

Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 78-88
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2023; (1-45): 78-88

Научная статья

УДК 631.34

Код ВАК 4.3.1

EDN: ZXPZCV

МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Денис Николаевич Сёмушкин¹, Булат Гусманович Зиганшин², Николай Иванович Сёмушкин³,
Андрей Владимирович Дмитриев⁴, Иван Иванович Максимов⁵, Юрий Федорович Казаков⁶

^{1, 2, 3, 4}Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

^{5, 6}Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия

¹den.dizel@mail.ru

²zigan66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8250-9403>

³udc.kgau@mail.ru

⁴avd-work@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9398-0452>

⁵maksimov48@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7740-0059>

⁶ura.kazakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3189-3759>

Аннотация. Целью исследования являлось выявление методов интенсификации процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья для потребностей органического земледелия. Использовались материалы из научных статей и монографий, также был проведен анализ практического опыта использования различных методов экстракции. Данные материалы и методы позволили авторам классифицировать технические средства для экстракции биологически активных веществ из растительного сырья. Результатами явилось составление технологической классификации экстракторов, выполненной по принципу организации процесса, способу сепарации фаз, виду источника энергии и виду контакта между жидкими фазами. Также выполнена классификация по конструктивным особенностям для таких видов экстракторов, как центробежные, роторные, с переменным давлением, пульсационные, гравитационные, ступенчатые, роторно-пульсационные и ультразвуковые. Рассмотрено воздействие ультразвука на физико-химические и химико-технологические процессы экстракции, которые имеют оптимизирующее, интенсифицирующее и стимулирующее воздействие на процесс. Отдельно определены параметры, характеризующие электроразрядное экстрагирование. Показаны функциональные свойства разработанной на кафедре машин и оборудования в агропромышленном комплексе ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» установки для получения экстрактов из растительного сырья. Установка позволяет производить продукцию для органического земледелия в виде экстрактов, гуматов и аминокислот. Выявлены методы интенсификации процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья для потребностей органического земледелия на основе классификации конструктивных и технологических особенностей экстракторов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых технологий экстракции и при подборе оборудования для производства биологически активных веществ из растительного сырья.

Ключевые слова: интенсификация, классификация, экстрактор, экстракция, экстрагент, растительное сырьё, органическое земледелие.

Для цитирования: Сёмушкин Д.Н., Зиганшин Б.Г., Сёмушкин Н.И., Дмитриев А.В., Максимов И.И., Казаков Ю.Ф. Методы интенсификации процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 78-88.

Scientific article

METHODS FOR INTENSIFICATION OF EXTRACTION PROCESSES BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM PLANT RAW MATERIALS

Denis N. Semushkin¹, Bulat G. Ziganshin², Nikolay I. Semushkin³, Andrey V. Dmitriev⁴, Ivan I. Maksimov⁵,
Yury F. Kazakov⁶

^{1, 2, 3, 4}Kazan state agrarian university, Kazan, Russia

^{5, 6}Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

¹den.dizel@mail.ru

²zigan66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8250-9403>

³udc.kgau@mail.ru

⁴avd-work@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9398-0452>

⁵maksimov48@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7740-0059>

⁶ura.kazakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3189-3759>

Abstract. The aim of the study was to identify methods for intensifying the processes of extracting biologically active substances from plant materials for the needs of organic farming. Materials from scientific articles and monographs were used, and an analysis of practical experience in using various extraction methods was also carried out. These materials and methods allowed the authors to classify technical means for the extraction of biologically active substances from plant materials. The results were the compilation of a technological classification of extractors,

made according to the principle of organizing the process, the method of phase separation, the type of energy source and the type of contact between liquid phases. A classification was also made according to design features for such types of extractors as centrifugal, rotary, variable pressure, pulsating, gravitational, stepped, rotary-pulsing and ultrasonic. The impact of ultrasound on the physical-chemical and chemical-technological processes of extraction, which have an optimizing, intensifying and stimulating effect on the process, is considered. Separately, the parameters characterizing the electric discharge extraction are determined. The functional properties of the plant for obtaining extracts from plant materials developed at the Department of Machinery and Equipment in the agro-industrial complex of the Kazan State Agrarian University are shown. The plant allows to produce products for organic farming in the form of extracts, humates and amino acids. Methods for intensifying the processes of extracting biologically active substances from plant materials for the needs of organic farming have been identified based on the classification of design and technological features of extractors. The results obtained can be used in the development of new extraction technologies and in the selection of equipment for the production of biologically active substances from plant materials.

Keywords: intensification, classification, extractor, extraction, extractant, vegetable raw materials, organic farming.

For citation: Semushkin D.N., Ziganshin B.G., Semushkin N.I., Dmitriev A.V., Maksimov I.I., Kazakov Yu.F. Methods for intensification of extraction processes biologically active substances from plant raw materials. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2023; (1-45). 78-88. (In Russ).

Введение. Проблема снижения рисков в органическом земледелии становится все более актуальной в рамках экологизации сельского хозяйства. Россия отстает от мирового уровня производства органических продуктов из-за недостаточно развитой технологической базы и организационных, правовых и социально-экономических аспектов [1-3].

