

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий»

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**Материалы XV Юбилейной Международной
научно-технической конференции**

19 – 20 апреля 2023 года

В двух томах

Том 1

Могилев
БГУТ
2023

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE PROCESS OF CO₂-EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM RAW MATERIAL

**Majidova N.K., Mirzaeva Sh.U., Barnoyeva S.S.
Bukhara Engineering Technological Institute
Bukhara, Uzbekistan**

The aim of the work is to experimentally study the effect of pressure, temperature and time of supercritical CO₂ (SC-CO₂) extraction on the yield of extractives from local raw materials - licorice root.

The main factors influencing the extraction process of licorice root are taken as follows: T - is the temperature of the extractant (°C), τ - is the duration of extraction (min), P - is the pressure of the extractant (MPa).

The experimental conditions were as follows: pressure 7,5-9,5 MPa, temperature from 31°C to 41°C, extraction duration 90-150 minutes. The extract yield Y_{yield} (%) is taken as the sought function.

The implementation of the intensified process of licorice root extraction is associated with obtaining calculated equations that allow determining the duration of the extraction process and rational parameters of the extraction mode. For this purpose, we have applied the method of planning multifactor experiments.

A generalized equation has been determined that describes the process of CO₂ extraction of licorice roots, with the help of which it is possible to reveal the degree of influence of each investigated factor (extractant temperature, process duration, extractant pressure) on the final result, which is necessary to optimize the process.

Experimental part. The main factors influencing the extraction process of licorice root are taken as follows: T - is the temperature of the extractant (°C), τ - is the duration of extraction (min), P - is the pressure of the extractant (MPa) [1].

The limits of variation of the factors are selected based on the analysis of the results of preliminary experiments to study the process of CO₂ extraction of plant materials.

The extract yield Y_{yield} (%) is taken as the sought function.

The structure of the matrix is such that during all experiments, each level of any factor meets once with each level of all other factors, for this each level of each factor is set in the experiments as many times as the levels are accepted. This achieves the averaged effect of any factor, i.e.

Determination of the significance of private functions. In order to make a judgment about the degree of validity of the adopted parameters, we determined their significance. In accordance with the provisions of mathematical statistics and probability theory, functions describing the process are divided into significant and insignificant. If the function is insignificant, then the interval of its change does not go beyond the admissible scatter of experimental data, i.e. is within the confidence interval.

We determine the significance of partial dependence functions using the coefficient of nonlinear multiplier correlation R:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1) \cdot \sum_1^N (Y_{exp} - Y_{cal})^2}{(N-k-1) \cdot \sum_1^N (Y_{exp} - Y_{av})^2}} \quad (1)$$

where N - is the number of described points (N = 5); k - is the number of operating factors (k = 1); Y_{exp} - experimental result; Y_{cal} - theoretical (calculated) result; Y_{av} - average experimental value.

The significance is determined by the formula:

$$t_R = \frac{R\sqrt{N-k-1}}{1-R^2} \quad (2)$$

To obtain the equation of the technological process of CO₂ - extraction of licorice roots, the formula proposed by M.M. Protodyakonov]:

$$Y_p = \frac{\prod_{i=1}^n Y_i}{Y_{av}^{n-1}} \quad (3)$$

where Y_p - is a generalized function; Y_i - is a partial function; $\prod_{i=1}^n Y_i$ - product of partial functions; Y_{av}ⁿ⁻¹ - the total average of all the values of the generalized function taken into account, in power by one less than the number of partial functions.

According to formula (3), generalized equations describing the process of supercritical CO₂ extraction of licorice roots are defined.

For Y_{yield}:

$$Y_{yield} = \frac{(41,772+4,176 \cdot x-0,058 \cdot x^2) \cdot (10,537+0,336 \cdot x-0,0001 \cdot x^2)}{32,492 \cdot (75,080-0,2211 \cdot x+7257 \cdot x^2)^{-1}} \quad (4)$$

Based on the tabular data, the correlation coefficients for the generalized equation (4) are found.

For equation (4), the correlation coefficient for temperature T is R = 0,67 and its significance t_R = 2,105, for pressure R = 0,77 and its significance t_R = 3,386, for the extraction time R = 0,87 and its significance t_R = 2,012. The data presented indicate the adequacy of the generalized equation (4) [1].

Conclusions. The resulting equation (4) makes it possible to determine with sufficient accuracy the yield of extractives from licorice roots of local origin under the conditions of SC-CO₂-extraction in the investigated range of changes in factors. Using equation (4), it is possible to identify the degree of influence of each investigated factor (extractant temperature, process duration, extractant pressure) on the final result, which is necessary to optimize the process [1-5].

