

УДК 664.8: 664.8.022.6

**РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ****DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR
THE EXTRACTION OF FLAVONOIDS FROM PLANT RAW MATERIALS****Занин Дмитрий Евгеньевич**

канд. техн. наук, доцент кафедры
систем управления и технологических комплексов,
Кубанский государственный
технологический университет

Касьянов Дмитрий Геннадьевич

канд. техн. наук, технолог
ООО «НПП Плазма К»

Аннотация. Адаптивная система газожидкостных экстракционных установок непосредственно связана с их эволюцией за последние десятилетия. Для повышения адаптивности системы использована рекомбинация инновационных приемов в экстракционных технологиях. Заимствование идей электрофизического воздействия на перерабатываемое сырье позволило усовершенствовать технику и технологию CO₂-экстракции с последующей передачей управления продуктом рынку. Выделение из растительного сырья флавоноидов приобрело особую актуальность в последние годы, в связи с необходимостью продлить сроки хранения пищевых продуктов. Цель работы заключалась в разработке технологических режимов извлечения флавоноидов из растительного сырья. В работе проанализировано содержание флавоноидов в растительном сырье, исследованы способы подготовки сырья к экстракции, особенности извлечения флавоноидов из растительного сырья на универсальном экстракционном модуле, с использованием в качестве экстрагента диоксида углерода в различных фазовых состояниях. Дана характеристика диоксида углерода как экстрагента ценных компонентов сырья. Приведены основные параметры процесса до- и сверхкритической экстракции, качественные и количественные показатели CO₂-экстрактивных веществ. Разработаны режимы экстракции флавоноидов из растительного сырья сверхкритическим диоксидом углерода в присутствии соразтворителя при давлении 15–40,0 МПа и температуре 30–45 °С. На универсальном экстракционном модуле, при воздействии на процесс извлечения экстрактов ультразвука (20–22 кГц) и ЭМП низкой частоты (25–100 Гц), достигнута высокая концентрация основного компонента. Выполненное исследование позволило повысить выход суммы флавоноидов из исследуемого сырья выше нормативного на 26–28 %.

Ключевые слова: адаптивные системы, CO₂-экстракция, растительное сырье, каротиноиды, флавоноиды, докритическая экстракция, сверхкритическая экстракция, режимы CO₂-экстракции.

Zanin Dmitriy Evgenyevich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of
the Department Control Systems and
Technological Systems,
Kuban State Technological University

Kasyanov Dmitry Gennadyevich

Candidate of Technical Sciences,
Technologist,
«Scientific and Production Enterprise
Plasma K» LLC

Annotation. The adaptive system of gas-liquid extraction plants is directly related to their evolution over the past decades. To increase the adaptability of the system, the recombination of innovative techniques in extraction technologies is used. Borrowing the ideas of electrophysical impact on the processed raw materials made it possible to improve the technique and technology of CO₂-extraction with the subsequent transfer of product control to the market. Isolation of flavonoids from plant raw materials has acquired particular relevance in recent years, due to the need to extend the shelf life of food products. The aim of the work was to develop technological modes for extracting flavonoids from plant raw materials. The paper analyzes the content of flavonoids in plant raw materials, investigates the methods of preparing raw materials for extraction, the features of extracting flavonoids from plant materials on a universal extraction module, using carbon dioxide as an extractant in various phase states. The characteristic of carbon dioxide as an extractant of valuable components of raw materials is given. The main parameters of the process of pre- and supercritical extraction, qualitative and quantitative indicators of CO₂-extractive substances are presented. Regimes for the extraction of flavonoids from plant materials with supercritical carbon dioxide in the presence of a cosolvent at a pressure of 15–40.0 MPa and a temperature of 30–45 °C have been developed. A high concentration of the main component was achieved on the universal extraction module, when exposed to the extraction process of extracts of ultrasound (20–22 kHz) and low-frequency EMF (25–100 Hz). The study made it possible to increase the yield of the sum of flavonoids from the studied raw materials above the standard by 26–28 %.

Keywords: adaptive systems, CO₂-extraction, plant raw materials, carotenoids, flavonoids, subcritical extraction, supercritical extraction, CO₂-extraction modes.