Органическое земледелие основано на использовании биологических удобрений и отходов производства, а также на минимизации применения химических средств защиты растений. Для повышения урожайности и борьбы с вредителями и сорняками используются севообороты, сидеральные культуры, природные методы защиты растений и почвозащитные способы обработки земли [4-5]. Одним из возможных способов использования водных экстрактов из растительного сырья является адаптация биологических пестицидов.

Для проведения экстракции может использоваться различное оборудование [6-7], включая перколяторы, экстракторы со смешиванием, ультразвуковые экстракторы и другие устройства. Важным параметром при выборе оборудования является эффективность экстракции, которая зависит от многих факторов, включая размер частиц материала, температуру, давление, время контакта и т. д.

Материалы и методы. Использовались материалы из научных статей и монографий, применены методы многофакторного анализа практического опыта использования различных методов экстракции, с целью составления классификация технических средств, используемых для экстракции биологически активных веществ из растительного сырья для условий органического земледелия.

Данные материалы и методы позволили авторам классифицировать технические средства для экстракции по конструктивным и технологическим признакам с целью выявления методов

интенсификации процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья для потребностей органического земледелия. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых технологий экстракции и при подборе оборудования для производства биологически активных веществ из растительного сырья.

Результаты исследований и их обсуждение.

Производство экстракционных препаратов основано на процессах экстракции. При этом получают препараты индивидуальных веществ, которые получают из растительного сырья путем выделения и очистки одного конкретного биологически активного вещества. Они обладают высокой точностью действия и эффективностью, но могут вызывать побочные эффекты при неправильном использовании.

Из растительного сырья получают три группы экстракционных препаратов по разным технологиям [8]. Технологическая классификация экстракторов приведена на рисунке 1 и включает в себя принцип организации технологического процесса (процесс может быть периодическим и непрерывным), способ сепарации фаз (разделение вещества в поле центробежных сил или в поле действия сил тяжести), вид источника энергии (с введением внешней энергии или с использованием собственной энергии потоков), вид контакта между жидкими фазами (дифференциально-контактные или ступенчатые).

В настоящее время экстракция является одним из наиболее важных и перспективных методов извлечения ценных компонентов из растительного сырья. При этом особое внимание уделяется конструктивным особенностям экстракторов [9], которые в значительной мере определяют эффективность процесса.

Одним из наиболее распространенных типов экстракторов являются центробежные. Они основаны на использовании силы тяжести

и центробежной силы, что позволяет добиться высокой скорости перемешивания и интенсивности процесса. Роторные экстракторы, в свою очередь, работают за счет вращения ротора внутри корпуса, что обеспечивает эффективное перемешивание сырья и экстрагента [10].

Пульсационные экстракторы основаны на создании пульсаций внутри рабочей камеры, что способствует интенсификации процесса и улучшению качества получаемого продукта. Гравитационные экстракторы используют различные гравитационные поля для разделения компонентов сырья и экстрагента.

Ступенчатые экстракторы представляют собой комплексные системы, состоящие из нескольких ступеней, каждая из которых выполняет определенную функцию. Роторно-пульсационные экстракторы объединяют в себе преимущества роторных и пульсационных экстракторов, что позволяет добиться высокой эффективности процесса.

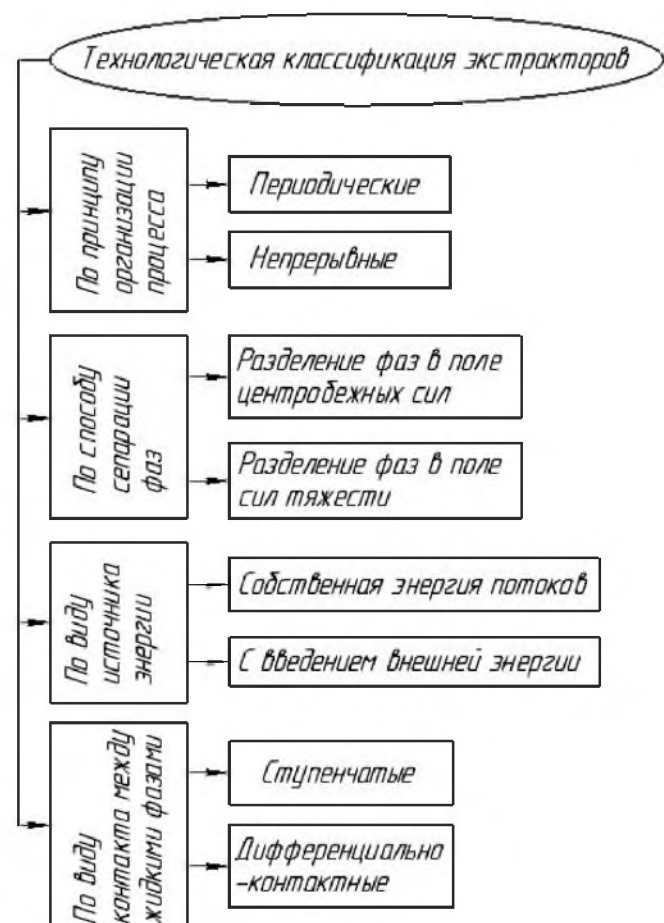


Рисунок 1 – Технологическая классификация экстракторов

Экстракторы, работающие с воздействием давления на сырье, основаны на использовании

высокого давления для разрушения клеточных стенок и улучшения доступности ценных компонентов. Ультразвуковые экстракторы используют ультразвуковые волны для интенсификации процесса и улучшения качества получаемого продукта.