List of sources used

1.X.F. Djuraev, K.Kh. Gafurov, B.T. Mukhamadiev, J. Jumaev, Sh.U. Mirzaeva, The influence of technological parameters on the process of CO₂-extraction of biologically active substances from licorice root. // The American journal of applied science, Volume 2, 2020. P. 273-286.

2.Sh.U. Mirzaeva. Extraction of Glycyrrhizic Acid from Licorice Root using CO₂. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Volume 6, Issue 4, April 2019, India, - P. 8939-8946.

3.K. Gafurov, B. Muhamadiev, Sh.U. Mirzaeva, Production ingredients from plant raw materials by CO₂ extraction, Lambert Academic Publishing, Монография, 2018. - P. 70-93.

4.K. Gafurov, B. Muhammadiev, Sh. Mirzaeva, F. Kuldosheva. Obtaining extracts from plant raw materials using carbon dioxide. // Food Science and Technology, Odessa Scientific and Production Journal, Vol. 14 No. 1 (2020), [C. 47-53., \(1\) Web of Science](#)

5.Sh. U. Mirzaeva., J.V. Mirzaev. The technological performance CO₂ in supercritical fluids state. // Innovations in the food industry and service Electronic collection of materials of the IY International Scientific and Practical Conference. Krasnodar. 2020, pp. 196-199.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС СО₂ – ЭКСТРАКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ.

Мажидова Н.К., Мирзаева Ш.У.
Бухарский инженерно-технологический институт,
г. Бухара, Республика Узбекистан

В статье приводятся экспериментальные данные, полученные в результате экстракции сверхкритическим диоксидом углерода (СК-СО₂) различных сортов виноградных косточек, семян дыни, тыквы, арбуза и корней солодки, а также сравнительный их анализ при различных значениях термодинамических параметров – температуры и давления. Оказалось, что в каждом случае условия СК-СО₂ экстракции различаются друг от друга, а соответствующие экстракты – по своему химическому составу. Были исследованы СК-СО₂ фракции из молотых семян дыни, тыквы и арбуза, а также корней солодки, являющиеся перспективным сырьём для получения масла и полифенольного комплекса, которые служат ингредиентами производства косметологических средств, внедряются в медицинскую практику и служат биологически активными добавками. Разработаны режимы обработки, определяющие максимальный выход экстрактивных веществ различных видов растительного сырья.

Сравнительное изучение процесса СК-СО₂ экстракции ингредиентов из различных видов растительного сырья показало изменение критических параметров СК-СО₂, в результате чего наступает высокий выход экстракта за счет высокой растворяющей способности флюида при параметрах, намного выше критических для СК-СО₂. При этом некоторые компоненты могут как ухудшать, так и улучшать процесс экстракции [1].

Одно из наиболее важных свойств СК СО₂ – это способность растворять вещества. Изменяя Т и Р флюида можно менять его свойства в широком диапазоне. Так, можно получить флюид, по свойствам близкий либо к жидкости, либо к газу. Растворяющая способность флюида увеличивается с увеличением плотности (при Т = const). Поскольку плотность возрастает с увеличением давления, то меняя давление можно влиять на растворяющую способность флюида (при Т = const).

$$T_{\text{к}}(\text{микс}) = (\text{моль. доля А}) \times T_{\text{к}} \text{ А} + (\text{моль. доля В}) \times T_{\text{к}} \text{ В}$$

Целью исследований является сопоставительный анализ показателей качества липофильных фракций растительного сырья. Семена винограда (*Vitis Vinifera L*) различных винодельческих сортов, тыквы и солодковый корень, являющиеся перспективным сырьём для получения масла и полифенольного комплекса, которые служат ингредиентами производства косметических средств, внедряются в медицинскую практику и служат БАД.

Состав экстрактивных веществ виноградных косточек: монотерпены, сесквитерпены, ароматические соединения, спирты, сложные эфиры, высшие органические кислоты, циклические углеводороды. Полувысыхающие масла из виноградных косточек получали следующим образом. Виноградные косточки отделяют, отмывают от углеводов и плодовой пульпы, сушат, сепарируют, перемалывают и прессуют, экстрагируют. Прессование проводят под давлением 6-11 КПа при Т=323 К. Экстрагируют с помощью СК-СО₂. Основные жирные кислоты масла – линолевая (60-80%), олеиновая (16-12%), а также обнаруживается 0,2% арахидановой, 0,5% линоленовой кислот.