Введение

Сотрудники кафедр «Технология продуктов питания животного происхождения» и «Систем управления и технологических комплексов» КубГТУ выполняют исследование по совершенствованию извлечения ценных компонентов из сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами. Ключом к уникальным инновациям является рекомбинация, позволяющее вывести экстракционное предприятие в число лидеров, а сотрудникам – быстрого внедрения объектов интеллектуальной собственности. Проблема изготовления натуральных пищевых добавок с повышенным содержанием каротиноидов и флавоноидов является актуальной для пищевой и перерабатывающей промышленности страны. Совершенствование способов выделения из растительного сырья каротиноидов и флавоноидов приобрело особую актуальность в последние годы, в связи с необходимостью витаминизировать чрезвычайно рафинированную пищу и придать ей антиоксидантные свойства.

В соответствии с принятой стратегией импортозамещения, в России выполняется программа совершенствования производства натуральных пищевых добавок из отечественного растительного сырья. К наиболее высокотехнологичным пищевым добавкам относятся CO_2 -экстракты, извлекаемые из растительного сырья сжиженным или сжатым диоксидом углерода. Решение проблемы изготовления натуральных пищевых добавок с повышенным содержанием каротиноидов и флавоноидов позволит выпускать обогащенные продукты повседневного питания с гарантированным содержанием антиоксидантов и провитаминов.

Современное состояние производства пищевых добавок с повышенным содержанием каротиноидов и флавоноидов базируется на применении высокотемпературных технологий сушки растительного сырья, применении экологически небезопасных растворителей для извлечения компонентов из сырья и отгонки их из продукта при высокой температуре. Известная технология получения пищевых добавок и фармацевтических препаратов с повышенным содержанием флавоноидов базируется на традиционных методах извлечения их из сырья горячей водой и водно-спиртовыми растворами. При этом значительная часть других ценных компонентов сырья безвозвратно теряется. Другим известным способом получения добавок в виде эфирных масел, является ограниченный химический состав веществ отгоняемых с водяным паром. При использовании этих способов потери БАВ составляют от 20 до 50 %. Немногочисленные отечественные и зарубежные фирмы по выпуску CO_2 -экстрактов нацелены на суммарный выход экстрактивных веществ или заняты получением кофеина из кофейных зерен и никотина из табачных листьев.

Целью исследований является разработка и адаптация к условиям действующего предприятия процесса экстракции флавоноидов из растительного сырья с использованием высоких газожидкостных технологий. Для выполнения в полном объеме поставленной цели решались основные важные задачи: определение уровня отбора и подготовки каротин и флавоноидсодержащего сырья для извлечения целевых компонентов; разработка основных параметров докритической CO_2 -экстракции, а также сверхкритической экстракции в присутствии сорастворителя; определение качественного и количественного состава полученных экстрактов.

При выполнении запланированных исследований использовались приборы находящиеся в Центре коллективного пользования, относящегося к Институту пищевой и перерабатывающей промышленности КубГТУ. В таблице приведены сведения о метрологическом обеспечении НИОКР.

Одной из особенностей этого способа является необходимость предварительной подготовки сырья, включая удаление влаги. Внимание отечественных ученых к работам по эффективному выделению из растительного сырья целевых компонентов свидетельствует об актуальности проблемы. В опубликованных авторами проекта статьях приведена информация о внедрении схем автоматического управления экстракционными процессами [1], приводятся примеры интенсификации процесса экстракции под воздействием электромагнитного поля низкой частоты [2]. Весомый цикл исследований выполнен по анализу особенностей экстрагирования веществ из сырья с помо-

щью докритического и флюидного диоксида углерода [3–5, 7]. Ряд авторов уделяют внимание разработке оборудования для осуществления процесса CO₂-экстракции [6, 19]. Часть технических решений авторов проекта относится к объектам интеллектуальной собственности [8, 17, 18]. К обкатке свежих инновационных идей относятся публикации участников научно-педагогической школы КубГТУ «Теория и практика обработки сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами» [9–13]. Повышенное внимание исследователей привлекает проблема бережного извлечения флавоноидов из матрицы лекарственных растений [14]. В работах сотрудников Самарского госуниверситета приведены данные об антиоксидантной и антирадикальной активности некоторых компонентов из растительного сырья [15, 16].