Таким образом, классификация экстракторов по конструктивным особенностям является важным аспектом исследования в области экстракции. Каждый тип экстрактора имеет свои преимущества и недостатки, что необходимо учитывать при выборе оптимального метода извлечения ценных компонентов.

Классификация экстракторов по конструктивным особенностям приведена на рисунке 2. В классификацию вошли центробежные, роторные, пульсационные, гравитационные, ступенчатые, роторно-пульсационные, с воздействием давления и ультразвуковые экстракторы.

Интенсификация процесса экстрагирования является важным направлением развития технологий извлечения ценных компонентов из природных сырьевых материалов. Различные методы интенсификации позволяют ускорить и улучшить процесс экстрагирования, повысить выход целевых компонентов и уменьшить затраты на производство.

Одним из методов интенсификации является наложение пульсаций. Этот метод основан на создании пульсаций в системе экстрагирования, что приводит к ускорению перемешивания и повышению массообмена между фазами. Другим методом является механическое перемешивание, которое также способствует ускорению массообмена и повышению выхода целевых компонентов.

Кипение под вакуумом является еще одним методом интенсификации, который позволяет уменьшить температуру экстрагирования и повысить выход целевых компонентов. Изменение температуры также является эффективным методом интенсификации, который позволяет ускорить процесс экстрагирования и повысить выход целевых компонентов. Максимальный выход биологически активных веществ и соединений отмечали при температуре 30...60 °С.

Изменение размеров частиц сырья также может быть использовано для интенсификации процесса экстрагирования. Раздел фаз между твердым сырьем и жидкостью зависит от степени измельчения сырья. Чем меньше



Рисунок 2 – Классификация экстракторов по конструктивным особенностям

размер частиц, тем больше поверхность этого раздела [11]. Более мелкие частицы сырья имеют большую поверхность и, следовательно, более эффективно экстрагируются. Однако излишне тонкое измельчение может привести к склеиванию сырья или его ослизнению, особенно если в нем содержатся слизистые вещества. Кроме того, чрезмерное измельчение может привести к повреждению клеток и вымыванию белков, слизи и пектинов, т. е. сопутствующих веществ. Это приводит к загрязнению вытяжки и ее усложненной фильтрации. Поэтому для получения чистой и прозрачной

вытяжки крупное сырье следует измельчать до заранее известных для каждого растения или сырья размеров: семена, плоды – 0,3...0,5 мм; листья, травы, цветы – 3...5 мм; кора, корни, стебли – 1...3 мм.

Переменное давление и электроразрядов также могут быть использованы для интенсификации процесса экстрагирования.

Наконец, применение органических растворителей также является эффективным методом интенсификации, который позволяет ускорить процесс экстрагирования и повысить выход целевых компонентов [12].

В обобщенном виде методы интенсификации процесса экстрагирования приведены на рисунке 3.

Коэффициент молекулярной диффузии – способность вещества проникать через среду. Коэффициент конвективной диффузии и толщина диффузионного слоя зависят от гидродинамических условий. Если перемешивания нет, то коэффициент равен нулю и толщина слоя экстрагента равна всей толщине. Это происходит при мацерации без перемешивания, что является самым длительным способом экстрагирования. Если экстрагент перемещается с небольшой скоростью, то уменьшается слой неподвижной жидкости и появляются конвекционные токи, которые способствуют переносу вещества.

Таким образом, большая диффузионная способность является присущей для растворов с меньшей вязкостью. Чтобы вязкость раствора была уменьшена, применяется нагрев, но

при этом необходимо учитывать особенности каждого типа экстрагента. Например, эфирная и спиртовая экстракция ограничивается комнатной температурой, так как при повышении температуры увеличиваются потери экстрагентов. Горячий экстрагент имеет смысл использовать только для коры, корневищ, корней, так как это способствует лучшему отделению тканей и ускоряет течение диффузионного процесса. Однако для термолабильных веществ горячий экстрагент приемлем только на короткий временной отрезок. Повышение температуры также может привести к потере эфирных масел, поэтому необходимо учитывать особенности каждого типа сырья и экстрагента при выборе технологии экстрагирования [13-14]. В последнее время все большую популярность приобретают сжиженные газы, такие как жидкий аммиак, пропан, бутан, углерода диоксид, которые обладают низкой вязкостью и хорошей диффузионной способностью.