Масло из семян тыквы, дыни и арбуза раньше получали методом холодного прессования. В настоящее время показана возможность получения из них масла СК-СО₂ (МХТИ) экстракцией. В составе масла из них обнаружены миристиновая, пальмитиновая, линоленовая, арахидоновая, олеиновая (50-70%), линолевая (20-40%) кислоты, а также фосфолипиды и токоферолы.

В корнях и корневищах солодки найдены тритерпеновый сапонин, глицирризин (23%), ряд флавоноидов (ликвиритин, ликворотозид и др.), ситостерин, крахмал, сахароза, глюкоза, манит, слизи, камеди, аскорбиновая кислота (витамин С). Важнейшей составной частью солодкового корня является глицирризин (глюкозидглицирризиновая кислота или лакричный сахар,) находящийся главным образом в форме калиевой или кальциевой соли и именно этот компонент придает сладкий вкус лакрице – она в 50-200 раз слаще сахара. Глицирризин в коммерческих экстрактах солодки содержится в количестве от 5 до 18 %.

Перед СК-СО₂ экстракции молотые семена и лепестки корня солодки подвергали влаготепловой обработке в автоклаве марки «Astell» (Голландия) при 4-х режимах: 393 К τ = 15 мин. 403 К τ = 10 мин. 396 К τ = 15 мин. 405 К τ = 30 мин.

При разных значениях избыточного давления (от 2÷4 КПа).

Наибольший выход экстрактивных веществ наблюдался в режиме обработки T=393 К, τ=15 мин. при избыточном давлении P=4 КПа.

Недостатком большинства СО₂ – экстрактов отмечается их высокие кислотные числа. Возможно, что СК-СО₂ испаряясь удаляется из экстрагента не полностью. Значительная часть СО₂ остается в экстракте в виде карбоновой или угольной кислоты (Н₂СО₃). Фитохимический анализ, проводимый традиционными методами не позволяет её обнаруживать и поэтому о примеси Н₂СО₃ в СО₂ – экстрактах нет данных в литературе.

Исследование процесса экстракции с СК-СО₂ показывает изменение критических параметров СО₂ в ходе процесса, в результате чего наступает высокий выход экстракта за счет высокой растворимости флюидов при параметрах намного выше критических для СО₂. При этом некоторые компоненты могут как ухудшать, так и улучшать процесс экстракции [1,2,3,4].

Установлены критические параметры СК-СО₂ экстракции ингредиентов для разного вида растительного сырья.

Сравнительный анализ процесса СК-СО₂ экстракции показал различные влияния давления и температуры на выход ингредиентов.

Список использованных источников

1. Джураев Х.Ф., Гафуров К.Х., Мухаммадиев Б.Т., Мирзаева Ш.У., Сравнительный анализ влияния давления и температуры на процесс сверхкритической СО₂-экстракции растительного сырья, Бутлеровские сообщения, №7 том 55, 2018, Казань, Республика Татарстан, Россия, С. - 109-113.

2. Сафаров А.Ф., Гафуров К.Х. Применение сжиженного углекислого газа как растворителя для получения экстрактов из растительного сырья: (Монография). Бухара: Изд-во – Бухара. 2014. С.117.

3. Мухаммадиев Б.Т., Гафуров К.Х., Мирзаева Ш.У. Кинетика экстракции сверхкритической СО₂ с соразвителем жиросодержащих материалов из семян дыни., Сб. тез. Конф. «Современные проблемы химической технологии биологически активных веществ». Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2016.

4. Мухаммадиев Б.Т., Гафуров К.Х., Мирзаева Ш.У. Сверхкритическая [СК]-СО₂ экстракция глицирризиновой кислоты из лакричных корней. Бутлеровские сообщения. 2017. Т.49. №1. С.108- 114.

МАССОПЕРЕНОС ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ CO₂ ЧЕРЕЗ ЗЕРНИСТЫЙ СЛОЙ ОБРАБАТЫВАЕМОГО РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

**Мажидова Н.К., Мирзаева Ш.У., Фарходова Х.Ф.
Бухарский инженерно-технологический институт
г. Бухара, Узбекистан**

По итогам исследований нами разработана упрощенная математическая модель экстракции растительных ингредиентов сверхкритической CO₂. Она сводится к двум системам гиперболических уравнений, относящихся к основным характеристикам процесса, а именно, 1) концентрации масла в флюиде в микроскопических каналах зернистого слоя частиц и 2) выделение начального запаса масла из частиц.