Таблица 1 – Метрологическое обеспечение этапов исследования

№ п.п.	Наименование оборудования	Фирма-изготовитель	Страна-производитель	Год выпуска	Назначение, метрологические характеристики
1	Аппарат моделирования технологических процессов (LR-2ST)	IKA	Германия	2011	Возможность регулировать в камере на 500 мл вакуум, давление и температуру
2	Прибор для спектрофотометрического анализа (UNICO-2800)	United Products&Instruments	США	2008	Определение состава антиоксидантов
3	Отечественный хроматограф Хроматэк-Кристалл 5000»	ЗАО «Хроматэк»	Россия	2010	Определение жирнокислотного состава продуктов и пестицидов
4	Хроматомасс-спектрометр (GCMS-QP2010NC Plus) (GCMS-QP2010NC Plus)	Шимадзу	Япония	2010	Определение состав органических и неорганических веществ.
5	Инфракрасный спектрометр с Фурье преобразованием (Spectrum Two)	Perkin Elmer	Англия	2011	Анализ состав пищевых продуктов, лекарств и органических соединений

Большие перспективы имеет технология суб- и сверхкритической экстракции компонентов из сельскохозяйственного сырья с использованием электромагнитного поля низкой частоты и ультразвука [20].

Обзор публикаций и патентов по тематике проекта показал перспективность выбранного научно-технического направления, относящегося к развитию высоких газожидкостных технологий управления процессами извлечения флавоноидов из растительного сырья. Биологически активные вещества, извлекаемые из растений с помощью газожидкостных технологий обладают высокой концентрацией, антиоксидантными и антирадикальными свойствами.

Новая технология отличается высокой экологичностью, так как основной экстрагент – диоксид углерода, после использования в качестве растворителя, подвергается регенерации и вновь обращается в цикл переработки, не загрязняя атмосферу.

Опытно-промышленная апробация новых технологических приемов выполнена в условиях производственного цеха ООО «НПП Плазма К» в 2019–2020 гг. При финансовой поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по программе Старт 2, на предприятии разработан и изготовлен экстракционный модуль, позволяющий проводить обработку сельскохозяйственного сырья жидким и флюидным (сверхкритическим) диоксидом углерода.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования служили пищевые и лекарственные растения, каротиноиды и флавоноиды, выделенные из растительного сырья. При этом использовали отечественное пищевое и лекарственное сырье, соответствующее требованиям Роспотребнадзора.

Объектами исследования выбраны растительные объекты с наибольшим содержанием суммы флавоноидов: боярышник пятипестичный *Crataegus pentagyna* Waldst et Kit, виноград *Vitis vinifera* L., зверобой *Hypericum perforatum* L, календула *Caléndula officínalis*, крапива двудомная *Urtica dioica*, луковая шелуха *Allium sera*, чабрец *Thymus serpyllum* L.

Методы исследования: содержание флавоноидов в экстрактах определяли методом цианидиновой пробы, реакций с хлоридом алюминия и железа, спиртовыми растворами гидроксидов. Для подтверждения результатов исследований использовали способ тонкослойной хроматографии на пластинах Sorbfil. Количественное содержание суммы флавоноидов определяли спектральным способом на приборе СФ-204. Выполненный авторами патентно-информационный поиск позволил выявить ранее не исследованные возможности выделения в неизменном, природном состоянии группу химических соединений, относящихся к классу полифенолов растительного происхождения – флавоноидов. Они не токсичны, обладают широким диапазоном терапевтических свойств, в связи с чем постоянно находятся в поле зрения фармакологов, фармацевтов, врачей-гигиенистов и технологов пищевых предприятий.

В состав флавоноидов входит обширный класс фенольных соединений с широкой амплитудой биологических свойств. Эволюционная адекватность флавоноидов организму человека является следствием антиоксидантных, ангиопротекторных, гепатопротекторных, желчегонных и нейротропных фармакологических свойств.

Необходим системный подход к анализу обоснованных технологий получения, исследования свойств, стандартизации и безопасности флавоноидсодержащих компонентов. При подготовке статьи авторами предпринята попытка устранить пробелы в области технологии получения из растительного сырья суммы флавоноидов, объединить в единый поток систему выделения и идентификации различных классов фенольных соединений. В таблице 2 приведены структурные формулы некоторых видов флавоноидов, идентифицированные в плодах.

