

## ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЧ-ЭКСТРАКЦИИ ИЗ СОЛОДКОВОГО КОРНЯ

**Е.В. Соколова**, *k\_sokolova93@mail.ru*

**Ю.А. Максименко**, *amxs1@yandex.ru*

*Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия*

**Аннотация.** Экстракт солодкового корня находит широкое применение в пищевой промышленности благодаря содержанию широкого спектра биологически активных веществ. В многочисленных исследованиях, посвященных изучению процесса экстракции при получении ценных компонентов из сырья растительного происхождения, обосновывается перспективность применения СВЧ-излучения для интенсификации процесса экстракции. Цель исследований – проанализировать физико-химический механизм и оценить производительность процесса СВЧ-экстракции солодкового корня, разработать рациональные режимные параметры и машинно-аппаратурную схему для СВЧ-экстракции. Объект исследования – корни солодки голой (*Glycyrrhiza glabra*). Анализ производственного опыта и ряда научно-исследовательских работ по экстракции солодкового корня показал, что в качестве экстрагента целесообразно использовать подготовленную воду. Представлены основные результаты и сведения по организации предварительных исследований различных вариантов экстракции солодкового корня, определен рациональный способ экстрагирования солодкового корня – способ СВЧ-экстрагирования по принципу перколяции при постоянном механическом перемешивании экстракционной смеси и циркуляции экстрагента, который позволяет достигать равновесной концентрации сухих веществ в экстрактом растворе при минимальной продолжительности реализации процесса и сравнительно низких удельных затратах энергии. С учетом свойств перерабатываемого сырья и рекомендации по организации промышленного процесса экстракции растительного сырья предложено экстракцию солодкового корня выполнять в две стадии, причем первичная и вторичная экстракции производятся при одинаковых режимах и одинаковой продолжительности для рационального проектирования процессов производства и обеспечения непрерывного технологического потока. Проанализировано влияние основных параметров на массообменные процессы при СВЧ-экстрагировании. Установлены функциональные зависимости удельной производительности СВЧ-экстракции от влияющих параметров. Приведены значения режимных параметров и машинно-аппаратурная схема для практической реализации СВЧ-экстракции солодкового корня.

**Ключевые слова:** экстракт солодкового корня, солодка голая, экстракция, перколяция, СВЧ-экстрагирование, производительность экстракции, растительное сырье

**Для цитирования:** Соколова Е.В., Максименко Ю.А. Исследование и совершенствование процесса СВЧ-экстракции из солодкового корня // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 1. С. 62–72. DOI: 10.14529/food250108

Original article

DOI: 10.14529/food250108

## RESEARCH AND IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF MICROWAVE EXTRACTION OF LICORICE ROOT

*E.V. Sokolova, k\_sokolova93@mail.ru**Yu.A. Maksimenko, amxs1@yandex.ru**Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

**Abstract.** Licorice root extract is widely used in the food industry due to the content of a wide range of biologically active substances. Numerous studies devoted to the study of the extraction process in obtaining valuable components from raw materials of plant origin substantiate the prospects for using microwave radiation to intensify the extraction process. The purpose of the research is to analyze the physicochemical mechanism and evaluate the productivity of the microwave extraction of licorice root, to develop rational operating parameters and a machine-hardware scheme for microwave extraction. The object of the study is the roots of naked licorice (*Glycyrrhiza glabra*). Analysis of production experience and a number of research papers on licorice root extraction showed that it is advisable to use prepared water as an extractant. The main results and information on the organization of preliminary studies of various options for licorice root extraction are presented, a rational method for licorice root extraction is determined – a microwave extraction method based on the percolation principle with constant mechanical mixing of the extraction mixture and circulation of the extractant, which allows achieving an equilibrium concentration of dry substances in the extract solution with a minimum duration of the process and relatively low specific energy costs. Taking into account the properties of the processed raw materials and recommendations for organizing the industrial process of extraction of plant materials, it is proposed to perform licorice root extraction in two stages, with the primary and secondary extractions being carried out under the same conditions and the same duration for rational design of production processes and ensuring a continuous process flow. The influence of the main parameters on mass exchange processes during microwave extraction is analyzed. Functional dependencies of the specific productivity of microwave extraction on the influencing parameters are established. The values of the operating parameters and the machine-hardware scheme for the practical implementation of microwave extraction of licorice root are given.

**Keywords:** licorice root extract, licorice, extraction, percolation, microwave extraction, extraction productivity, plant raw materials

**For citation:** Sokolova E.V., Maksimenko Yu.A. Research and improvement of the process of microwave extraction of licorice root. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 1, pp. 62–72. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250108

### Введение

Солодка является многолетним травянистым растением семейства бобовых. Корень солодки содержит широкий спектр биологически активных веществ, в частности, глицирризиновую кислоту, ликвиритин и ликвиритигенин [1, 2]. Солодка является одним из самых коммерчески ценных растений в мире, имеющим широкий спектр применения в пищевой промышленности и других областях.

