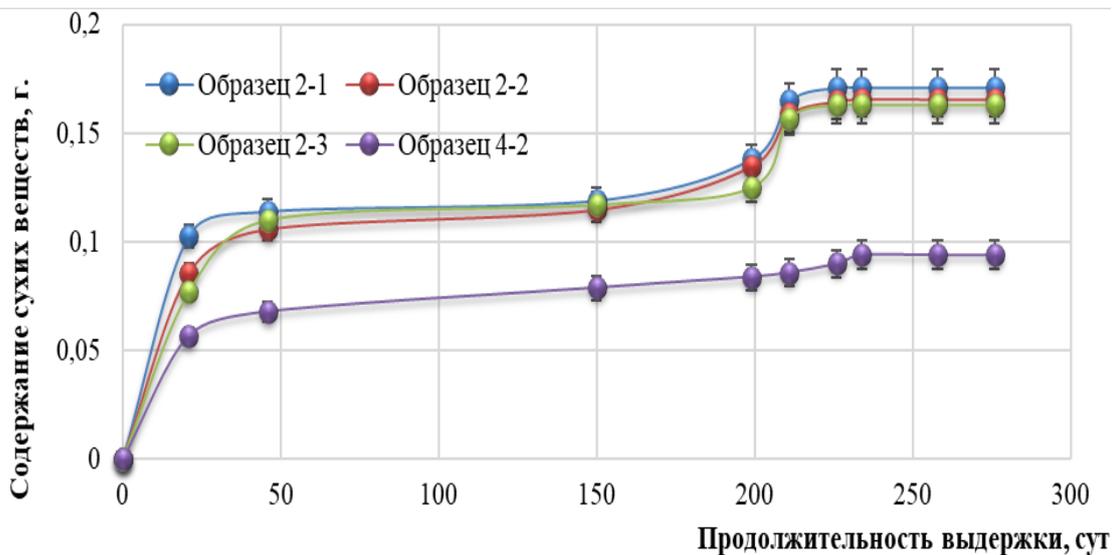


Рис. 3. Содержание сухих веществ в образцах 2-1, 2-2, 2-3 висковых дистиллятов с дубовой клепкой сильного обжига в течение 280 сут созревания при воздействии на них СВЧ-излучения

Dry matter content in "Samples 2-1, 2-2, 2-3" of whiskey distillates with heavily roasted oak staves during 280 days of maturation under microwave radiation

Сопоставление максимального значения сухих веществ в образце 1-1 с аналогичным параметром в контрольном образце 4-1 (0,092 г) демонстрирует более чем двукратное превышение (в 2,2 раза). Это указывает на стимулирующее воздействие СВЧ-излучения малой длительности на процессы экстрагирования, тем самым подтверждая эффективность данного метода интенсификации созревания висковых дистиллятов.

Далее получили содержание сухих веществ в образцах 2-1, 2-2, 2-3 висковых дистиллятов, численные значения которых представлены на рисунке 3.

Сопоставив эти данные и результаты контрольного образца 4-2, в котором содержание сухих веществ составило 0,094 г, можно утверждать, что значение этого показателя в образце 2-1 превышает контрольное почти в 1,82 раза. Это подтверждает положительное влияние кратковременного СВЧ-воздействия на ускорение

экстрактивных процессов, участвующих в формировании вкусоароматических характеристик висковых дистиллятов в процессе выдержки.

Далее определили сухие вещества в образцах 3-1, 3-2, 3-3 висковых дистиллятов, численные значения которых представлены на рисунке 4.