Таблица 2 – Структурные формулы некоторых видов флавоноидов, присутствующих в выбранном для исследований растительном сырье

№	Соединение	Структурная формула
1	Кверцетин Брутто-формула: C₁₅H₁₀O₇ Химическое название: 3,3',4',5,7-Pentahydroxyflavone; 2-(3,4-Dihydroxyphenyl) Норма 17,9 мг/сут	
2	Кверцитрин Quercitrin Брутто-формула: C₂₁ H₂₀ O₁₁ Кверцитрин входит в состав красителя кверцитрона. гликозид, образованный из флавоноида кверцетина и дезоксисахара рамнозы	
3	Дигидрокверцетин 3,5,7,3',4'-пента-гидроксифлаванон Брутто-формула C₁₅H₁₂O₇ Молекулярная масса: 304,25. Растворяется в полярных растворителях натуральный биофлавоноид, витамин из группы Р.	
4	Рутин Rutoside Кверцетин 3- О рутинозид Брутто-формула: C₂₇H₃₀O₁₆ Извлекается из сырья изопропанолом и представляет собой порошок светло-желтого цвета. Растворяется в щелочных растворах	
5	Ресверотрол – транс- 3,5,4'-тригидроксистильбен Брутто-формула: C₁₄H₁₂O₃ Белое твердое вещество, растворяется в масле и спирте	

Приведенные в таблице 2 химические соединения присутствуют во многих видах флавоноид содержащего сырья.

Известна способность ряда флавоноидов подавлять жизнедеятельность патогенных микроорганизмов.

На рисунке 1 приведена зависимость оптической плотности некоторых флавоноидов от длины волны.

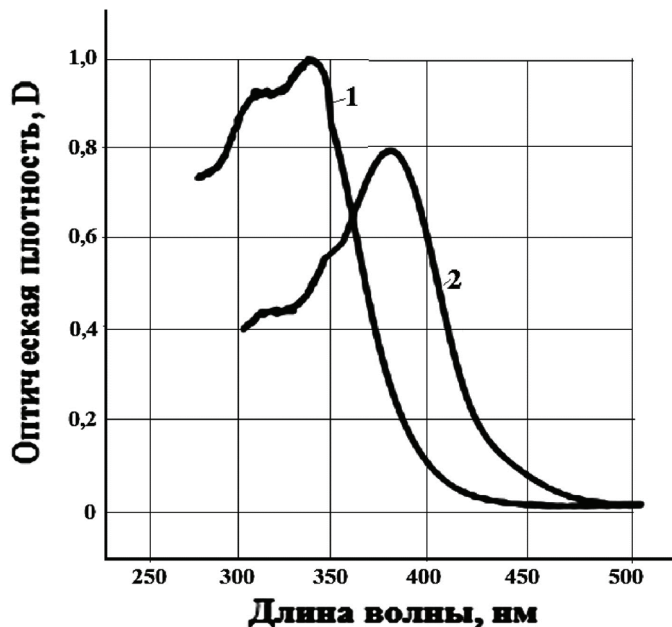


Рисунок 1 – Спектры поглощения изокверцитрина 1 и рутина 2

На рисунке 2 показаны спектры флавоноидсодержащих экстрактов.

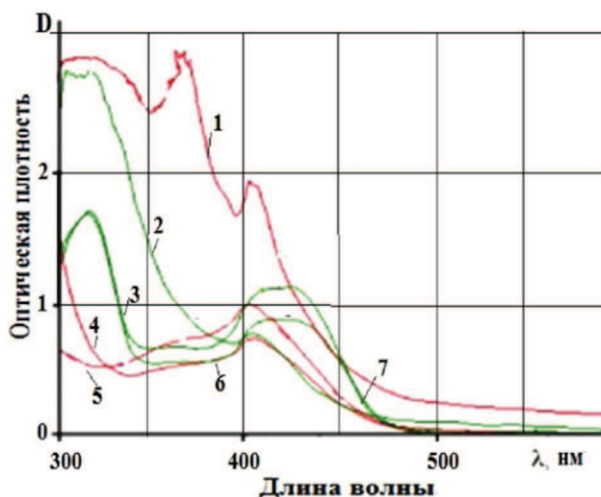


Рисунок 2 – Спектры поглощения флавоноидсодержащих экстрактов:
 1 – экстракт кожицы красного винограда, 2 – шелухи лука, 3 – плодов боярышника,
 4 – зверобоя, 5 – календулы, 6 – крапивы, 7 – чабреца

Относясь к группе сильных антиоксидантов, флавоноиды защищают клетки организма от воздействия свободных радикалов, основанном на разрыве цепочки реакций окисления. При отдаче протона, флавоноиды изменяют радикал до молекулярного продукта, а сами, в виде феноксил-радикала становятся химически не активными.