Перспективы использования СВЧ-экстракции при получении ценных компонентов из сырья растительного происхождения

обоснованы в многочисленных научно-исследовательских работах [3–8]. СВЧ-экстрагирование позволяет интенсифицировать массообменные процессы с целью увеличения выхода ценных веществ и повышения производительности промышленных экстракторов.

Цель исследований – проанализировать физико-химический механизм и оценить производительность процесса СВЧ-экстракции солодкового корня, разработать рациональные режимные параметры и машинно-аппаратную схему для СВЧ-экстракции.

### Объекты и методы исследования

При исследовании процесса экстракции использовались корни солодки голой (*Glycyrrhiza glabra*), выращенной в Красноярском районе Астраханской области, предоставленные предприятием ООО «Солодка – А» в соответствии с договором о научно-техническом сотрудничестве. Сырье соответствует ГОСТ 22839-88. Корни и корневища солодки. Технические условия [9] и представляет собой сухой солодковый корень, измельченный до размера частиц 3–7 мм, который характеризуется содержанием сухих веществ 0,08–0,12 кг/кг и содержанием глицерризиновой кислоты 0,04–0,06 кг/кг.

Анализ производственного опыта ООО «Солодка – А» и ряда научно-исследовательских работ по экстракции солодкового корня [10–12] показал, что в качестве экстрагента целесообразно использовать подготовленную воду. В ходе исследований в качестве экстрагента применялась вода, подготовленная в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая».

С целью определения рационального способа экстрагирования солодкового корня выполнен ряд предварительных экспериментов на установках научно-исследовательской лаборатории «Пищевые системы и биотехнологии» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

Вариант 1. Экстрагирование при температуре экстракционной смеси  $t = 288–293$  К и периодическом перемешивании в течение 48 часов (типовая технология).

Вариант 2. Экстрагирование при температуре экстракционной смеси  $t = 328–333$  К в термостате и периодическом перемешивании в течение 30 часов.

Вариант 3. СВЧ-экстрагирование при температуре экстракционной смеси  $t = 328–333$  К и периодическом перемешивании в течение 3–4 часов, причем температура достигалась и поддерживалась с помощью СВЧ-нагрева в печи при различной мощности в диапазоне 600–1000 Вт с периодическими остановками для исключения перегрева экстракционной смеси выше 60 °С.

Вариант 4. Экстрагирование при температуре экстракционной смеси  $t = 328–333$  К при циркуляционном перемешивании экстракционной смеси в течение 4–6 часов при различной кратности циркуляции.

Вариант 5. Экстрагирование (перколяция)

при температуре экстракционной смеси  $t = 328–333$  К в течение 4–6 часов при различной кратности циркуляции экстрагента.

Вариант 6. СВЧ-экстрагирование (перколяция) при температуре экстракционной смеси  $t = 328–333$  К в течение 4–6 часов при различной кратности циркуляции экстрагента, причем температура достигалась и поддерживалась с помощью СВЧ-нагрева при различной мощности в диапазоне 600–1000 Вт.

В ходе экспериментов, которые проводились до достижения равновесной концентрации, оценивалась концентрация сухих веществ в растворе  $C_{\text{экс}}$  и ее изменение во времени процесса. Наиболее рациональным способом признан способ СВЧ-экстрагирования по принципу перколяции (вариант 6), так как позволяет достигать равновесной концентрации сухих веществ в экстрактом растворе при минимальной продолжительности реализации процесса и сравнительно низких удельных затратах энергии.

Для рационализации процесса извлечения ценных компонентов из солодкового корня, в частности, глицерризиновой кислоты, перспективно использовать постоянное механическое перемешивание экстракционной смеси и циркуляцию экстрагента [13, 14], что позволяет интенсифицировать конвективную диффузию при экстракции. Повышение температуры экстракционной смеси также интенсифицирует процессы извлечения ценных компонентов, предложено исследовать процесс при температуре 323–333 К, верхний предел температуры 333 К выбран из условия исключения термического разложения термолабильных растительных компонентов сырья.

Исследование процесса экстрагирования солодкового корня проводилось на экспериментальной установке (рис. 1, 2).

Кратность циркуляции экстрагента составляла 20–30 объемов/час и установлена в ходе предварительных экспериментов из условия эффективного перемешивания экстрагента. Для создания и поддержания требуемой температуры взаимодействия при экстрагировании в аппарате использовался контур терморегуляции. СВЧ-воздействие на экстракционную смесь осуществлялось посредством генераторов СВЧ-излучения, снабженных регулятором мощности.