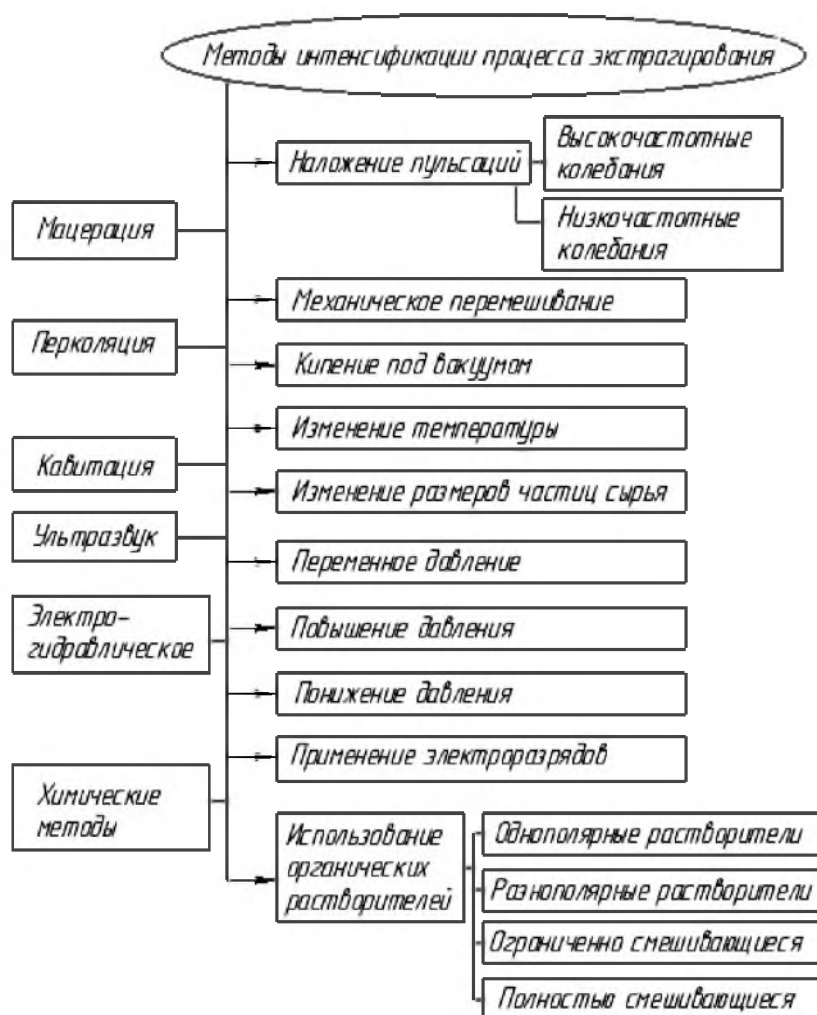


Рисунок 3 – Методы интенсификации процесса экстрагирования

Методы, ускоряющие процесс мацерации, это размол сырья в среде экстрагента и ремацерация, с прессованием на гидравлических вальцах или гидравлических прессах. Эти методы обеспечивают уменьшение потерь экстрагента и действующих веществ и позволят получить высококачественный растительный экстракт.

Добавление поверхностно-активных веществ (ПАВ) в экстрагент улучшает процесс извлечения веществ, таких как эфирные масла, алкалоиды, гликозиды. Это происходит за счет снижения поверхностного натяжения на границе раздела фаз, что облегчает проникновение экстрагента и улучшает смачиваемость клеточного содержимого.

Еще один метод – ультразвуковая экстракция. Для этого используют ультразвуковые колебания, которые ускоряют экстрагирование сырья и достигают самого полного получения из сырья необходимых веществ. Ультразвуковой излучатель крепят к корпусу бака либо располагают в обрабатываемой среде. Ультразвуковые волны приводят к кавитации и знакопеременному давлению в среде, что ускоряет пропитку материала и растворение содержимого клетки. Метод также приводит к разрушению клеток, что ускоряет процесс экстрагирования обрабатываемого сырья.

В последние годы ультразвуковая экстракция стала все более популярной в связи с ее способностью повышать эффективность процесса и сокращать время экстракции [15].

Ультразвуковые колебания могут быть использованы как движущая сила для активации процесса экстракции. Колебания создаются ультразвуковым генератором, который генерирует звуковые волны в диапазоне частот от 20 кГц до 1000 кГц. Эти звуковые волны вызывают механические колебания частиц, что приводит к интенсификации процессов массопереноса и теплообмена. Ультразвуковые колебания могут ускорять диффузионные процессы внутри

материала, что также приводит к увеличению скорости процесса.

Таким образом, ультразвуковая экстракция является эффективным методом извлечения ценных компонентов из природных и синтетических материалов и воздействие ультразвука на физико-химические и химико-технологические процессы экстракции носит оптимизирующее, интенсифицирующее и стимулирующее воздействие (рисунок 4).

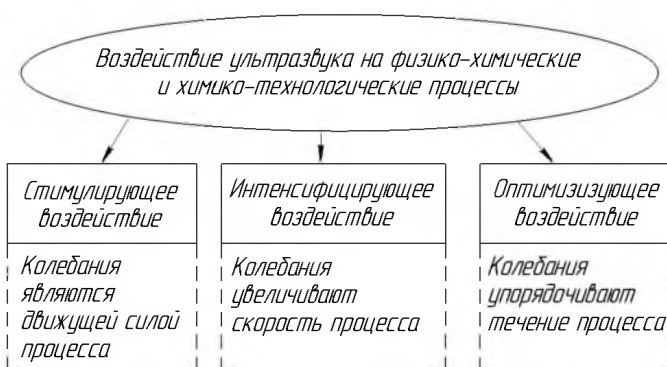


Рисунок 4 – Воздействие ультразвука на физико-химические и химико-технологические процессы экстракции

Интенсивные колебания также приводят к чередованию зон растяжения и сжатия в экстракте, что создает кавитационные зоны, ускоряющие движение экстрагента и увеличивающие скорость извлечения экстрактивных веществ. Кроме того, при использовании электроимпульсных разрядов происходит микровзрыв, который разрушает структуры клетки материала, что также способствует более быстрому извлечению ценных компонентов.