Результаты исследования

Экспериментальным путем установлено, что в боярышнике содержится витексин-2-рамнозид, гиперозид и рутин. В арсенале продуктов здорового пиания особенно

выделяется красный виноград, содержащий значительное количество антиоксидантов, дубильных веществ, органических кислот и ресвертрола. В различных частях красного винограда Мерло, кроме углеводов и органических кислот, обнаружены флавонолы в виде кверцетина, пента гидроксифлавона, кемпферола, мирицетина. В зверобое обнаружено содержание кверцетина, кверцитрина, рутина, биапигенина и изокверцитрина. В цветках календулы лекарственной обнаружен изокверцитрин, нарциссин, рутин и изорамнетин. В крапиве содержатся кверцетинпроизводные флавоноидов.

В шелухе лука содержится кверцитин и другие флавоноиды, антиоксиданты, каротиноиды, фитонциды.

В дальнейшей работе использовали возможности системного анализа для управления процессом получения флавоноидов.

При переходе на извлечение ценных компонентов из растительного сырья в сверхкритическом режиме появляется возможность извлекать из сырья большее количество экстрактивных веществ. На рисунке 3 приведена схема для сверхкритического экстрагирования флавоноидсодержащих компонентов из сырья.

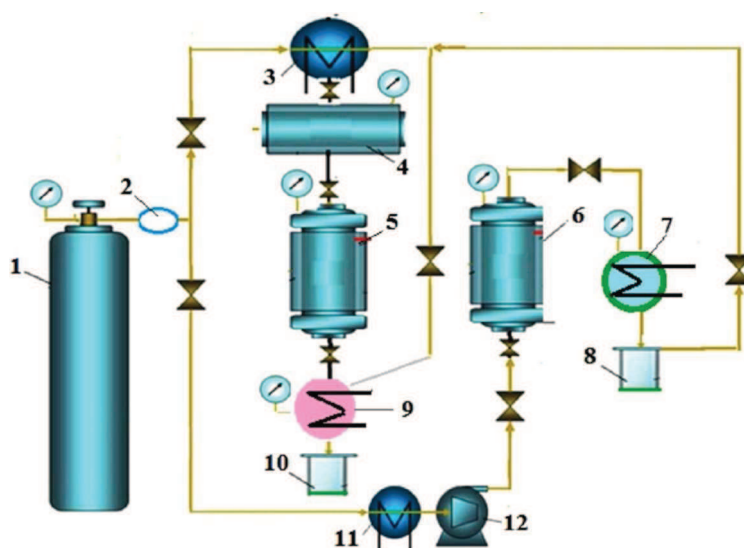


Рисунок 3 – Схема установки для сверхкритического экстрагирования веществ из растительного сырья: 1 – баллон с CO₂, 2 – редуктор; 3, 7, 9, 11 – теплообменники, 4 – конденсатор, 5 – докритический экстрактор, 6 – сверхкритический экстрактор, 8, 10 – сборники экстракта, 12 – насос высокого давления

Процессы до- и сверхкритической экстракции используются для получения ценных компонентов из пряно-ароматического сырья. Главным преимуществом CO₂-экстракции является возможность эффективно разделять жидкие гомогенные смеси.

В таблице 3 приведены результаты статистической обработки содержания флавоноидов.

Таблица 3 – Результаты статистической обработки содержания флавоноидов в экстрактах (n = 3, p = 0,95)

Вид сырья	Содержание ФЛ в пересчете на рутин, мкг/мл X _{ср} ± ΔX	Содержание ФЛ в пересчете на кверцетин, мкг/мл X _{ср} ± ΔX	Sr	Δx/x _{ср} %	Содержание флавоноидов в сырье, %
Боярышник	71,1±3,1	–	0,003	3	
Виноград, кожица	112±5,1	31,3±2,6	0,014	5	
Зверобой	77,2±3,2	–	0,004	4	
Календула	68,4±2,4	–	0,008	2	
Крапива	54,6±2,1	–	0,007	2	
Лук, шелуха	90,2±4,3	28,2±0,4	0,016	5	2,7
Чабрец	63,5±2,9	–	0,004	1	

Полученные экстракты отвечают требованиям безопасности ТР ТС. Для гарантированного выпуска высококачественных экстрактов поставлена задача усовершенствовать производственно-техническую базу экстракционного предприятия.