В качестве основных параметров, которые оказывают влияние на массообменные процессы при СВЧ-экстрагировании и варьируемых

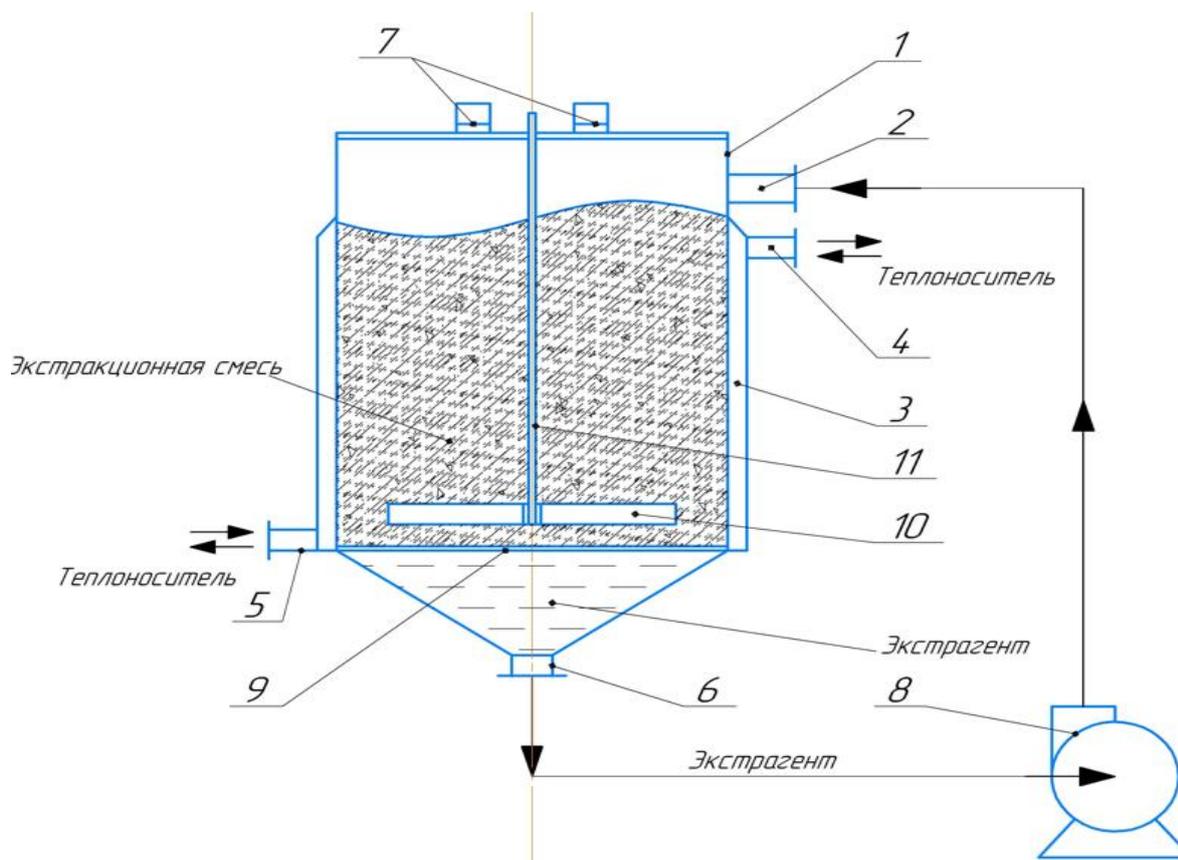


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования процесса СВЧ-экстракции: 1 – емкость; 2, 6 – технологические патрубки; 3 – контур терморегуляции; 4, 5 – патрубки для входа/выхода теплоносителя; 7 – генераторы СВЧ-излучения; 8 – насос; 9 – фильтрующая перегородка; 10 – перемешивающее устройство; 11 – вал



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки для исследования процесса СВЧ-экстракции

при исследованиях, приняты: гидромодуль  $M_{сырья}/M_{экстрагента}$  (масса сырья : масса экстрагента); температура экстракционной смеси  $T_{см}$ , К и мощность СВЧ-излучения  $N$ , Вт.

Уровни и диапазоны варьирования параметров (см. таблицу) установлены в ходе предварительных исследований из условия рациональной промышленной организации процесса СВЧ-экстракции.