Ряд исследований, приведённых в литературе [17], также указывает на возможность повышения эффективности процесса экстракции при сочетании ультразвукового и термического воздействия невысокими температурами. Для изучения этого эффекта в перечень исследуемых объектов были включены образцы, подвергну-

Таблица 1 – Результаты определения физико-химических показателей качества экстрактов

Наименование показателя	Перемешивание (20 мин, 60°C)	Перемешивание с водой, обработанной ультразвуком 180 Вт в течение 5 мин (10 мин без нагрева)	Обработка смеси ультразвуком 180 Вт 5 мин без нагрева	Обработка смеси ультразвуком 180 Вт 5 мин + последующее перемешивание 5 мин, 30°C
Содержание сухих веществ, %	2,6±0,03	2,2±0,02	3,1±0,02	3,8±0,03
Содержание дубильных веществ, %	1,4±0,02	1,2±0,02	1,6±0,03	1,7±0,02
Интенсивность цвета	1,48±0,03	1,28±0,04	1,56±0,03	1,62±0,03

тые ультразвуковому воздействию в установленных режимах с последующим нагреванием до температуры 30 °С в течение 5 мин. Температурный режим был установлен исходя из задачи максимального сохранения полезных веществ выжимок клюквы. Оценивались следующие показатели экстрактов: содержание сухих веществ, массовая доля дубильных веществ, интенсивность цвета. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Важное значение для процесса экстракции имеет продолжительность ультразвукового воздействия [18]. Очевидно, что с увеличением времени воздействия выход суммы биологически активных веществ пропорционально увеличивается. Полное истощение сырья отмечали при величине частиц до 0,5 мм и воздействии ультразвука в течение не более 15 мин. При величине частиц до 1 мм полное истощение растительного сырья наступало через 60 мин обработки. Требовалось 2 часа для полного истощения сырья с размерами частиц 2 мм. При величине частиц от 8 мм до 10 мм за 2 ч обработки в экстрагент переходило менее 55 % биологически активных веществ. Таким образом, было установлено, что предварительное измельчение сырья до размера частиц менее 0,5 мм обеспечивало полное истощение сырья за 10... 15 мин ультразвуковой обработки.

В современных технологиях экстракции растительного сырья широко применяется электроразрядное экстрагирование, которое основано на использовании электрического поля для извлечения ценных компонентов. Параметры, характеризующие этот процесс, являются важными факторами, влияющими на эффективность и качество получаемого продукта.

Одним из ключевых параметров является форма импульса напряжения, которая определяет интенсивность процесса экстрагирования. Важным параметром так же является длительность фронта импульса напряжения, влияющим на глубину проникновения поля в материал и, следовательно, на количество извлекаемых компонентов. Амплитуда импульса напряжения определяет мощность поля и, следовательно, скорость извлечения компонентов.

Величина межэлектродного промежутка влияет на интенсивность поля и соответственно, на количество извлекаемых компонентов. Частота подачи импульсов определяет скорость

процесса экстрагирования. Удельная мощность является еще одним важным параметром, который определяет эффективность процесса экстрагирования.

Соотношение загружаемых фаз также играет важную роль в процессе экстрагирования, поскольку определяет распределение энергии между фазами и, следовательно, влияет на интенсивность поля. Таким образом, параметры, характеризующие электроразрядное экстрагирование растительного сырья, являются ключевыми факторами, определяющими эффективность и качество получаемого продукта. Их правильный выбор и оптимизация позволяют достичь максимальной эффективности процесса экстрагирования и получить продукт высокого качества.

С целью интенсификации процесса экстракции дигидрокверцетина применяются методы турбоэкстракции, электроразрядной обработки сырья и комбинация этих методов [19]. Электроразрядная обработка сырья проводилась в течение 10 минут разрядом 25 кВ, частотой 1 Гц, турбоэкстракция – 25 минут при 2000 об/мин. Комбинация предварительной электроразрядной обработки с турбоэкстракцией при соотношении фаз 1:10 позволила увеличить степень истощения сырья до 83,9 %, сравнительно с 39,9 % по используемой технологии (таблица 2), что привело к увеличению выхода дигидрокверцетина в 2,1 раза.

Таблица 2 – Зависимость эффективности экстракции от методов интенсификации процесса

Метод экстракции	Содержание дигидрокверцетина в извлечении, %	Эффективность экстракции, %
Электроразрядный	0,18±0,019	74,7±3,71
Турбоэкстракция	0,16±0,016	66,4±2,64
Электроразрядный + Турбоэкстракция	0,205±0,014	83,9±2,36

Электроразрядное экстрагирование характеризуется следующими параметрами, которые приведены на 5 рисунке.

