

УДК 664.8: 661.971.9

ПУТЬ ОТ ИННОВАЦИОННОЙ ИДЕИ К ЗАПУСКУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

THE WAY FROM AN INNOVATIVE IDEA TO THE LAUNCH OF PRODUCTION LINES

Медведев А.М.

Кубанский государственный
технологический университет
aleks-kubstu@yandex.ru

Иночкина Е.В.

Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Выполнен экскурс в историю обработки растительного и животного сырья сжиженными и сжатыми газами, от идеи до промышленной реализации разработанной технологии. Цель исследований заключается в разработке методов и средств системного анализа для эффективного извлечения ценных компонентов из растительного сырья сжиженными и сжатыми газами. Объектами исследования выбраны разработанные с участием авторов схемы суб и сверхкритического CO₂-экстрагирования целевых компонентов из сельскохозяйственного сырья. Научная новизна работы заключалась в использовании методов метасистемного анализа процессов массотеплопереноса в газожидкостных экстракционных установках, позволяющих иерархическим перебором существующих альтернатив отобрать приемлемые варианты технического оснащения экстракционных предприятий. Практическая значимость работы опирается на реализацию теоретических разработок в условиях действующего экстракционного цеха ООО «Компания Караван», методика оценки сложности экстракционных процессов и эффективности интегрированных технических решений.

Ключевые слова: инновационные идеи, газожидкостная экстракция, диоксид углерода, субкритическая экстракция, флюидное экстрагирование.

Medvedev A.M.

Kuban state technological university
aleks-kubstu@yandex.ru

Inochkina E.V.

Kuban state technological university

Annotation. An excursion into the history of processing plant and animal raw materials with liquefied and compressed gases, from the idea to the industrial implementation of the developed technology. The aim of the research is to develop methods and means of system analysis for the effective extraction of valuable components from plant raw materials by liquefied and compressed gases. The objects of the study were selected schemes of sub and supercritical CO₂ extraction of target components from agricultural raw materials developed with the participation of the authors. The scientific novelty of the work was the use of methods of metasystem analysis of mass-heat transfer processes in gas-liquid extraction plants, allowing hierarchical search of existing alternatives to select acceptable options for technical equipment of extraction enterprises. The practical significance of the work is based on the implementation of theoretical developments in the conditions of the existing extraction shop of LLC «company Caravan», the methodology for assessing the complexity of extraction processes and the effectiveness of integrated technical solutions.

Keywords: innovative ideas, gas-liquid extraction, carbon dioxide, subcritical extraction, fluid extraction.

Введение

Поиск стоящей технологической идеи занимает длительный период времени. Это не обязательно вспышка или озарение, а кропотливый аналитический анализ научно-технической и патентной литературы. Проиллюстрируем путь от инновационной идеи до внедрения разработок в производство, на примере достижений ученых и специалистов созданной при КубГТУ научно-педагогической школы «Теория и практика обработки сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами».

История создания школы имеет сорокалетний возраст. У истоков ее создания находился канд. техн. наук Александр Васильевич Пехов, успешно развивший идею Бориса Сергеевича Алаева об использовании сжиженных газов в качестве растворителей. У их последователей в Краснодарском политехническом институте появилась возможность придать фантазийной идеи практическое наполнение [1, 2].

Исследователи прошли долгий путь от теории к практической реализации ранее выдвинутой идеи. Предложен способ CO₂-пастеризации тропических плодов [3]. Раз-

работана технология производства продуктов геродиетического назначения [4]. Описаны технологические приемы обогащения паштетов и фаршей концентрированными фитопрепаратами [5, 6]. Сконструирована установка для газожидкостной экстракции растительного и животного сырья, внедренная в цехе экстракции ООО «Компания Караван» [7]. Оптимизацию процессов подготовки сырья к CO₂-экстракции и режимов сверхкритической экстракции осуществляли способами математического планирования эксперимента [8]. Проанализирован уровень оптимального управления экстракционным предприятием с позиций системного анализа [9–11].

Своеобразное подведение итогов работы научно-педагогической школы выполнено на международной научно-практической конференции в г. Краснодаре [12, 13].

Актуальность

Исследований определяется уникальными свойствами диоксида углерода как экстрагента, находящегося в различных фазовых состояниях. В отличие от ранее применяемых для извлечения ценных компонентов из сырья спиртов, кетонов и эфиров, сжиженный или сжатый до высоких давлений диоксид углерода обладает экологической чистотой и полностью удаляется из полученных с его помощью экстрактов.