Влияющие параметры и уровни их варьирования

Уровни	Факторы		
	Гидромодуль	$T_{см}$ , К	$N$ , Вт
1	1:8 (0,125)	323	600
2	1:10 (0,1)	328	800
3	1:12 (0,0833)	333	1000

Очевидно, что при СВЧ-экстрагировании солодкового корня температура экстракционной смеси и энергоподвод для ее поддержания в диапазоне  $T_{см} = 323\text{--}333$  К напрямую зависят от мощности СВЧ-излучения  $N$ , которая варьируется в диапазоне 600–1000 Вт. С учетом того, что два основных влияющих фактора  $T_{см}$  и  $N$  взаимозависимы, а также принимая во внимание тот факт, что достаточно сложно организовать контроль и регулирование температуры экстракционной смеси при подводе СВЧ-энергии в течение продолжительного времени экстракции (до 300 мин), то предложена следующая стратегия оценки влияния основных параметров на выход целевых компонентов и, как следствие, удельную производительность: первоначально при фиксированном значении температуры экстракционной смеси  $T_{см} = 328 \pm 5$  К проанализировать влияние на процесс экстракции солодкового корня мощности СВЧ-излучения  $N$ , Вт и гидромодуля  $M_{сырья}/M_{экстрагента}$  и далее при фиксированном значении мощности  $N$ , которая соответствует максимальной удельной производительности, проанализировать влияние температуры смеси на выход целевых компонентов.

Для времени экстракции  $\tau = 240\text{--}300$  мин наибольший выход сухих веществ составлял при мощности  $N = 1000$  Вт. Для оценки влияния параметров процесса на выход сухих веществ в экстрактивный раствор варьировалась температура смеси и гидромодуль при значении  $N = 1000$  Вт. В ходе экспериментов осу-

ществлялся непрерывный контроль температуры экстракционной смеси при периодическом (каждые 10 мин) отборе проб и регулировании температуры включением и выключением генераторов СВЧ-излучения.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе предварительных экспериментальных исследований и принимая во внимание свойства перерабатываемого сырья и принципы рациональной организации промышленного процесса экстракции растительного сырья предложено экстракцию солодкового корня выполнять в две стадии.

Установлено, что, в зависимости от режима при однократной экстракции солодкового корня, процесс протекает интенсивно до концентрации сухих веществ в экстракционном растворе  $C_{экс} = 0,036\text{--}0,048$  кг/кг, далее замедляется и прекращается при достижении концентрации сухих веществ  $C_{экс} = 0,065 \pm \pm 0,005$  кг/кг, что соответствует равновесной концентрации. Таким образом, в зависимости от режима, можно принять  $C_{экс} = 0,036\text{--}0,048$  кг/кг границей перехода ко вторичной экстракции сырья, причем первичная и вторичная экстракции производятся при одинаковых режимах и одинаковой продолжительности для рационального проектирования процессов производства и обеспечения непрерывного технологического потока.

В соответствии с планом экспериментальных исследований опыты были выполнены при 3-х повторениях с использованием статистической обработки полученных данных.

С целью определения рационального режима СВЧ-экстракции солодкового корня целевой функцией выбрана удельная производительность, которая соответствует массе сухих веществ, перешедших в процессе в экстрактивный раствор, с единицы рабочего объема экстрактора в единицу времени  $P$ , кг/(м<sup>3</sup>·ч), для вычисления которой масса сухих веществ в составе экстракта  $M_{с.в. экс}$ , кг была отнесена к рабочему объему экстрактора  $V = 0,08$  м<sup>3</sup> и продолжительности  $\tau$ , ч:

$$P = M_{с.в. экс} / (V \cdot \tau). \quad (1)$$

В результате математической обработки результатов методом точного попадания в узловые точки получены аппроксимирующие эмпирические зависимости удельной производительности от влияющих параметров:

$$\begin{aligned}
 \Pi(M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}}, N) = & \left[ \begin{array}{l} -0,006618 \cdot N^2 + \\ +10,027065 \cdot N - \\ -3986,08695 \end{array} \right] \cdot (M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}})^2 + \\
 & + \left[ 0,001267 \cdot N^2 - 1,907326 \cdot N + 736,93478 \right] \cdot (M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}}) + \\
 & + \left[ -0,000054 \cdot N^2 + 0,08218 \cdot N - 26,552995 \right]
 \end{aligned} \quad (2)$$

Первичная экстракция при  $N = 1000$  Вт:

$$\begin{aligned}
 \Pi(M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}}, T) = & \left[ \begin{array}{l} -1,021602 \cdot T^2 + \\ +636,996298 \cdot T - \\ -99966,419945 \end{array} \right] \cdot (M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}})^2 + \\
 & + \left[ 0,228675 \cdot T^2 - 143,53683 \cdot T + 22666,277869 \right] \cdot (M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}}) + \\
 & + \left[ -0,01246 \cdot T^2 + 7,922601 \cdot T - 1262,160489 \right]
 \end{aligned} \quad (3)$$