Функциональные свойства разработанных на кафедре машин и оборудования в АПК ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» установок [20-21] для

получения экстрактов из растительного сырья, приведены на рисунке 6. Установка позволяет производить продукцию для органического земледелия в виде экстрактов, гуматов и аминокислот.



Рисунок 5 – Параметры, характеризующие электроразрядное экстрагирование



Рисунок 6 – Функционал разрабатываемой установки для получения экстрактов из растительного сырья

Заключение. Таким образом, методы интенсификации процесса экстрагирования являются важным направлением развития технологий извлечения компонентов из природных сырьевых материалов [22]. Использование рассмо-

тренных методов интенсификации процесса экстрагирования способствует более быстрому извлечению ценных компонентов из растительного сырья, позволяет повысить эффективность производства, уменьшить затраты и улучшить качество получаемых продуктов. Наряду с этим, требуется провести дальнейшую работу [23] по обоснованию технологических и конструктивных параметров автоматизированной установки для получения продукции в виде экстрактов, гуматов и аминокислот с целью использования в органическом сельском хозяйстве.

Список источников

1. Окунев Г.А., Кузнецов Н.А., Канатпаев С.С. Формирование ресурсосберегающей системы органического земледелия // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 2 (38). С. 69-75. DOI: 10.52463/22 274227_2021_38_34. EDN: JPXRZE.
2. Методологические основы современных агротехнологий растениеводства / М.Ф. Амиров [и др.] // Система земледелия Республики Татарстан: монография. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2014. Ч. 2. С. 6-17. EDN: WHKTMT.
3. Агротехнологии технических культур / М.Ф. Амиров [и др.] // Система земледелия Республики Татарстан: монография. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2014. Ч. 2. С. 178-250. EDN: WHKSXJ.
4. Агротехнологии полевых кормовых культур / М.Ф. Амиров [и др.] // Система земледелия Республики Татарстан: монография. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2014. Ч. 2. С. 251-280. EDN: WHKSYX.
5. Агротехнологии зернобобовых культур и крупяных культур / М.Ф. Амиров [и др.] // Система земледелия Республики Татарстан: монография. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2014. Ч. 2. С. 141-177. EDN: WHKSVV.
6. Богданов К.А. Теоретическое исследование конструктивных и технологических параметров в экструдере для производства кормов с добавлением сапропеля // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 2 (38). С. 50-54. DOI: 10.52463/22 274227_2021_38_71. EDN: NGZFLM.
7. Определение конструкционных параметров эжектора с использованием программного

пакета solidworks flow simulation для вакуумной выпарной установки / Д.П. Ездин [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 1 (37). С. 61-68. DOI: 10.52463/22274227_2021_37_61. EDN: THNKEO.

8. Семушкин Д.Н., Зиганшин Б.Г., Семушкин Н.И. Анализ технологий получения растительных экстрактов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2019. С. 156-159. EDN: YHPAMY.

9. Семушкин Н.И., Зияев Р.Ш. Как получить растительную вытяжку // Сельский механизатор. 2009. № 4. С. 17. EDN: JXWTCT.

10. Семушкин Д.Н., Зиганшин Б.Г., Семушкин Н.И. Обзор установок получения растительных экстрактов // Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: научные труды I Международной научно-практической конференции. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2020. С. 286-291. EDN: HJVWNI.

11. Исследование процесса смешивания компонентов корма / В.В. Морозов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 4 (40). С. 73-80. DOI: 10.52463/22274227_2021_40_73. EDN: GSMARZ.

12. Вакуумная выпарная установка для повышения концентрации кормовых суспензий / А.В. Фоминых [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 63-71. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_63. EDN: GWUFCX.

13. Состав для адаптации биопестицидов: пат. 2452181 Рос. Федерация. № 2010127378/13 / Р.И. Сафин, А.И. Исмаилова, Н.А. Ермаков, Н.И. Семушкин; заявл. 02.07.2010; опубл. 10.06.2012. Бюл. № 16. EDN: IRPFLT.

14. Способ фитозэкспертизы семян зерновых культур: пат. 2269241 Рос. Федерация. № 2003137292/12 / Р.И. Сафин, А.А. Зиганшин, И.А. Борздыко [и др.]: заявл. 24.12.2003; опубл. 10.02.2006. Бюл. № 4. EDN: WJVYBK.

15. Викулин П.Д., Викулина В.Б. Влияние ультразвука на изменение pH воды // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 4 (80). С. 3-8. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.3-8. EDN: GJJZRU.

16. Карпенко Д.В., Крюкова Е.В., Щербакова Е.В. Метод интенсификации экстракции растительного сырья в производстве напитков // Пиво и напитки. 2019. № 4. С. 46-50. DOI: 10.24411/2072-9650-2019-10009. EDN: GZLPDV.

17. Потороко И.Ю., Калинина И.В. Перспективы использования ультразвукового воздействия в технологии экстракционных процессов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. № 1. С. 42-47. EDN: RZCMKX.

18. Поверин Д.И., Поверин А.Д. Ультразвуковая экстракция в промышленном производстве инстантных форм растительных субстратов // Пиво и напитки. 2006. № 1. С. 18-20. EDN: OPRWVP.