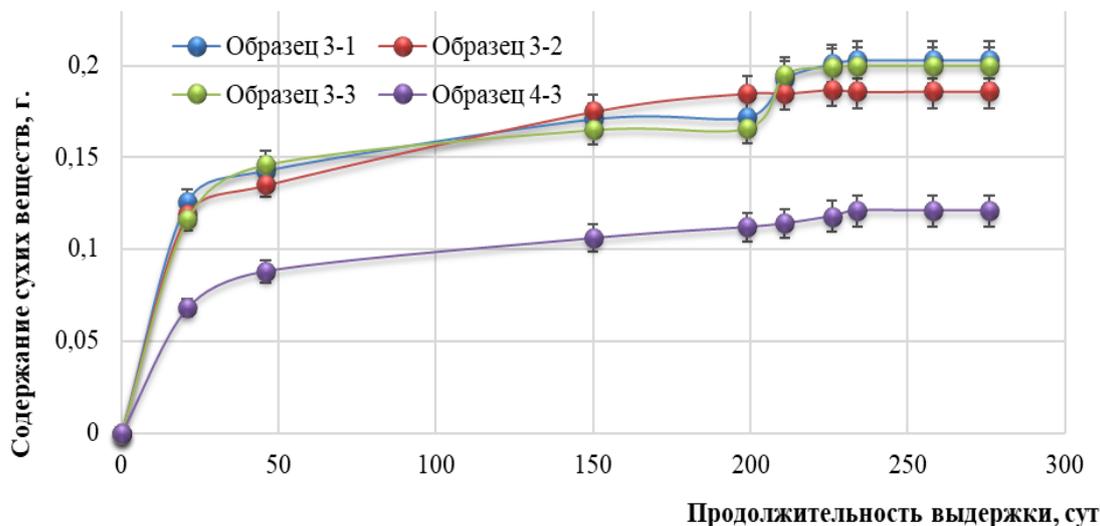


Рис. 4. Содержание сухих веществ в образцах 3-1, 3-2, 3-3 висковых дистиллятов с дубовой клепкой сильного обжига в течение 280 сут созревания при воздействии на них СВЧ-излучения
 Dry matter content in "Samples 3-1, 3-2, 3-3" of whiskey distillates with oak staves of strong roasting during 280 days of maturation under the influence of microwave radiation

В течение периода наблюдения в 280 сут максимальное содержание сухих экстрактивных веществ в образцах группы 3 (спиртуозность 60 % об.) было достигнуто в образце 3-1 после одноминутного воздействия СВЧ-излучения и составило 0,203 г. В образцах с увеличенной продолжительностью обработки 3-2 (2 мин) и 3-3 (3 мин) концентрация сухих веществ составила 0,194 и 0,192 г соответственно.

Сравнительный анализ с контрольным образцом 4-3, в котором данный показатель не превышал 0,121 г, показывает, что в образце 3-1 сухих веществ больше в 1,67 раза. Эти результаты подтверждают эффективность кратковременного воздействия СВЧ-излучения как инструмента активации экстрактивных процессов, способствующего ускоренному формированию органолептического профиля висковых дистиллятов в условиях искусственно интенсифицированной выдержки.

Проведенные исследования показывают, что воздействие сверхвысокочастотного излучения на висковые дистилляты в процессе выдержки оказывает выраженное влияние на динамику концентрации экстрактивных веществ, в частности на содержание сухих веществ, которые являются ключевыми показателями зрелости и качества дистиллята. Следует подчеркнуть, что

в современных исследованиях особое внимание уделяется именно содержанию экстрактивных соединений, поскольку данный параметр является интегральным показателем интенсивности экстракционных процессов, протекающих при взаимодействии дистиллята с древесиной дубовой клепкой.

Результаты экспериментов выявили двойственный характер действия СВЧ-излучения, что свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода к выбору режимов его применения. Так, на начальных этапах мягкое и кратковременное воздействие излучения стимулирует активное извлечение полифенольных соединений [23] и других растворимых веществ, что способствует ускоренному протеканию процессов экстракции и положительно отражается на органолептических характеристиках напитка. Увеличение содержания фенольных соединений на данной стадии коррелирует с интенсификацией формирования вкуса, аромата и цветовой гаммы дистиллята, что подтверждает перспективность использования СВЧ-технологий в целях оптимизации производственного процесса.

Однако при увеличении продолжительности воздействия наблюдается принципиально иная картина. Установлено, что длительное воздей-

ствии сверхвысокочастотного излучения приводит к значительному снижению концентрации сухих экстрактивных веществ в образцах. Количество целевых компонентов уменьшается до диапазона от 0,9 до 0,12 г, в зависимости от исходной концентрации спирта в дистилляте. Снижение концентрации сухих веществ под действием избыточного СВЧ-воздействия может быть объяснено рядом факторов. Во-первых, длительная обработка способствует частичной деструкции и модификации структуры полифенольных соединений, в результате чего они теряют способность к эффективной экстракции из древесины [22, 23]. Во-вторых, избыточное воздействие излучения может ускорять окислительные процессы в системе, что приводит к разрушению полифенолов и флавоноидов, играющих ключевую роль в формировании вкусоароматического комплекса. Таким образом, при длительном воздействии СВЧ-излучения вместо положительного эффекта наблюдается деградация целевых компонентов, что обуславливает снижение показателей качества дистиллята.