Целью данного исследования является создание и рассмотрение математических моделей массопереноса при фильтрации сверхкритической CO₂ через зернистый слой обрабатываемого растительного материала. Этот процесс, т.е. фильтрация через зернистый слой растительного материала, представляет собой довольно сложный многофакторный процесс, осуществление которого как в лабораторных, так и в промышленных масштабах требует значительных временных затрат.

Согласно модели SC в частицах зернистого слоя выделяются две зоны: в ядре масло из растительных клеток ещё не начало вырабатываться, а межклеточные каналы заполнены СК CO₂ с равновесной концентрацией растворенного масла θ_z ; в зоне истощения масло из ячеек полностью выработано, а концентрация в межклеточных каналах изменяется от θ_z на подвижной границе $z=f(t)$ до меньшего значения θ_α при $z=\alpha$. Перепад концентраций $\theta_z - \theta_\alpha$ является движущей силой диффузионного переноса масла по межклеточным каналам от ядра к поверхности частицы. Доказано, что диффузионное сопротивление области истощения много больше сопротивления диффузионного пограничного слоя, возникающего во внутриворонном пространстве на границе частицы и процесс диффузии в истощенной зоне можно считать квазистационарным. Это позволяет отождествлять величины θ_α и C выразить через разность концентраций $\theta_z - C$ скорость движения R фронта истощения и диффузионный поток q, кг/м² с единицы поверхности частицы во внутриворонное пространство

$$-(a - R)R \frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\varepsilon D a}{(\theta)_0} (\theta_z - C) \quad [1]$$

$$q = \frac{\varepsilon D R}{(a - R)a} (\theta_z - C) \quad [2]$$

где ε - объемная доля межклеточных каналов внутри частицы, D – коэффициент молекулярной диффузии, a - радиус частицы, м.

Проведением критериального анализа процесса экстракции было показано, что в типичных ситуациях емкостными и дисперсионными эффектами во внутриворонном пространстве можно пренебречь в сравнении с емкостью частиц засыпки и конвективным переносом. Следовательно, уравнение для концентрации с раствора масла в СКФ при его фильтрации через зернистый слой выглядит так:

$$v \frac{\partial C}{\partial z} = 3 \frac{1-e}{a} q \quad [3]$$

Величина $(1-e) a^{-1}$ представляет собой площадь поверхности частиц засыпки в единице объема пористого слоя. Уравнения [1] и [3] совместно дадут систему уравнений для определения неизвестных функций C(Z,t) и R(Z,t)

$$-R(a - R) \frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\varepsilon D a}{(\theta)_0} (\theta_z - C) \quad [4]$$

$$v \frac{\partial R}{\partial t} = 3 \frac{\varepsilon D(1-e)E}{a^2(a-R)} (\theta_z - C) \quad [5]$$

Уравнения [4] и [5] представляют собой результирующую формулировку модели экстракции масла из монодисперсного зернистого слоя. Переход с сохранением прежних обозначений к безразмерным переменным C , R , t , Z за счет нормировки их на θ_z , a , t_{sc} , Z_{sc} соответственно.

$Z_{sc} \frac{va^2}{3\varepsilon D(1-e)}$, $t_{sc} = \frac{a^2(\theta)_0}{\varepsilon D \theta_z}$, позволяет получить следующего задачу для нахождения C , R

$$-R(1-R) \frac{\partial R}{\partial t} = 1 - C, R(\theta, Z) = 1 \quad [6]$$

$$(1-R) \frac{\partial C}{\partial Z} = R(1-C), C(t, 0) = 0 \quad [7]$$

Задача допускает аналитическое решение, которое можно использовать для расчета динамики экстракции масла в зернистом слое заданной высоты H . Отношение добытого к моменту времени t масла к его начальным запасам определяется универсальной зависимостью $Y(\tau, \bar{H})$,

$$\gamma = \frac{y}{\rho}, \quad \tau = \frac{vt\theta_z}{\rho H}, \quad \bar{H} = \frac{3H(1-e)}{la^2v} \varepsilon D, \quad [8]$$

здесь $y(t)$, кг/м³ – масса извлеченного масла за время t , отнесенная к объему зернистого слоя; $\rho = (\theta)_0(1-e)(1-\varepsilon)$ – масса масла в единице объема зернистого слоя до начала процесса. До сих пор мы рассматривали монодисперсный зернистый слой, состоящий из сферических частиц одного размера. Следующим шагом в моделировании процессов СК экстракции реального растительного сырья (например, косточки арбуза) является учет полидисперсности зернистого слоя. Для этого необходимо иметь данные о распределении частиц слоя по размерам. Она задается с помощью плотности $f(\alpha)$ объемного распределения частиц, так что величина $f(\alpha) d\alpha$ представляет собой отношение суммарного объема частиц с размерами в диапазоне $\alpha - (\alpha+d\alpha)$, к суммарному объему всех частиц.