Вторичная экстракция при  $N = 1000$  Вт:

$$\begin{aligned}
 \Pi(M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}}, T) = & \left[ \begin{array}{l} 8,46141 \cdot T^2 - \\ -5545,859506 \cdot T + \\ +908509,983054 \end{array} \right] \cdot (M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}})^2 + \\
 & + \left[ -1,798486 \cdot T^2 + 1178,59616 \cdot T - 193045,403457 \right] \cdot (M_{\text{сырья}} / M_{\text{экстрагента}}) + \\
 & + \left[ 0,093778 \cdot T^2 - 61,435178 \cdot T + 10060,739146 \right]
 \end{aligned} \quad (4)$$

На рис. 3–5 для анализа представлены поля значений удельной производительности процесса, построенные с использованием формул (1)–(3).

С увеличением мощности СВЧ-излучения  $N$  отмечается рост значений целевой функции (см. рис. 3) для всех значений гидромодуля. Физико-химический механизм СВЧ-экстрагирования растительного сырья достаточно хорошо изучен и подробно описан в литературных источниках [4, 5, 15, 16]. СВЧ-энергоподвод позволяет в значительной степени интенсифицировать процессы извлечения экстрактивных веществ, что также отмечено в ходе исследований для экстракции солодкового корня, при этом сущность интенсификации процесса извлечения объясняется следующим образом: при подводе СВЧ-энергии к молекулам воды в составе экстракционной смеси дипольные молекулы воды совершают колебательные движения в СВЧ-поле, причем при

увеличении мощности излучения это колебательное движение ускоряется, что способствует интенсивному проникновению молекул воды в капиллярно-пористую клеточную структуру растительной ткани солодкового корня и переходу экстрактивных веществ в раствор экстрагента [3].

Анализ представленных полей значений удельной производительности процесса СВЧ-экстракции солодкового корня позволяет сделать вывод о существенном увеличении значений целевой функции при увеличении температуры экстракционной смеси (рис. 4–6), таким образом, целесообразно экстрагировать солодковый корень при температуре смеси 333 К, которая ограничена условием обеспечения качественных показателей экстракта. Повышение температуры при экстракции солодкового корня интенсифицирует процессы извлечения ценных компонентов ввиду роста коэффициента диффузии и скорости движения молекул.

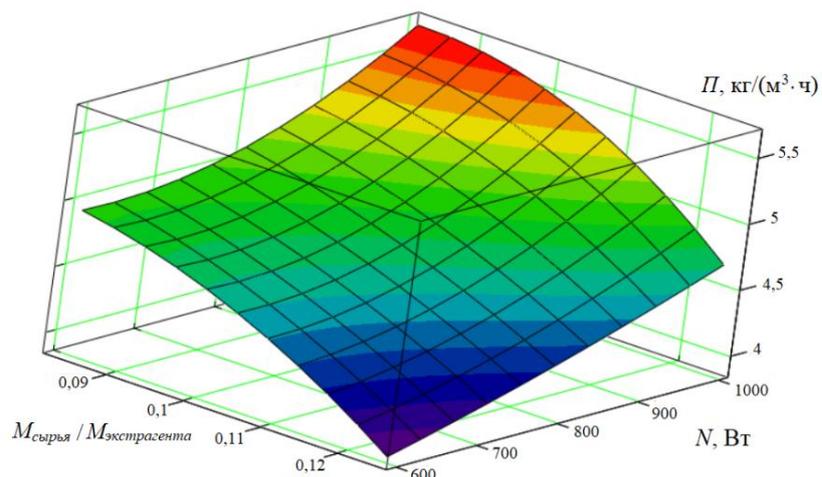


Рис. 3. Поле значений удельной производительности процесса СВЧ-экстракции солодового корня при  $T_{см} = 328 \pm 5$  К

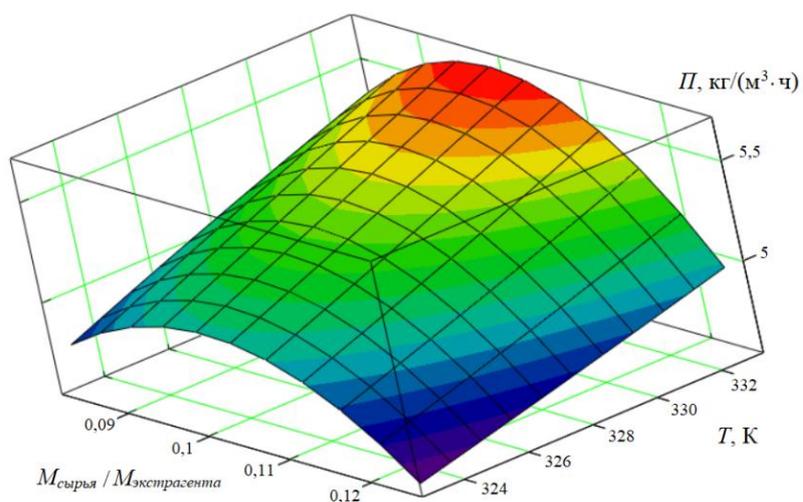


Рис. 4. Поле значений удельной производительности процесса первичной СВЧ-экстракции солодового корня при  $N = 1000$  Вт