Заключение. На основании полученных данных можно сделать вывод, что влияние сверхвысокочастотной обработки на процессы выдержки висковых дистиллятов требует строгой регламентации параметров воздействия. Экспериментально установлено, что рациональным режимом является использование кратковременного воз-

действия СВЧ-излучения продолжительностью не более одной минуты, проводимого один раз в два дня на протяжении 280 сут при сохранении концентрации этилового спирта на уровне 60 % об. Данный режим позволяет эффективно извлекать целевые экстрактивные вещества из дубовой клепки и одновременно минимизировать их разрушение. В результате достигается баланс между ускорением процессов созревания и сохранением концентрации сухих веществ, что напрямую отражается на улучшении физико-химических и органолептических показателей качества дистиллята.

Таким образом, использование сверхвысокочастотного излучения в технологии выдержки висковых дистиллятов следует рассматривать как перспективное направление развития современной алкогольной промышленности. В сравнении с традиционными методами выдержки, характеризующимися высокой продолжительностью (три и более лет), сверхвысокочастотная обработка позволяет существенно сократить временные затраты при сохранении высокого качества продукта. Это открывает новые возможности для оптимизации производственного цикла, повышения рентабельности и конкурентоспособности продукции, а также стимулирует дальнейшие исследования в области разработки инновационных технологий ускоренного созревания крепких алкогольных напитков.

Список источников

1. Бурачевский И. И., Воробьева Е. В., Веселовская О. В. и др. Происхождение, классификация и технология приготовления виски // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2013. № 1. С. 9–14.
2. Сабрекова Д.И., Катусов Д.Н. Анализ процесса производства виски // Проблемы научной мысли. 2024. № 5. С. 251–254.
3. Головачева Н.Е., Абрамова И.М., Морозова С.С., и др. К вопросу о влиянии степени обжига дубовой щепы на физико-химические и органолептические показатели виски // Пищевая промышленность. 2021. № 9. С. 25–27. DOI: 10.52653/PPI.2021.9.9.007.
4. Головачева Н.Е., Морозова С.С. Приготовление виски из зерновых дистиллятов с дубовой щепой различной степени обжига. В сб.: Конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты нутрициологии и диетологии». Москва, 2023. С. 196–197.
5. Абрамова И.М., Головачева Н.Е., Морозова С.С., и др. К вопросу о технологии получения Российского виски. В сб.: Международный конгресс «Биотехнология: состояние и перспективы развития», Москва, 25–27 февраля 2019 г. Москва, 2019. С. 534–537.
6. Морозова С.С., Абрамова И.М., Головачева Н.Е., и др. Перспективный способ обработки древесины дуба для выдержки висковых дистиллятов // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 69–70.