Очевидно, что глубина проработки частиц зависит в данном случае не только от времени и пространственной координаты, как для монодисперсного слоя, но и от размера a данной частицы, $R=R(t, Z, a)$. В то же время концентрация масла $C=C(t, Z)$ в фильтрационном потоке остается функцией только t и Z . Уравнение [4], описывающее продвижение границы истощения, очевидно сохраняет свой вид и в случае полидисперсного слоя. Здесь необходимо учитывать уже не одно, а семейство уравнений, зависящих от a , как от параметра. Для нахождения общего потока масла во внутриворонное пространство необходимо просуммировать потоки от каждой из частиц. Тогда уравнение [3] для концентрации примет вид

$$v \frac{\partial C}{\partial Z} = (1-e)\varepsilon D(\theta_z - C) \int_0^\infty \frac{R}{a-R} f(a) \frac{da}{a^2} \quad [9]$$

Таким образом, для нахождения функций $R(t, Z, a)$ и $C(t, Z)$ имеется параметрическое семейство уравнений [4] и дифференциально – интегральное уравнение [9].

Выяснено, что для зернистого слоя с явно выраженной полидисперсностью, процесс СКЭ имеет двухстадийный характер, присущий модели ВІГ. Следовательно, учет полидисперсности в модели SC позволяет объяснить резкую смену темпа извлечения без привлечения дополнительных гипотез, лежащих в основе модели ВІГ. Для подтверждения адекватности полидисперсной модели была проведена серия лабораторных опытов по извлечению масла из молотых косточек арбуза для различных распределений частиц по размерам. Наблюдалось во всех случаях удовлетворительное совпадение опытных и теоретических кривых темпа выхода масла [9]. Эти экспериментальные данные будут обсуждаться в дальнейших публикациях.

СО₂ – ЭКСТРАКЦИЯ ГЛАБРИДИНА

**Мирзаева Ш.У., Мажидова Н.К., Фарходова Х.Ф.
Бухарский инженерно-технологический институт,
г. Бухара, Узбекистан**

Цель данного исследования заключается в том, чтобы выяснить применимость суперкритической СО₂ – экстракции глабридина. Были исследованы влияния таких параметров, как температурный предел в 35-75 °С и давление от 100 до 480 бар при постоянной скорости потока СО₂ 1 мл/мин. Проводилось сравнительное изучение экстракции растворителями (метанол, этанол, ацетон) с СК-СО₂, дающий выход 0,198 по весу глабридина из корней лакрицы. Количество глабридина во фракциях анализировалась с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. Выход глабридина был очень небольшим, при использовании только СК-СО₂ при экстракции при 320 бар и 75 °С. С другой стороны, выход глабридина возрастал при увеличении концентрации ацетона в СК-СО₂ до 25% (v/v).

Традиционные методы экстракции глабридина из корней солодки имеют ряд недостатков, такие как расход в большом количестве органических растворителей, большое потребление энергии из-за длительности экстракции и высокой температуры экстракции. Поэтому, появилась необходимость в разработке альтернативных методов экстракции с высокой селективностью и эффективностью. В данном исследовании приводятся результаты опытов по влиянию давления, температуры и количества со растворителей на СКЭ-СО₂ глабридина из корней солодки.

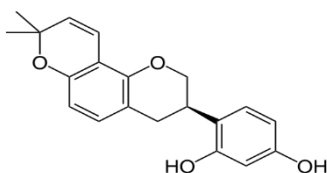


Рисунок 1 - Структура глабридина (C₂₀H₂₀O₄)

Лакричный порошок (2,4 г) вносили в картридж, который закрывался крышкой с трубками для СО₂ и соразтворителей (10 мл). Изучали влияния различных параметров – температуры (35-75 °С), давления (100-450 бар), скорость потока флюида (0,4-1,4 мл/мин) тип и количество соразтворителя на СКФ-СО₂ экстракцию глабридина из лакричных корней. Эффективность СКФ глабридина выражали как выход (%), определяемый из отношения концентрации глабридина, полученного СФЭ к тому, что получено ЭОР.

Экстракция органическими растворителями (ЭОР) проводилась для того, чтобы сравнить результаты с теми, что получены СК-СО₂ – экстракцией.