К результатам исследования относится возможность достижения и поддержания конкурентных преимуществ в качественном составе флавоноид и каротинсодержащих экстрактов, полученных на универсальной экстракционной установке.

Внедрение комплекса инновационных предложений потребовало от обслуживающего персонала профессиональных знаний и навыков.

Выводы

Проанализирована работа адаптивного экстракционного предприятия, сконцентрированное на повышении выхода флавоноидов из сырья за счет оригинальных инноваций на универсальном экстракционном модуле, при воздействии на процесс извлечения экстрактов ультразвука (20–22 кГц) и ЭМП низкой частоты (25–100 Гц), достигнута высокая концентрация основного компонента. Выполненное исследование позволило повысить выход суммы флавоноидов на 24–26 %, по сравнению с традиционными способами получения экстрактов. Установлена продолжительность срока хранения СО₂-экстрактов до 5 лет, по сравнению с двумя годами по существующему ТУ. Предложен инновационный способ препаративного получения нативных экстрактов флавоноидов путем ступенчатого повышения давления и температуры в экстракторе и использования соразтворителя. Выход СО₂-экстрактов из воздушно-сухого сырья составил от 1,3 до 30 %, плотность полученных экстрактов находилась в пределах от 0,8500 до 1,1200.

Внедрение результатов данных исследований будет способствовать успешной реализации Стратегии здорового питания населения Российской Федерации на период до 2025 года, одним из главных приоритетов которой является разработка новых конкурентоспособных импортозамещающих натуральных пищевых добавок из отечественного растительного сырья.

Литература

1. Занин Д.Е. Схемы автоматизированного управления процессом СО₂-экстракции // В сб. матер. междун. научно-практ. конф. «Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья; импортоопережение». – Краснодар : КубГТУ, 2016. – С. 117–121.
2. Занин Д.Е., Бахмет М.П., Мякинникова Е.И. Переработка пищевого сырья с применением энергии электромагнитных полей // В сб. матер. междун. научно-технич. конф. «Современные научные исследования и инновации в области применения суб-и сверхкритических технологий», 2014. – С. 38–40.
3. Занин Д.Е., Касьянов Д.Г. Интенсификация способа экстракции каротиноидов // В сборнике материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции «Повышение качества и безопасности пищевых продуктов». – 2018. – С. 155–157.
4. Занин Д.Е., Касьянов Д.Г. Исследование технологических режимов извлечения каротиноидов из растительного сырья // В сборнике материалов международной научно-практической конференции «Инновации в индустрии питания и сервисе». Электронный сборник материалов III Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – 2018. – С. 243–246.
5. Занин Д.Е., Касьянов Д.Г. Разработка технологии и оборудования для производства экстрактов с высокой концентрацией БАВ // В сборнике материалов международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и безопасность пищевых продуктов». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 135–140.
6. Занин Д.Е., Касьянов Д.Г. Разработка универсальной установки для экстрагирования БАВ в до и сверхкритическом режимах // В сборнике материалов международной научно-практической конференции «Технологические особенности производства и применения СО₂-экстрактов из растительного сырья». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 128–130.
7. Занин Д.Е., Марченко Л.А. Препаративная субкритическая и флюидная СО₂-экстракция // В сб. матер. междун. научно-практ. конф. «Инновационные технологии, оборудование и добавки для переработки сырья животного происхождения». – Краснодар, 2018. – С. 26–28.