7. Григорьев М.А., Бетева Е.А., Костюкова К.А., и др. Разработка технологии производства российского виски на базе основного технологического оборудования отечественных спиртзаводов // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 111-4. С. 219–223. DOI: 10.18411/trnio-07-2024-225.
8. Zhang Q.A., Fan X.H., Zhao W.F. Ultrasound-assisted extraction of oak lignin for whiskey maturation // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. Vol. 64. P. 105048. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105048.
9. Паршаков М.Н., Мазуренко Е.А. Инновационные методы использования ультразвуковой обработки для ускорения созревания виски. В сб.: VII Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство». Воронеж, 2020. С. 82–86.
10. Chemat F., Rombaut N., Sicaire A.G. Ultrasound assisted extraction of food and natural products: Mechanisms, techniques, and applications // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017. Vol. 34. P. 540–560. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.035.
11. Baldwin S., Robinson M., Williams P. Electrochemical acceleration of whiskey maturation // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020. Vol. 68, № 32. P. 8653–8661. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c03022.
12. Clarke R.J., Bakker J. *Wine Flavor Chemistry*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2017. 416 p.
13. Canas S., Belchior A.P., Spranger M.I. Oxidation kinetics of phenolic compounds in wine-like systems // *Food Research International*. 2018. Vol. 112. P. 71–79. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.06.027.
14. Mosedale J.R., Feuillat F., Baumes R. Control of oxygen ingress during barrel aging // *Beverages*. 2019. Vol. 5, № 2. P. 34. DOI: 10.3390/beverages5020034.
15. Polar J., Evans T., MacAllister R. Nano-oxygenation in Spirit Aging: Synergy with Ultrasound // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2024. Vol. 91. P. 103112. DOI: 10.1016/j.ifset.2024.103112.
16. Smith T., MacKay J. Electrochemical Modulation of Whiskey Maturation // *ACS Food Science & Technology*. 2023. Vol. 3, № 4. P. 567–578. DOI: 10.1021/acsfoodscitech.3c00012.
17. Бородулин Д.М., Просин М.В., Потапова М.Н., и др. Исследование влияния микроволнового воздействия на процесс созревания висковых дистиллятов // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2019. № 4. С. 141–153. DOI: 10.36107/spfp.2019.154.
18. Бородулин Д.М., Шалев А.В., Просин М.В., Демченко К.Э. Способ производства виски. Патент РФ 2733131. 29.09.2020, бюл. 28.
19. Мурашев С.В., Ишевский А.Л., Уварова Н.А. Определение содержания воды и сухих веществ в пищевых продуктах. СПб.: СПбГУНИПТ, 2008. 26 с.
20. Borodulin D.M., Reznichenko I.Yu., Prosin M.V., et al. Comparative analysis of extraction methods in distilled drinks production. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials*. 2021. P. 022060. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022060.
21. Меренкова С.П., Тесалова Д.Г. Анализ эффективности методов экстракции для получения растительных напитков с оптимальными свойствами // *Вестник Южноуральского государственного университета. Серия: пищевые и биотехнологии*. 2021. № 1. С. 48–56. DOI: 10.14529/food210106.
22. Borodulin D.M., Prosin M.V., Shalev A.V., et al. Influence of Microwave Radiation on Whiskey Distillate Quality Indicators // *Biosc. Biotech. Res. Comm.* 2021. Vol. 14, N 4. P. 1701–1713. DOI: 10.21786/bbr/14.4.48.
23. Бородулин Д.М., Просин М.В., Головачева Я.С. Определение содержание полифенолов в выдержанных висковых дистиллятах с дубовыми кубиками, подвергавшихся воздействию сверхвысокочастотного излучения. В сб.: *Пищевые системы: новые виды ресурсов, инновационные технологии хранения и переработки, управление качеством: монография*. Майкоп: Майкопский государственный технологический университет, 2023. С. 119–130.