Влияние природы экстрагента на концентрацию глабридина различается незначительно даже, если были обнаружены высокие концентрации глабридина равные 0,195±0,0004, при использовании 95% ного этанола в качестве экстрагента. Чистота глабридина значительно уменьшается с уменьшением спирта, тогда как 100% ацетон, в отличии от водных спиртов, приводит к высокой степени чистоты глабридина.

Выход глабридина из корней солодки увеличивался с увеличением содержания со растворителя в СК-СО₂, как это показано на рис 2., где приведены данные по выходу глабридина в зависимости от различных содержаний ацетона (2,3~23% v/v) в СК-СО₂ при 280 бар и 42 °С. Эти результаты свидетельствуют о том, что использование со

растворителей является главным фактором увеличения выхода глабридина и поэтому этанол и ацетон применяли в качестве соразтворителя во всех опытах.

Влияние температуры на выход глабридина при использовании 100% ацетона и этанола в качестве со растворителя к СК-СО₂ исследовалось при 280 бар и скорости потока 1 мл/мин, что показано на рис 3 и 4., соответственно. При 100% этаноле (рис. 3) скорость экстракции и выход глабридина уменьшается с увеличением температуры, в то время как добавление 100% ацетона к СК-СО₂ оказывает незначительное влияние на те же результаты.

Результаты наших опытов отличаются от тех, что получены другими авторами. Они сообщают, что увеличение температуры при постоянном давлении увеличивает скорость экстракции и выход глабридина, что приводит к облегчению десорбции целевого вещества из матрикса образца с увеличением давления паров целевого вещества. Более того, 100% этанол в качестве соразтворителя имеет значительный эффект на выход глабридина, по сравнению с 100% ацетоном.

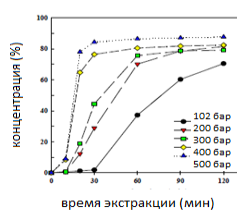


Рис. 2. Влияние давления на скорость экстракции глабридина из солодки

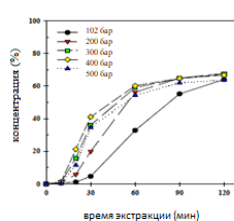


Рис. 3. Влияние давления на скорость экстракции глабридина из солодки

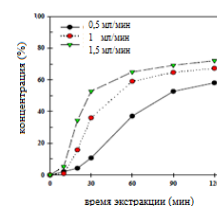


Рис. 4. Влияние SCCO₂ на скорость экстракции глабридина из солодки

Таблица 2

Метод экстракции	Растворитель	Концентрация	Чистота
Органические растворители	100% ацетон	1,82	4,22
	100% этанол	1,80	1,90
Суперкритический флюид	СО ₂	0,58	-
	СО ₂ +100% ацетон	1,6	11,68
	СО ₂ +100% ацетон	1,68	9,50

В табл. 2 приводится сравнение содержания и чистоты глабридина в экстрактах. Выход глабридина при СКЭ был около 82% и 89% соответственно, при использовании этанола в качестве со растворителя, по сравнению с ЭОР.

Содержание глабридина в солодке найдено равным 0,172-0,196 вес.% по результатам экстракции различными органическим растворителями и наибольший выход 0,196 % получили в случае 95 % этанола. Очень небольшой выход глабридина наблюдался при использовании чистой СК-СО₂, а добавление в качестве соразтворителя этанола и ацетона, значительно увеличивал выход глабридина из солодки. При использовании этанола в качестве модификатора (10% об.), выход глабридина был 72-85%, а чистота экстрактов глабридина увеличивалась в 5 раз, по сравнению с экстракцией органическими растворителями при 45-75 °С и 110-480 бар. При использовании ацетона в качестве соразтворителя скорость экстракции увеличивалась с увеличением содержания со растворителя в СК-СО₂ при 42 °С и 320 бар.

Предложенный метод СКЭ, как оказалось, является быстрым и эффективным, по сравнению с ЭОР, будучи менее токсичным для окружающей среды. Более того, подтверждено, что вид со растворителя является главным фактором селективной экстракции глабридина.