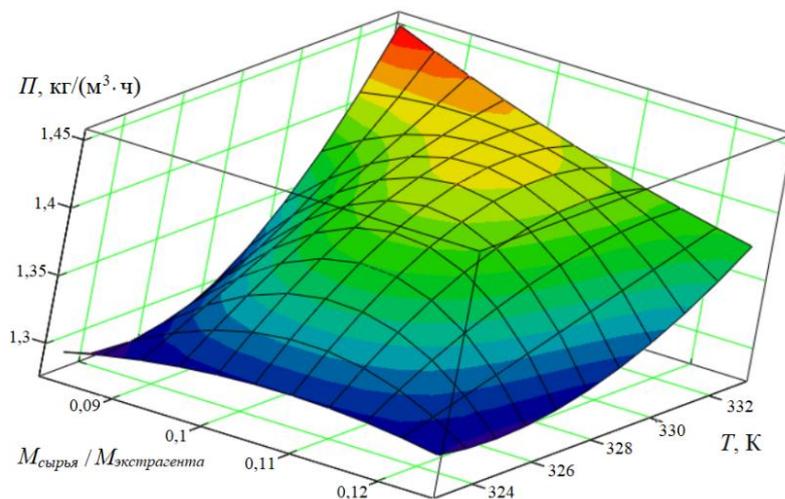


Рис. 5. Поле значений удельной производительности процесса вторичной СВЧ-экстракции солодового корня при  $N = 1000$  Вт

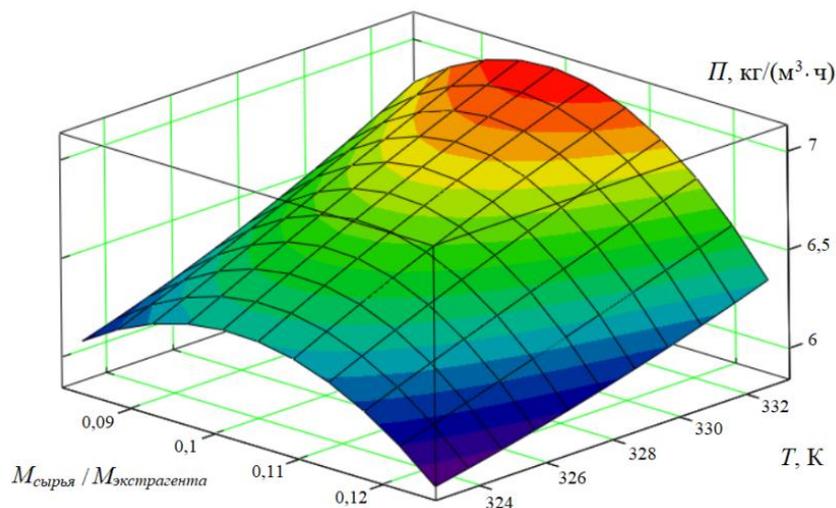


Рис. 6. Поле значений удельной производительности процесса (общая при двух ступенях экстракции) СВЧ-экстракции солодкового корня при  $N = 1000 \text{ Вт}$

Зависимость удельной производительности от гидромодуля носит экстремальный характер (см. рис. 3–6), при этом наибольшие значения целевой функции отмечаются при гидромодуле 1:10, что объясняется эффективной организацией межфазного взаимодействия при данном гидромодуле в системе твердое тело (частицы измельченного солодкового корня) – вода, что способствует конвективной диффузии извлекаемых компонентов вглубь экстрагента от поверхности раздела фаз (поверхность частиц сырья).

В ходе исследований доказано, что в промышленных условиях для производства экстракта солодкового корня при удельной производительности  $5,878\text{--}7,098 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$  и времени первичной и вторичной экстракции 240–300 мин, стадию экстракции необходимо осуществлять следующим образом:

– Первичная экстракция до концентрации сухих веществ в экстрактном растворе  $0,036\text{--}0,048 \text{ кг}/\text{кг}$ : сухой солодовый корень влажностью  $8\text{--}12\%$  измельчают дроблением до размера частиц  $3\text{--}7 \text{ мм}$ , экстрагирование проводят методом перколяции, пропуская экстрагент – воду через слой сырья при гидромодуле сырье : вода 1:8–1:12 при температуре  $323\text{--}333 \text{ K}$  в течение  $4\text{--}6$  часов и микроволновом воздействии на смесь частотой  $2450 \text{ МГц}$  и мощностью  $600\text{--}1000 \text{ Вт}$  при механическом перемешивании смеси со скоростью  $15\text{--}30 \text{ об}/\text{мин}$  и циркуляционном перемешивании экстрагента с кратностью циркуляции  $20\text{--}30$  объемов/час.