19. Ковалевская Е.Г. Использование электроразрядной технологии для интенсификации процесса экстрагирования дигидрокверцетина // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 358. EDN: SBKXMF.

20. Установка получения растительной вытяжки: пат. 2518605 С2 Рос. Федерация, МПК В01D 11/02. № 2012136661/05 / С.М. Яхин, Б.Г. Зиганшин, А.Р. Валиев [и др.]; заявл. 27.08.2012; опубл. 10.06.2014. EDN: ZLTCQX.

21. Установка получения растительной вытяжки: пат. на полезную модель № 127322 U1 Рос. Федерация, МПК В01D 11/00. № 2012141204/05 / С.М. Яхин, Б.Г. Зиганшин, А.Р. Валиев [и др.]; заявл. 26.09.2012; опубл. 27.04.2013. EDN: FRNIQK.

22. Семушкин Д.Н., Зиганшин Б.Г., Семушкин Н.И. Технологическая схема получения растительного экстракта // Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: научные труды I Международной научно-практической конференции. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2020. С. 291-294. EDN: JRNIUH.

23. Перспективы использования роботизированных установок в растениеводстве / Н.И. Семушкин [и др.] // Глобальные вызовы для продовольственной безопасности: риски и возможности: научные труды международной научно-практической конференции. Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2021. С. 518-524. EDN: TZHYCB.

References

1. Okunev G.A., Kuznetsov N.A., Kanatpaev S.S. Formirovanie resursosberegayushchei sistemy organicheskogo zemledeliya [Formation of resource-saving system of organic agriculture]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2021; (2-38): 69-75. DOI: 10.52463/22274227_2021_38_34. EDN: JPXRZE. (In Russ).
2. Amirov M.F. [et al.] Metodologicheskie osnovy sovremennykh agrotekhnologii rastenievodstva [Methodological foundations of modern agrotechnologies of plant growing]. *Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan: monografiya*. 2014; (2): 6-17. EDN: WHKTMT. (In Russ).
3. Amirov M.F. [et al.] Agrotekhnologii tekhnicheskikh kul'tur [Agrotechnologies of industrial crops]. *Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan: monografiya*. 2014; (2): 178-250. EDN: WHKSXJ. (In Russ).
4. Amirov M.F. [et al.] Agrotekhnologii polevykh kormovykh kul'tur [Agrotechnologies of field fodder crops]. *Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan: monografiya*. 2014; (2): 251-280. EDN: WHKSYX. (In Russ).
5. Amirov M.F. [et al.] Agrotekhnologii zernobobovykh kul'tur i krupyanykh kul'tur [Agrotechnologies of leguminous crops and cereal crops]. *Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan: monografiya*. 2014; (2): 141-177. EDN: WHKSVV. (In Russ).
6. Bogdanov K.A. Teoreticheskoe issledovanie konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov v ekstrudere dlya proizvodstva kormov s dobavleniem sapropelya [Theoretical study of design and technological parameters in an extruder for the production of feed with the addition of sapropel]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2021; (2-38): 50-54. DOI: 10.52463/22274227_2021_38_71. EDN: NGZFLM. (In Russ).
7. Ezdin D.P. [et al.] Opredelenie konstruktivnykh parametrov ezhektora s ispol'zovaniem programmno go paketa solidworks flow simulation dlya vakuumnoi vyparnoi ustanovki [Determination of ejector structural parameters using solidworks flow simulation software package for vacuum evaporator]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2021; (1-37): 61-68. DOI: 10.52463/22274227_2021_37_61. EDN: THNKEO. (In Russ).
8. Semushkin D.N., Ziganshin B.G., Semushkin N.I. Analiz tekhnologii polucheniya rastitel'nykh ekstraktov [Analysis of technologies for obtaining plant extracts]. Materials of the international scientific -practical conference «Current state, problems and prospects for the development of mechanization and technical service of the agro-industrial complex». Kazan: Kazanskii GAU; 2019: 156-159. EDN: YHPAMY. (In Russ).
9. Semushkin N.I., Ziyaev R.Sh. Kak poluchit' rastitel'nyuy vytyazhku [How to get a vegetable extract]. *Selskiy Mechanizator*. 2009; (4): 17. EDN: JXWTCT. (In Russ).
10. Semushkin D.N., Ziganshin B.G., Semushkin N.I. Obzor ustanovok polucheniya rastitel'nykh ekstraktov [Overview of plants for obtaining plant extracts]. Scientific works of the I International Scientific and Practical Conference «Scientific support of technologies of the agro-industrial complex: theory, practice, innovation». Kazan: Kazanskii GAU; 2020: 286-291. EDN: HJVWNI. (In Russ).
11. Morozov V.V. [et al.] Issledovanie protsessy smeshivaniya komponentov korma [Theoretical studies of the feed preparation process]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2021; (4-40): 73-80. DOI: 10.52463/22274227_2021_40_73. EDN: GSMARZ. (In Russ).
12. Fominykh A.V. [et al.] Vakuumnaya vyparnaya ustanovka dlya povysheniya kontsentratsii kormovykh suspenzii [Evaporator system for increasing the concentration of feeding liquor]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2022; (2-42): 63-71. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_63. EDN: GWUFCX. (In Russ).
13. Composition for adapting biopesticides: pat. 2452181 Russian Federation. No 2010127378/13 / R.I. Safin, A.I. Ismailova, N.A. Ermakov, N.I. Semushkin; statement 02 July 2010; publ. 10 June 2012. Bull. No. 16. EDN: IRPFLT. (In Russ).
14. Method for phytoexamination of seeds of grain crops: pat. 2269241 Russian Federation. No 2003137292/12 / R.I. Safin, A.A. Ziganshin, I.A. Borzdyko [et al.]; statement 24 December 2003; publ. 10 Feb 2006. Bull. No. 4. EDN: WJVYBK. (In Russ).
15. Vikulin P.D., Vikulina V.B. Vliyanie ul'trazvuka na izmenenie PH vody [The influence of ultrasound on the change in the pH of water]. *Voda*