ПРОЦЕСС СО₂ – ЭКСТРАКЦИИ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

**Мажидова Н.К., Мирзаева Ш.У., Барноева С.С.
Бухарский инженерно-технологический институт
г. Бухара, Узбекистан**

Технологические процессы – сложные физико-химические системы, имеющие двойную детерминантно-стохастическую природу и изменяющиеся в пространстве и времени показатели. Материальные и энергетические потоки, участвующие в процессе, являются многофазными и многокомпонентными; в каждой точке фазы и у границы фаз при проведении процесса происходит перенос импульса, энергии и массы. В общем, целый процесс происходит в аппарате, имеющий известные геометрические характеристики. Хотя, и эти характеристики, в свою очередь, влияют на характер протекания процесса. Основным свойством технологических процессов является то, что составляющие события комплекса имеют детерминантно-стохастическую природу, эта природа проявляется в массообменных и тепломассообменных процессах и при восстановлении стохастических свойств гидродинамической среды в химических превращениях. Компоненты этих фаз характеризуется случайным взаимовлиянием составляющих этих компонентов или граничными условиями геометрических характеристик аппарата (производительная ориентация межфазовой границы передвигающихся сред). Подобно этому различные системы характеризуются сложным взаимовлиянием фаз и составляющими компонентов, в результате этого невозможно изучить эти системы с позиции законов сохранения или переноса классического детерминированного вещества.

Для решения подобной проблемы необходимо применение способов математического моделирования на основе стратегии системного анализа. Основа этой стратегии – принятие процесса как сложной взаимовлияющей иерархической системы, проведение качественного анализа ее структуры, разработка математического описания процесса и оценка неизвестных показателей.

В основу анализа и моделирования процесса положена методология системно-структурного подхода. Иерархическая структура позволяет вскрыть взаимосвязь явлений, происходящих в биофизико-химических процессах на уровнях от атомно-молекулярного до слоя сырья, обрабатываемого в экстракторах. На каждом уровне иерархии можно выделить свои системы, обладающие определенной функцией и явления, протекающие на каждом уровне.

Первый уровень иерархии охватывает технологическую линию производства экстракта лакричного корня.

Во втором иерархическом уровне приведены составляющие технологическую линию производства экстракта лакричного корня: ёмкость для СО₂, компрессор, конденсатор, ёмкость для жидкого СО₂, нагреватель, экстрактор, сепаратор, хранение СО₂.

Наши научные исследования направлены на процесс экстракции лакричного корня с целью получения глицирризиновой кислоты, используя при этом в качестве экстрагента СО₂ находящийся в критическом состоянии. Поэтому в наших дальнейших исследованиях мы рассмотрим только процесс экстракции.

Во третьем иерархическом уровне включены только элементы установки экстрактора: патрубок подачи СО₂, сеточный поддон для лакричного корня, патрубок для отвода СО₂, отбор экстракта, отбор остатка сырья.

В четвертом иерархическом уровне делаем анализ протекающих подпроцессов на элементах экстрактора, так как в нижеследующих элементах экстрактора, патрубках подачи и отвода CO₂, завершаются процессы экстракта и остатка сырья. В сеточном поддоне для лакричного корня протекает процесс экстракции, поэтому будут осуществлены подпроцессы протекающие при этом: взаимодействие фаз, изменение давления и температуры CO₂, изменение состава CO₂, изменение состава лакричного корня, изменение давления в экстракторе, изменение температуры в экстракторе.

В пятом иерархическом уровне приведены явления, протекающие в перечисленных на четвертом уровне подпроцессах: образование экстракта лакричного корня, остаток лакричного корня, изменение материального баланса, изменение теплового баланса, изменение агрегатного состояния CO₂.

В шестом иерархическом уровне раскрыты механизм процесса экстракции лакричного корня: изменение парциальных давлений фаз, изменение концентрации жидкой фазы, изменение концентрации твердой фазы.