Единый растворитель позволяет объединить производственные процессы в единую технологическую схему с использованием специализированного оборудования. Применение гибких технологических модулей дает возможность сравнительно легко переходить к различным по структуре видам растительного и животного сырья.

Цель

Заключается в разработке методов и средств системного анализа для эффективного извлечения ценных компонентов из растительного сырья сжиженными и сжатыми газами.

Для выполнения намеченной цели и снижения противоречий состояния теории и экстракционной практики, запланировано решение нескольких задач научного и практического характера:

- проанализировать современное состояние проблем газожидкостной экстракции;
- разработать архитектуру способов извлечения ценных компонентов из сырья методами метасистемного анализа;
- разработать схему подбора экстракционного оборудования;
- разработать структурную схему процесса сверхкритической экстракции;
- обосновать стратегию выбора суб или сверхкритического способа экстрагирования;
- оценить эффективность действующих экстракционных установок.

Объектами исследования выбраны разработанные с участием авторов схемы суб и сверхкритического CO₂-экстрагирования целевых компонентов из сельскохозяйственного сырья.

В числе используемых методов исследования методы компьютерного моделирования и системного анализа, оптимального управления процессами экстрагирования.

Новизна работы заключалась в использовании методов метасистемного анализа процессов массотеплопереноса в газожидкостных экстракционных установках, позволяющих иерархическим перебором существующих альтернатив отобрать приемлемые варианты технического оснащения экстракционных предприятий.

К практической стороне работы относится реализация теоретических разработок в условиях действующего экстракционного цеха ООО «Компания Караван», методика оценки сложности экстракционных процессов и эффективности интегрированных технических решений.

Результаты исследований

Проиллюстрируем путь от инновационной идеи экологически чистого процесса препаративного извлечения целевых компонентов из сырья к запуску опытно-промышленных технологических линий, на примере процесса CO₂-экстракции.

С целью выбора оптимальных решений предложен комплексный критерий эффективности технологий, по формуле:

$$K_{эф} = Y + \beta_1 \cdot Z + \beta_2 \cdot V, \quad (1)$$

где Y – удельный эффект; β – коэффициент весомости; Z – коэффициент сочетаемости; V – коэффициент внедрения.

Величина $K_{эф}$ характеризует эффективность выбранной технологии.

Техническое оснащение технологического процесса экстрагирования ценных компонентов из разнообразного сырья можно выразить уравнением Колмогорова:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial \omega}{\partial X} + \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial X^2} = f(t), \quad (2)$$

где ω – плотность вероятности превышения рыночной стоимостью X данного экстракта себестоимости его изготовления; a – коэффициент сноса; b – коэффициент диффузии; $f(t)$ – возмущающее воздействие.

Уравнение (2) можно преобразовать в следующий вид:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial \omega_1}{\partial X} + \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial X^2} = f(t) + u(X, t). \quad (3)$$

Если вместо $f(t)$ взять его выражение из (2), то получим, после преобразования, следующее уравнение:

$$\frac{\partial(\omega - \omega_1)}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial(\omega - \omega_1)}{\partial X} + \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2(\omega - \omega_1)}{\partial X^2} = u(X, t). \quad (4)$$

Если принять упрощение $s = \omega - \omega_1$, то уравнение примет вид:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial s}{\partial X} + \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2 s}{\partial X^2} = u(X, t). \quad (5)$$

Определим затраты управляющих воздействий на процесс экстракции, приняв что критерии оптимальности выражаются суммой потерь с коэффициентом q :

$$F = \int_0^{\tau} (qs^2 + u^2) dt \rightarrow \min. \quad (6)$$

В описанном случае задача оптимизации процесса CO_2 -экстрагирования веществ из сырья выражается критерием (6).

На рисунке 1 показаны особенности извлечения ценных компонентов из сырья способами системного анализа.

Показанные на рисунке 1 два вида экстракционных технологий существенно отличаются друг от друга. При извлечении компонентов из растительного сырья диоксидом углерода в субкритическом состоянии, можно получать CO_2 -экстракты с полным сохранением полезных свойств исходного сырья. Это происходит из-за того, что процесс извлечения БАВ из сырья осуществляется при плюсовой комнатной температуре (18–25 °С).