i ekologiya: problemy i resheniya. 2019; (4-80): 3-8. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.3-8. EDN: GJJZRU. (In Russ).

16. Karpenko D.V., Kryukova E.V., Shcherbakova E.V. Metod intensivatsii ekstraktsii rastitel'nogo syr'ya v proizvodstve napitkov [Method for intensifying the extraction of vegetable raw materials in the production of beverages]. *Beer and drinks*. 2019; (4): 46-50. DOI: 10.24411/2072-9650-2019-10009. EDN: GZLPDV. (In Russ).

17. Potoroko I.Yu., Kalinina I.V. Perspektivy ispol'zovaniya ul'trazvukovogo vozdeistviya v tekhnologii ekstraktsionnykh protsessov [Prospects for the use of ultrasonic treatment in the technology of extraction processes]. *Bulletin of the South Ural State University. Series «Mechanical Engineering Industry»*. 2014; (2-1): 42-47. EDN: RZCMKX. (In Russ).

18. Poverin D.I., Poverin A.D. Ul'trazvukovaya ekstraktsiya v promyshlennom proizvodstve instantnykh form rastitel'nykh substratov [Ultrasonic extraction in the industrial production of instant forms of plant substrates]. *Beer and drinks*. 2006; (1): 18-20. EDN: OPRWVP. (In Russ).

19. Kovalevskaya E.G. Ispol'zovanie elektrorazryadnoi tekhnologii dlya intensivatsii protsessa ekstrahirovaniya digidrokvertsetina [The use of electric discharge technology to intensify the extraction process of dihydroquercetin]. *Modern problems of science and education*. 2014; (1): 358. EDN: SBKXMF. (In Russ).

20. Installation for obtaining vegetable extract: pat. 2518605 Russian Federation. No 2012136661/05 / S.M. Yakhin, B.G. Ziganshin, A.R. Valiev [et al.]: statement 27 august 2012; publ. 10 june 2014. Bull. No. 16. EDN: ZLTCQX. (In Russ).

21. Installation for obtaining vegetable extract: utility model patent 127322 Russian Federation. No 2012141204/05 / S.M. Yakhin, B.G. Ziganshin, A.R. Valiev [et al.]: statement 26 september 2012; publ. 27 April 2013. Bull. No. 12. EDN: FRNIQK. (In Russ).

22. Semushkin D.N., Ziganshin B.G., Semushkin N.I. Tekhnologicheskaya skhema polucheniya rastitel'nogo ekstrakta [Technological scheme for obtaining plant extract]. Scientific works of the I International Scientific and Prac-

tical Conference «Scientific support of technologies of the agro-industrial complex: theory, practice, innovations». Kazan: Kazanskii GAU; 2020: 291-294. EDN: JRNIUH. (In Russ).

23. Semushkin N.I. [et al.] Perspektivy ispol'zovaniya robotizirovannykh ustanovok v rastenievodstve [Prospects for the use of robotic installations in crop production]. Scientific proceedings of the international scientific and practical conference «Global challenges for food security: risks and opportunities». Kazan: Kazanskii GAU; 2021: 518-524. EDN: TZHYCB. (In Russ).

Информация об авторах

Д.Н. Семушкин – аспирант; AuthorID 1167867.

Б.Г. Зиганшин – доктор технических наук, профессор; AuthorID 326952.

Н.И. Семушкин – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 644830.

А.В. Дмитриев – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 617728.

И.И. Максимов – доктор технических наук, профессор; AuthorID 700409.

Ю.Ф. Казаков – доктор технических наук, профессор; AuthorID 334398.

Information about the author

D.N. Semushkin – graduate student; AuthorID 1167867.

B.G. Ziganshin – Doctor of Technical Sciences, professor; AuthorID 326952.

N.I. Semushkin – Candidate of Technical Sciences, associate professor; AuthorID 644830.

A.V. Dmitriev – Candidate of Technical Sciences, associate professor; AuthorID 617728.

I.I. Maksimov – Doctor of Technical Sciences, professor; AuthorID 700409.

Yu.F. Kazakov – Doctor of Technical Sciences, professor; AuthorID 334398.

Статья поступила в редакцию 25.02.2023; одобрена после рецензирования 06.04.2023; принята к публикации 08.06.2023.

The article was submitted 25.02.2023; approved after reviewing 06.04.2023; accepted for publication 08.06.2023.