References

1. Burachevskij II, Vorob'eva EV, Veselovskaya OV. Origin, classification and technology of whisky. *Production of alcohol and liquor products*. 2013;1:9-14. (In Russ.).
2. Sabrekova DI, Katusov DN. Analysis of the whiskey production process. *Problems of scientific thought*. 2024;5:251-254. (In Russ.).
3. Golovacheva NE, Abramova IM, Morozova SS. On the influence of the degree of roasting of oak chips on the physicochemical and organoleptic properties of whiskey. *Food industry*. 2021;9:25-27. (In Russ.). DOI: 10.52653/PPI.2021.9.9.007.
4. Golovacheva NE, Morozova SS. Making whiskey from grain distillates with oak chips of varying degrees of toasting. In: *Conference "Fundamental and applied aspects of nutrition and dietetics"*. Moscow; 2023. P. 196–197. (In Russ.).
5. Abramova IM, Golovacheva NE, Morozova SS. On the technology of Russian whiskey production. In: *"Biotechnology: State and Prospects of Development", 25–27 Feb 2019, Moscow*. Moscow; 2019. P. 534–537. (In Russ.).
6. Morozova SS, Abramova IM, Golovacheva NE. A promising method of oak wood treatment for aging whisky distillates. *Food industry*, 2019;4:69-70. (In Russ.).
7. Grigor'ev MA, Beteva EA, Kostyukova KA. Development of technology for the production of Russian whiskey based on the main technological equipment of domestic distilleries. *Trends in the development of science and education*. 2024;111-4:219-223. (In Russ.). DOI: 10.18411/trnio-07-2024-225.
8. Zhang QA, Fan XH, Zhao WF. Ultrasound-assisted extraction of oak lignin for whiskey maturation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020;64:105048. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105048.
9. Parshakov MN, Mazurenko EA. Innovative methods of using ultrasound to accelerate whiskey maturation. In: *VII International Scientific and Technical Conference "Innovative Technologies in the Food Industry: Science, Education and Production"*. Voronezh; 2020. P. 82–86. (In Russ.).
10. Chemat F, Rombaut N, Sicaire AG. Ultrasound assisted extraction of food and natural products: Mechanisms, techniques, and applications. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2017;34:540-560. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.035.
11. Baldwin S, Robinson M, Williams P. Electrochemical acceleration of whiskey maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(32):8653-8661. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c03022.
12. Clarke RJ, Bakker J. *Wine Flavor Chemistry*. 2nd ed. Wiley-Blackwell; 2017. P. 416.
13. Canas S, Belchior AP, Spranger MI. Oxidation kinetics of phenolic compounds in wine-like systems. *Food Research International*. 2018;112:71-79. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.06.027.
14. Mosedale JR, Feuillat F, Baumes R. Control of oxygen ingress during barrel aging. *Beverages*. 2019;5(2):34. DOI: 10.3390/beverages5020034.
15. Polar J, Evans T, MacAllister R. Nano-oxygenation in Spirit Aging: Synergy with Ultrasound. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2024;91:103112. DOI: 10.1016/j.ifset.2024.103112.
16. Smith T, MacKay J. Electrochemical Modulation of Whiskey Maturation. *ACS Food Science & Technology*. 2023;3(4):567-578. DOI: 10.1021/acsfoodscitech.3c00012.
17. Borodulin DM, Prosin MV, Potapova MN, et al. Study of the influence of microwave exposure on the maturation process of whiskey distillates. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2019;4:141-153. (In Russ.). DOI: 10.36107/spfp.2019.154.
18. Borodulin DM, Shalev AV, Prosin MV, Demchenko KE. *Whisky production method*. Pat. 2733131 RU. 29.09.2020, byul. 28.
19. Murashev SV, Ishevskij AL, Uvarova NA. *Determination of water and solids content in food products*. Saint Petersburg; 2008. 26 p. (In Russ.).
20. Borodulin DM, Reznichenko IYu, Prosin MV, et al. Comparative analysis of extraction methods in distilled drinks production. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials*. 2021. P. 022060. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022060.

21. Merenkova SP, Tesalova DG. Analysis of the efficiency of extraction methods for obtaining herbal drinks with optimal properties. *Bulletin of the South Ural State University. Series: food and biotechnology*. 2021;1:48-56. (In Russ.). DOI: 10.14529/food210106.
22. Borodulin DM, Prosin MV, Shalev AV, et al. Influence of Microwave Radiation on Whiskey Distillate Quality Indicators. *Biosc. Biotech. Res. Comm.* 2021;14(4):1701-1713. DOI: 10.21786/bbrc/14.4.48.
23. Borodulin DM, Prosin MV. Determination of polyphenol content in aged whiskey distillates with oak cubes exposed to microwave radiation. In: *Food systems: new types of resources, innovative storage and processing technologies, quality management*. Maykop; 2023. P. 119–130. (In Russ.).

Статья принята к публикации 17.11.2025 / The article accepted for publication 17.11.2025.

Информация об авторах:

Дмитрий Михайлович Бородулин, и. о. директора Технологического института, доктор технических наук, профессор

Максим Валерьевич Просин, доцент кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, кандидат технических наук, доцент

Яна Сергеевна Головачева, старший преподаватель кафедры инженерного дизайна

Information about the authors:

Dmitry Mikhailovich Borodulin, Acting Director of the Technological Institute, Doctor of Technical Sciences, Professor

Maksim Valerievich Prosin, Associate Professor at the Department of Processes and Equipment for Processing Industries, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yana Sergeevna Golovacheva, Senior Lecturer at the Department of Engineering Design