Сверхкритический режим получения экстрактов используют в том случае, когда нет необходимости сохранить в экстракте термолабильные вещества, разрушающиеся при температуре от 40 до 60 °С. Выход экстрактивных химических компонентов из сырья в этом случае в 1,5–2,0 раза выше, чем при субкритической экстракции.

Обозначенный путьот инновационной идеи к запуску технологических линий можно разбить на несколько этапов.

1. Зарождение идеи совпало с потребностью экстракционной отрасли промышленности подобрать экологически безопасный, легко удаляемый из продукта, экстрагент.
2. Необходимо подобрать линейку экстракционных установок разной мощности.
3. Оценить преимущества и недостатки суб и сверхкритической экстракции.

Извлечение ценных компонентов из сырья диоксидом углерода

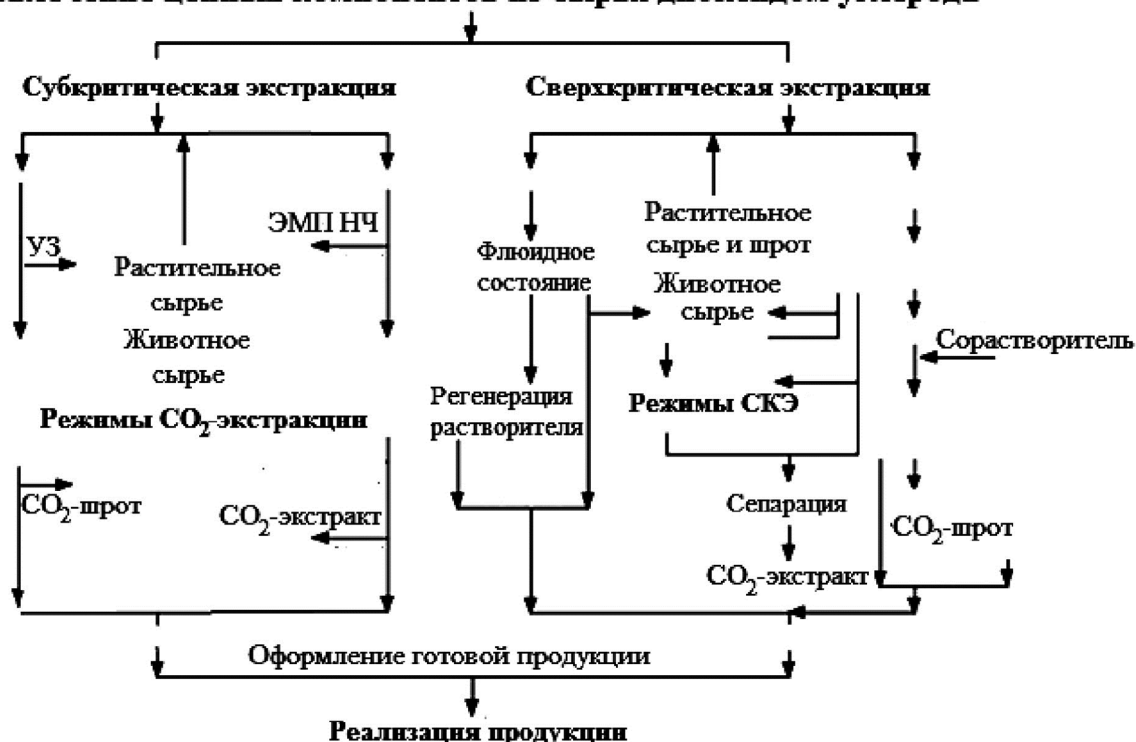


Рисунок 1 – Особенности извлечения ценных компонентов из сырья способами системного анализа

На рисунке 2 приведена схема разработки и подбора экстракционного оборудования.



Рисунок 2 – Схема разработки и подбора экстракционного оборудования

На рисунке 3 приведена структурная схема процесса сверхкритической экстракции.