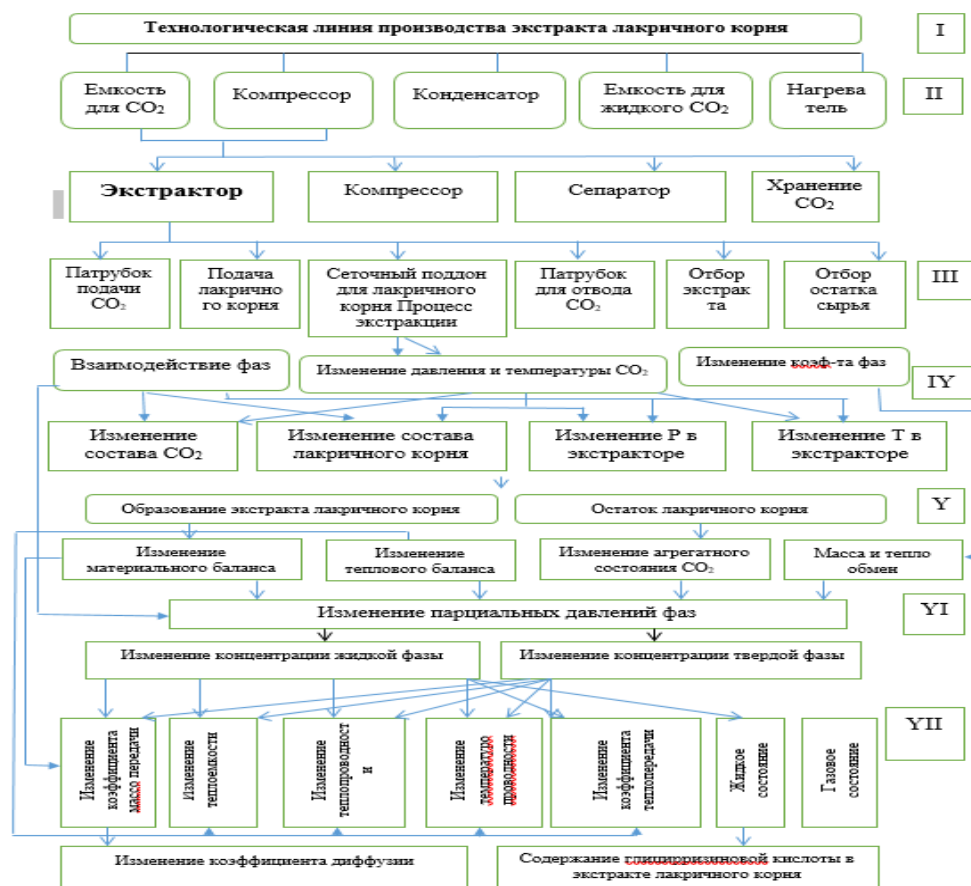


Рисунок 1. Системный анализ экстракции CO₂ экстрагентом технологической линии производства экстракта лакричного корня

В седьмой окончательной иерархической подсистеме приведены изменение коэффициента масс передачи, изменение теплоемкости, изменение теплопроводности, изменение температура про водности, изменение коэффициента теплопередачи, жидкое состояние, газовое состояние, изменение коэффициента диффузии и содержание глицирризиновой кислоты в экстракте лакричного корня.

Разработанная иерархическая структура, состоящая из семи уровней системного анализа технологической линии производства экстракта лакричного корня, позволяет определить последовательность выполнений научных исследований.

142. Исследование сорбции ионов Zn^{2+} из растворов солей цинка ионитом на основе поли[АН(75)–СО–АМПС (25)]
Чикунская В.М., Огородников В.А., Щербина Л.А., Будкуте И.А.
Болковская А.А. 300
143. Синтез и ИК-спектроскопическое исследование гидрогеля на основе оксида алюминия
Дудкина Е.Н., Брановицкая Н.В. 302
144. Определение состава образцов солей алюминия методом комплексонометрического титрования
Дудкина Е.Н., Иорбалиди А.А. 304
145. The influence of technological parameters on the process of CO_2 -extraction of biologically active substances from raw material
Majidova N.K., Mirzaeva Sh.U., Barnoyeva S.S. 306
146. Сравнительный анализ влияния давления и температуры на процесс CO_2 –экстракции растительного сырья.
Мажидова Н.К., Мирзаева Ш.У. 308
147. Массоперенос при фильтрации сверхкритической CO_2 через зернистый слой обрабатываемого растительного материала
Мажидова Н.К., Мирзаева Ш.У., Фарходова Х.Ф. 310
148. CO_2 –экстракция глабридина
Мирзаева Ш.У., Мажидова Н.К., Фарходова Х.Ф. 312
149. Лазерно-стимулированная кристаллизация в технологии приповерхностных слоев суперкристаллов из халькогенидов
Каранчук Д.Я., Скапцов А.С., Юревич Ю.В. 314
150. Спектральное преобразование сверхкоротких оптических импульсов при отражении планарным суперкристаллом
Юревич В.А., Тимощенко Е.В. 316
151. Пороговые зависимости в резонансной модели микролазера на квантовых точках
Юревич Ю.В., Тимощенко Е.В., Пусовская Т.И. 318
152. Процесс CO_2 –экстракции и системный анализ
Мажидова Н.К., Мирзаева Ш.У., Барноева С.С. 320
153. Некоторые теоретические вопросы гидрогенизации растительных масел
Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. 322
154. Экстракция хлопковых ракушек с использованием воздействия импульсного электрического поля
Кайимов Ф.С. 324
155. Анализ содержания транс-кислот в смесях переэтерифицируемых жиров
Бафоева Г.Н., Кайимов Ф.С. 326