8. Заявка на изобретение № 2019100143/10 Установка для экстракции растительного сырья. Авторы Занин Д.Е., Касьянов Д.Г. Заявлено 09.01.2019. Заявитель ООО «НПП Плазма К».
9. Иночкина Е.В. Повышение эффективности управления экстракционным предприятием // В сб. матер. междуна. научно-практ. конф. «Инновационные технологии, оборудование и добавки для переработки сырья животного происхождения». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 38–41.
10. Иночкина Е.В., Усатилов С.В., Касьянов Г.И. Модель процесса с кусочно-постоянными экстремальными для минимизации потерь витаминов при сушке бахчевых культур // Вестник ВГУИТ, 2017. – Т. 79. – № 2. – С. 37–45.
11. Иночкина Е.В., Усатилов С.В., Касьянов Г.И. Программа для построения регрессионной модели процесса комбинированной CO₂-сверхкритической и вакуумной СВЧ-сушки бахчевых культур // КубГТУ, св-во о госуд. регистрации № 2018618148, опубликовано 10.07.2018.
12. Касьянов Г.И., Мишкевич Э.Ю. Особенности экстракции ценных компонентов из эфиромасличного сырья сжиженным и сжатым диоксидом углерода // Научные труды КубГТУ, 2019. – № 1. – 8 с.
13. Препаративное CO₂-экстрагирование компонентов из растительного сырья / Г.И. Касьянов [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2016. – № 1. – С. 42–46.
14. Ломачко Е.В. Экстракция флавоноидов из лекарственного растительного сырья водными растворами поверхностно-активных веществ // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: сб. ст. по мат. XV междунар. студ. науч.-практ. конф. – № 1 (15). – URL : [http://sibac.info/archive/nature/1\(15\)](http://sibac.info/archive/nature/1(15)).
15. Макарова Н.В., Валиулина Д.Ф., Кирюшина В.А. Исследование содержания фенолов, флавоноидов, антиоксидантной силы и антирадикальной активности листьев шалфея рода *salvia tesquicola* (семейства яснотковые) // Химия растительного сырья. – 2020. – № 1. – С. 125–131.
16. Макарова Н.В., Игнатова Д.Ф., Еремеева Н.Б. Влияние технологии экстрагирования на содержание фенолов, флавоноидов и уровень антиоксидантной активности для плодов шиповника (*Rosa l.*), коры дуба (*Quercus robur l.*), корня ревеня (*Rheum officinale*), корня женьшеня (*Panax l.*), почек березы (*Betula l.*) // Химия растительного сырья. – 2020. – № 3. – С. 271–278.
17. Патент РФ № 2563991 Синергические комбинации каротиноидов и полифенолов / З. Моррис, Л. Рахель, П. Эстер, Ш. Йоав, Л. Иосеф. Заявка № 2011134652/15. Заявлено 19.01.2010, опубликовано 27.09.2015. Бюл. № 27.
18. Патент РФ на полезную модель № 160667 МПК В 01 D 11/00 Экстрактор для извлечения биологически активных компонентов из растительного сырья. Авторы: Занин Д.Е., Касьянов Д.Г., Метельская Е.А. 2015135817/05, 24.08.2015 Опубликовано: 27.03.2016 Бюл. № 9.
19. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021613279. Программа для поиска и анализа технологических режимов при производстве продуктов из животного сырья / Запорожский А.А., Касьянов Д.Г., Бородихин А.С., Мишкевич Э.Ю., Медведев А.М. Заявка № 2021612198, заявлено 25.02.2021, опубликовано 04.03.2021
20. Яралиева З.А., Касьянов Д.Г. Суб и сверхкритическая экстракция компонентов из сырья с использованием электромагнитного поля низкой частоты и ультразвука // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2021. – № 1 (66). – С. 23–28.

References

1. Zanin D.E. Schemes of automated control of CO₂-extraction process // In the collection of articles of the International Scientific-Practical Conference «Sustainable development, environmentally safe technologies and equipment for processing of food agricultural raw materials; import-optimization». – Krasnodar : KubGTU, 2016. – P. 117–121.
2. Zanin D.E., Bakhmet M.P., Myakinnikova E.I. Processing of food raw materials using the energy of electromagnetic fields // In the Proceedings of the International Scientific and Technical Conf. «Modern scientific research and innovation in the application of sub- and supercritical technologies», 2014. – P. 38–40.
3. Zanin D.E., Kasyanov D.G. Intensification of carotenoid extraction method // In the Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference «Improving the quality and safety of food». – 2018. – P. 155–157.
4. Zanin D.E., Kasyanov D.G. The study of technological modes of extraction of carotenoids from vegetable raw materials // In the Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Innovations in the food industry and service». Electronic collection of materials of the III International scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of «Kuban State Technological University». – 2018. – P. 243–246.