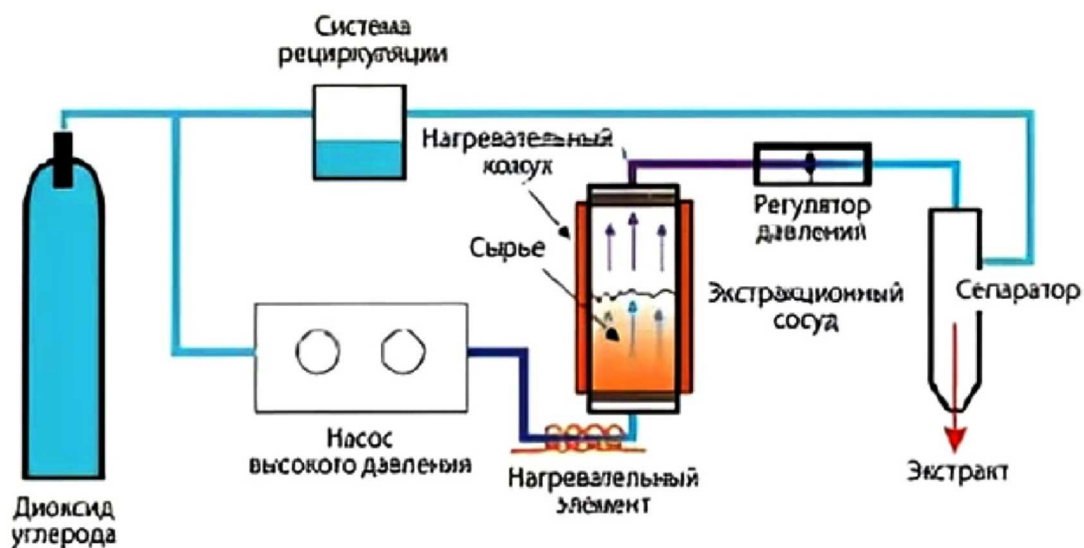


Рисунок 3 – Структурная схема процесса сверхкритической экстракции

На рисунке 4 показана аппаратная схема сверхкритической флюидной экстракции.

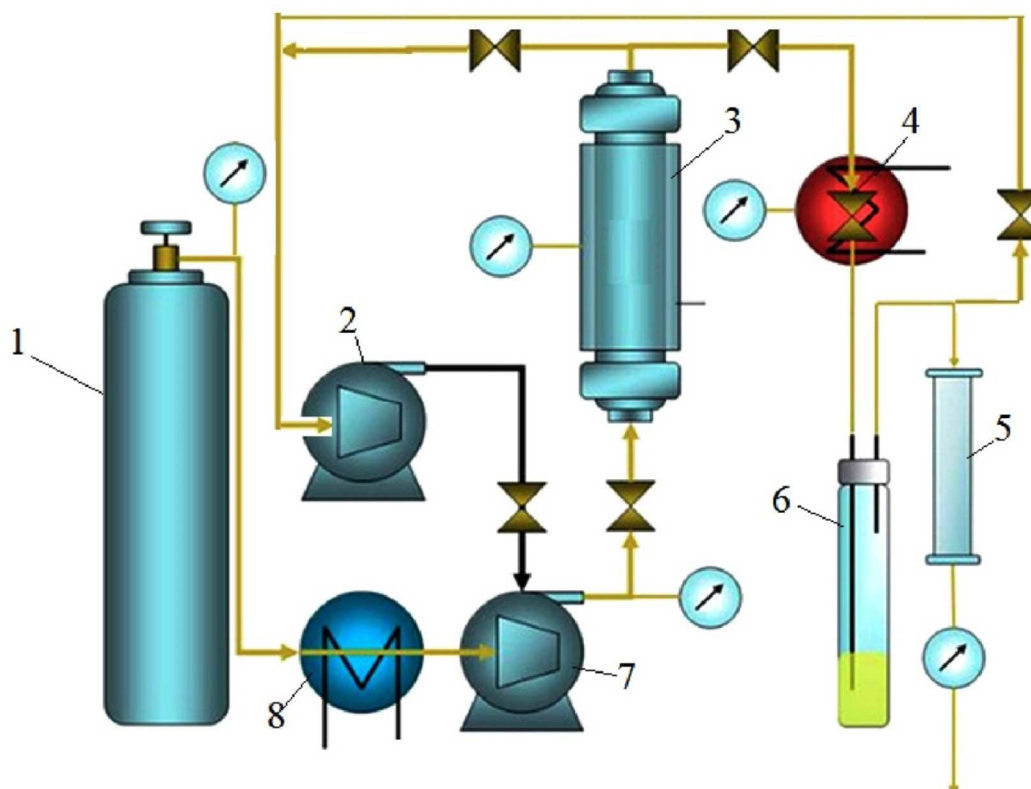


Рисунок 4 – Аппаратурная схема сверхкритической флюидной экстракции:
1 – баллон с жидким диоксидом углерода; 2, 7 – насосы высокого давления;
3 – экстрактор; 4, 8 – теплообменники; 5, 6 – сборники

На рисунке 5 приведен внешний вид установок для субкритической CO₂-экстракции. Особенность экстракторов, работающих под высоким давлением, заключается в наличии самоуплотняющихся затворных люков.