– Вторичная экстракция до концентрации сухих веществ в экстрактном растворе  $0,018\text{--}0,023 \text{ кг}/\text{кг}$ : после отбора экстракта первичной ступени, к сырью добавляют определенное количество экстрагента – воды и экстрагирование проводят при тех же режимных параметрах, что и первичную экстракцию.

– Смешивание экстрактов первичной и вторичной экстракции для дальнейшей переработки.

Для практической реализации СВЧ-экстракции солодкового корня при максимальной удельной производительности  $7,098 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$  установлен рациональный режим выполнения процесса и соответствующие рациональные режимные параметры по зависимости (4): гидромодуль 1:10; температура  $333 \text{ K}$ ; СВЧ-воздействие на экстракционную смесь частотой  $2450 \text{ МГц}$  и мощностью  $1000 \text{ Вт}$ ; время первичной и вторичной экстракции  $245 \text{ мин}$ .

Машинно-аппаратурная схема разработанного способа экстракции солодкового корня представлена на рис. 7 и предполагает последовательное выполнение первичной и вторичной экстракции сырья в каждом корпусе новым экстрагентом, при этом по завершении вторичной экстракции отработавшее сырье выгружается и в корпус загружается следующая партия сырья. Таким образом, корпуса работают параллельно при смене первичной и вторичной экстракции сырья в корпусе через определенное время.

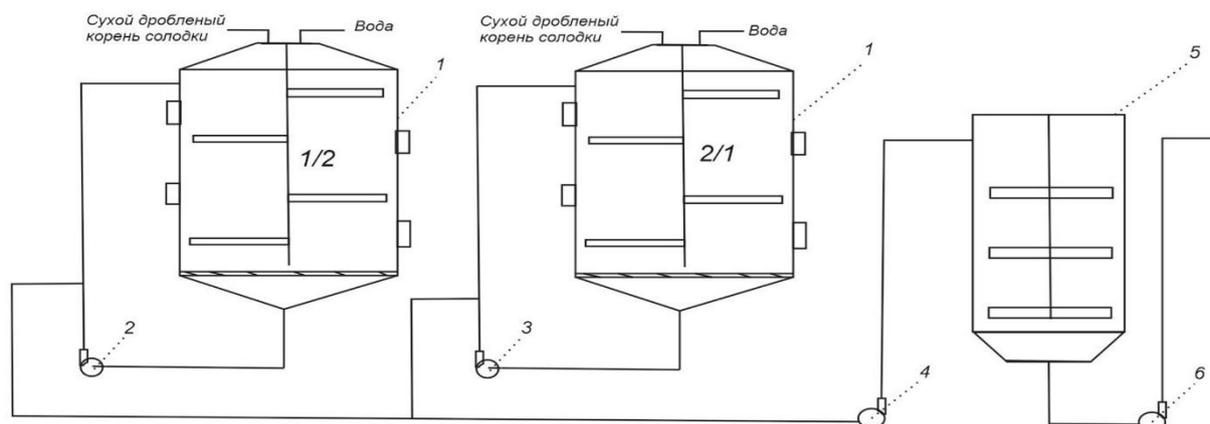


Рис. 7. Машинно-аппаратурная схема для производства экстракта солодкового корня:  
1 – СВЧ-экстракторы (2 корпуса); 2, 3 – насосы для циркуляции экстрагента; 4, 6 – насосы для перекачивания экстракта; 5 – приемная емкость

Дальнейшая переработка экстракта предполагает фильтрование экстракта и его концентрирование вакуум-выпариванием для получения густого экстракта с влажностью 32–38 % по ГОСТ 22840-77 [17].

#### Заключение

Предлагаемый способ экстракции позволяет интенсифицировать процесс экстракции путем микроволнового воздействия на экстракционную смесь и осуществлять повторный цикл экстрагирования, может быть применен в промышленности и позволяет получить экстракт требуемого качества при увели-

чении удельной производительности промышленных экстракционных установок. Целевой продукт – экстракт солодкового корня рекомендуется к использованию в пищевой промышленности для приготовления хлебобулочных и кондитерских изделий и другой продукции.

Исследования будут продолжены с целью изучения кинетики СВЧ-экстракции солодкового корня, комплексного анализа механизма и закономерностей протекания процесса для его моделирования и разработки рациональной конструкции экстракционной установки.