5. Zanin D.E., Kasyanov D.G. Development of technology and equipment for the production of extracts with a high concentration of BAS // In the Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Innovative technologies and food safety». – Krasnodar : KubGTU, 2018. – P. 135–140.
6. Zanin D.E., Kasyanov D.G. Development of a universal unit for the extraction of BAS in subcritical and supercritical modes // In the Proceedings of the international scientific conference «Technological features of the production and application of CO₂-extracts from vegetable raw materials». – Krasnodar : KubGTU, 2018. – P. 128–130.
7. Zanin D.E., Marchenko L.A. Preparative subcritical and fluid CO₂-extraction // In the collection of the proceedings of the international scientific and practical conference «Innovative technologies, equipment and additives for the processing of raw materials of animal origin». – Krasnodar, 2018. – P. 26–28.
8. Application for invention № 2019100143/10 Installation for extraction of vegetable raw materials. Authors Zanin D.E., Kasyanov D.G. Applied 09.01.2019. Applicant LLC «NPP Plasma K».
9. Inochkina E.V. Increasing the efficiency of extraction enterprise management // In the collection of articles of the International Scientific-Practical Conference «Innovative technologies, equipment and additives for processing raw materials of animal origin». – Krasnodar : KubGTU, 2018. – P. 38–41.
10. Inochkina E.V., Usatkov S.V., Kasyanov G.I. Process model with piecewise constant extremes to minimize vitamin losses during drying of melon crops // Vestnik VSUIT, 2017. – Vol. 79. – № 2. – P. 37–45.
11. Inochkina E.V., Usatkov S.V., Kasyanov G.I. Program for constructing a regression model of the process of combined CO₂-supercritical and vacuum microwave drying of melon crops // KubGTU, certificate of state registration № 2018618148, published 10.07.2018.
12. Kasyanov G.I., Mishkevich E.Yu. Features of extraction of valuable components from essential oil raw materials with liquefied and compressed carbon dioxide // Scientific Proceedings of KUBGTU, 2019. – № 1. – 8 p.
13. Preparative CO₂-extraction of components from vegetable raw materials / G.I. Kasyanov [et al.] // Izvestiya vuzov. Food technology. – 2016. – № 1. – P. 42–46.
14. Lomako E.V. Extraction of flavonoids from medicinal plant raw materials with aqueous solutions of surfactants // Scientific community of students of the XXI century. Natural Sciences: collected articles on Mat. XV International Student Scientific and Practical Conf. – URL : [http://sibac.info/archive/nature/1\(15\)](http://sibac.info/archive/nature/1(15)).
15. Makarova N.V., Valiulina D.F., Kiryushina V.A. Study of phenols, flavonoids, antioxidant power and anti-radical activity of leaves of sage genus salvia tesquicola (family clematis) // Chemistry of vegetable raw materials. – 2020. – № 1. – P. 125–131.
16. Makarova N.V., Ignatova D.F., Ereneyeva N.B. Effect of extraction technology on the content of phenols, flavonoids and the level of antioxidant activity for the fruit of rose hips (*Rosa l.*), oak bark (*Quercus robur l.*), rhubarb root (*Rheum officinale*), ginseng root (*Panax l.*), birch buds (*Betula l.*) // Chemistry of plant raw materials. – 2020. – № 3. – P. 271–278.
17. Patent of Russian Federation № 2563991 Synergistic combinations of carotenoids and polyphenols / Z. Morris, L. Rachel, P. Ester, S. Yoav, L. Iosef. Application № 2011134652/15. Application 19.01.2010, published 27.09.2015. Bulletin № 27.
18. Patent of the Russian Federation for a useful model № 160667 IPC B 01 D 11/00 Extractor for extraction of biologically active components from plant raw materials. Authors: Zanin D.E., Kasyanov D.G., Metelskaya E.A. 2015135817/05, 24.08.2015 Published: 27.03.2016 Bulletin № 9.
19. Registration certificate for computer program No. 2021613279. Program for search and analysis of technological modes of production of products from animal raw materials / Zaporozhsky A.A., Kasyanov D.G., Borodikhin A.S., Mishkevich E.Yu., Medvedev A.M. Application № 2021612198, filed 25.02.2021, published 04.03.2021
20. Yarialieva Z.A., Kasyanov D.G. Sub and supercritical extraction of components from raw materials using low frequency electromagnetic field and ultrasound // Technology and merchandising of innovative food products. – 2021. – № 1 (66). – P. 23–28.