Рисунок 5 – Внешний вид установок для субкритической CO₂-экстракции

На рисунке 6 показан фрагмент цеха экстракции ООО «Компания Караван».

Роль личности руководителя предприятия во внедрении прогрессивных идей в производство наглядно демонстрирует президент ООО «Компания Караван» Латин Николай Николаевич.



Рисунок 6 – Фрагмент цеха экстракции ООО «Компания Караван»

В настоящее время экстракционный цех ООО «Компания Караван» является головной организацией Межрегионального научного центра «Экстракт Продукт» и практически единственным предприятием, выжившим в сложные перестроечные годы.

Заключение

В работе проанализированы исторические аспекты обработки растительного и животного сырья сжиженными и сжатыми газами, с позиций Краснодарской научно-педагогической школы по газожидкостной обработке сельскохозяйственного сырья. Суть выполненных авторами исследований заключается в разработке методов и средств системного анализа для эффективного извлечения ценных компонентов из растительного сырья сжиженными и сжатыми газами. Объектами исследования выбраны разработанные с участием авторов схемы суб и сверхкритического CO₂-экстрагирования целевых компонентов из сельскохозяйственного сырья.

Эффективность выполненных исследований заключается в использовании методов метасистемного анализа процессов массотеплопереноса в газожидкостных экстракционных установках, позволяющих иерархическим перебором отобрать из существующих альтернатив приемлемые варианты технического оснащения экстракционных предприятий. Практическая значимость работы основана на реализации теоретических разработок в условиях действующего экстракционного цеха ООО «Компания Караван», методика оценки сложности экстракционных процессов и эффективности интегрированных технических решений.

Литература:

1. Касьянов Г.И. Исследование технологии получения и применения CO₂-экстрактов пряностей для ароматизации рыбных продуктов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар : Краснодарский политехнический институт, 1975. – 28 с.
2. Касьянов Г.И. Технология CO₂-обработки растительного сырья. Теория и практика : дис. ... докт. техн. наук в виде научного доклада. – М. : РАСХН, 1994. – 58 с.
3. Пат. № 2039474 РФ, МПК-А 23 L 2/02. Способ производства нектара «Комби» из тропических плодов / В.А. Ломачинский, Л.М. Горелова, О.И. Квасенков, Г.И. Касьянов, В.И. Рогачев; № 93005484/13; заявл. 02.02.1993. – Оpubл. 20.07.95. – Бюл. № 20. – 4 с.
4. Пат. № 2156587 РФ, МПК-А23 L 1/29, 1/314. Консервы для геродиетического питания / О.И. Квасенков, Е.А. Юшина, А.А. Запорожский, Г.И. Касьянов; № 99117352/13; заявл. 09.08.1999. – Оpubл. 27.09.2000. – Бюл. № 27. – 4 с.
5. Безуглова А.В., Касьянов Г.И, Палагина И.А. Технология производства паштетов и фаршей. – Ростов н/Д. : Издат. центр МарТ, 2004. – 304 с.
6. Касьянов Г.И. [и др.]. Использование фитопрепаратов в технологии мясопродуктов профилактической направленности // Известия вузов. Пищевая технология. – 2009. – № 4. – С. 41–43.
7. Пат. РФ на полезную модель № 93295. МПК В 01 D 11/02. Установка для газожидкостной экстракции растительного и животного сырья / Е.П. Франко, Г.И. Касьянов, В.С. Коробцын; заявка № 2010104160/22; Заявлено 08.02.2010. – Оpubл. 27.04.2010.
8. Свидетельство о гос. регистрации Программы для ЭВМ № 2018618148. Программа для построения регрессионной модели процесса комбинированной CO₂-сверхкритической и вакуумной СВЧ-сушки бахчевых культур / Е.В. Иночкина, С.В. Усатиков, Г.И. Касьянов. – Оpubл. 10.07.2018.
9. Силинская С.М. Системный анализ современного производства CO₂-экстрактов / сборник материалов международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и безопасность пищевых продуктов». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 216–220.
10. Иночкина Е.В., Силинская С.М. Повышение эффективности управления экстракционным предприятием с позиций системного анализа / сборник материалов международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, оборудование и добавки для переработки сырья». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 41–44.
11. Силинская С.М. Разработка интенсивной технологии получения купажированных CO₂-экстрактов из растительного сырья методами до- и сверхкритической экстракции : автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Краснодар : КубГТУ, 2006. – 24 с.
12. Касьянов Г.И. Итоги работы научно-педагогической школы «Теория и практика обработки сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами» / сборник материалов междунар. научно-практической конференции «Технологические особенности производства и применения CO₂-экстрактов из растительного сырья». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 14–17.
13. Технологические особенности производства и применения CO₂-экстрактов из растительного сырья / сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного технологического университета. – Краснодар : Экоинвест, 2019. – 234 с.

References:

1. Kasyanov G.I. Research of technology of reception and application of CO₂-extracts of spices for aromatization of fish products : autoref. ... Cand. of Engineering Sciences. – Krasnodar : Krasnodar Polytechnic Institute, 1975. – 28 p.
2. Kasyanov G.I. Technology of CO₂-processing of the plant raw materials. Theory and practice : dis. ... Doctor of Engineering Sciences in the form of a scientific report. – M. : KHAN, 1994. – 58 p.

3. Pat. № 2039474 of the Russian Federation, MPK-A 23 L 2/02. Method of production of «Combi» nectar from tro-pic fruits / V.A. Lomachinskiy, L.M. Gorelova, O.I. Kvasenkov, G.I. Kasyanov, V.I. Roga-Chev; № 93005484/13; declared. 02.02.1993. – Obl. 20.07.95. – Bulletin № 20. – 4 p.
4. Pat. № 2156587 RF, MKP-A23 L 1/29, 1/314. Canned food for heroic nutrition / O.I. Kvasenkov, E.A. Yushina, A.A. Zaporozhsky, G.I. Kasyanov; № 99117352/13; declared. 09.08.1999. – Obl. 27.09.2000. – Bulletin № 27. – 4 p.
5. Bezuglova A.V., Kasyanov G.I., Palagina I.A. Production technology of pâtés and minced meat. – Rostov n/d. : Publishing center MarT, 2004. – 304 p.
6. Kasyanov, G.I. [et al.]. Use of phytopreparations in the technology of preventive meat products // Izvestiya vuznesheniya. Food technology. – 2009. – № 4. – P. 41–43.
7. Pat. Russian Federation for utility model № 93295. MPC B 01 D 11/02. Installation for gas-liquid-wall extraction of plant and animal raw materials / E.P. Franko, G.I. Kasyanov, V.S. Korobitsyn; application № 2010104160/22; Declared 08.02.2010. – Obl. 27.04.2010.
8. Certificate of state registration of Computer Programme № 2018618148. Program for the construction of the regression model of the process of the combined CO₂-super-critical and vacuum microwave drying of the melon crops / E.V. Inochkina, S.V. Usatkov, G.I. Kasyanov. – Obl. 10.07.2018.
9. Silinskaya S.M. System analysis of modern production of CO₂-extracts / collection of materials of the international scientific-practical conference «Innovative technologies and food safety». – Krasnodar : Kuban State Technical University, 2018. – P. 216–220.
10. Inochkina E.V., Silinskaya S.M. Increase of efficiency of management of the extraction-online enterprise from the position of the system analysis / collection of materials of the international scientific-practical conference «Innovative technologies, equipment and additives for raw materials processing». – Krasnodar : KubGTU, 2018. – P. 41–44.
11. Silinskaya S.M. Development of intensive technology for obtaining blended CO₂-extracts from plant raw materials by methods of pre- and supercritical extraction : autoref. ... Cand. of Technical Sciences. – Krasnodar : KubGTU, 2006. – 24 p.
12. Kasyanov G.I. Results of the work of the scientific-pedagogical school «Theory and practice of agricultural raw materials processing with liquefied and compressed gases» / collection of materials of the inter-international scientific-practical conference «Technological peculiarities of production and application of CO₂-extracts from plant raw materials». – Krasnodar : Kuban State Technical University, 2018. – P. 14–17.
13. Technological peculiarities of production and application of CO₂-extracts from plant raw materials / collection of materials of the international scientific-practical conference, dedicated to the 100th anniversary of the Kuban State Technological University. – Krasnodar : Ecoinvest, 2019. – 234 p.