#### Список литературы

1. Исследование состава и свойств экстрактов *Glycyrrhiza Glabra*, выращенной в Калининградской области, и перспективы ее применения / О.О. Бабич, Е.В. Ульрих, В.В. Ларина, А.Х. Бахтиярова // *Пищевые системы*. 2022. Т. 5. № 3. С. 261–270. DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-3-261-270.
2. A review on the plant resources of important medicinal licorice / Y. Binbin, H. Junling, L. Wenbin, L. Lin, Y. Min, Z. Zhongzhen, W. Wenquan // *Journal of Ethnopharmacology*, 2023. V. 301. 115823. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115823.
3. Воздействие СВЧ-излучения на получение экстрактов из растительного сырья / Т.С. Копысова, А.Б. Спиридонов, К.В. Анисимова, С.В. Владимиров // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 2 (62). С. 62–70.
4. Применение ЭМП СВЧ в технологиях переработки растительного сырья и вторичных ресурсов / В.В. Лисовой, Т.В. Першакова, Н.Н. Корнен и др. // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. № 118. С. 1350–1362.
5. Маркин В.И., Чепрасова М.Ю., Базарнова Н.Г. Основные направления использования микроволнового излучения при переработке растительного сырья (Обзор) // *Химия растительного сырья*. 2014. № 4. С. 21–42.
6. Методы интенсификации процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья / Д.Н. Сёмушкин, Б.Г. Зиганшин, Н.И. Сёмушкин и др. // *Вестник Курганской ГСХА*. 2023. № 1 (45). С. 78–88.

7. Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A Powerful and Greener Alternative to the Latest Solid-Liquid Extraction Techniques / D. Naviglio, P. Scarano, M. Ciaravolo, M. Gallo // *Foods*. 2019. V. 8. P. 245. DOI: 10.3390/foods8070245.
8. More P.R., Jambrak A.R., Arya S.S. Green, environment-friendly and sustainable techniques for extraction of food bioactive compounds and waste valorization // *Trends in Food Science & Technology*. 2022. V. 128. P. 296–315. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.08.016.
9. ГОСТ 22839-88. «Корни и корневища солодки. Технические условия». Введ. 01.01.1989.
10. Charpe T.W., Rathod V.K. Extraction of glycyrrhizic acid from licorice root using ultrasound: Process intensification studies // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2012. V. 54. P. 37–41. DOI: 10.1016/j.cep.2012.01.002.
11. Superheated water extraction of glycyrrhizic acid from licorice root / M.A. Shabkhiz, M.H. Eikani, Z.B. Sadr, F. Golmohammad // *Food Chemistry*. 2016. V. 210. P. 396–401. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.05.006.
12. Ultrasonic microwave-assisted micellar extraction and purification of flavonoids from licorice by metal complex and antisolvent recrystallization / W. Zijian, Z. Xiuhua, Z. Dongmei et al. // *LWT*. 2021. V. 147. 111501. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111501.
13. Патент RU 2766006 «Колонный СВЧ-экстрактор» / В.Ю. Овсянников, В.В. Торощев, Н.Н. Лобачева, С.А. Трунов, М.А. Лобачева. Оpubл. 07.02.2022.
14. Патент RU 192484 «Экстрактор для системы твердое тело-жидкость» / И.Р. Шегельман, А.С. Васильев. Оpubл. 18.09.2019.
15. Химические аспекты развития технологии СВЧ I. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения / Э.А. Гюльмалиев, В.Ф. Третьяков, Р.М. Талышинский и др. // *История и педагогика естествознания*. 2016. № 2. С. 59–68.
16. Молодцова М.А., Севастьянова Ю.В. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения в промышленности (Обзор) // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2017. № 2 (356). С. 173–187. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.173
17. ГОСТ 22840-77 «Экстракт солодкового корня. Технические условия». Введ. 01.01.1979.

### References

1. Babich O.O., Ulrich E.V., Larina V.V., Bakhtiyarova A.H. Study of the composition and properties of Glycyrrhiza Glabra extracts grown in the Kaliningrad region and the prospects for its use. *Pishchevyye sistemy*, 2022, vol. 5(3), pp. 261–270. DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-3-261-270. (In Russ.)
2. Binbin Y., Junling H., Wenbin L., Lin L., Min Y., Zhongzhen Z., Wenquan W. A review on the plant resources of important medicinal licorice. *Journal of Ethnopharmacology*, 2023, vol. 301, 115823. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115823.
3. Копысова Т.С., Спиридонov А.В., Анисимова К.В., Владимиров С.В. Effect of microwave radiation on obtaining extracts from plant materials. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2020, vol. 2 (62), pp. 62–70. (In Russ.)
4. Lisovoy V.V., Pershakova T.V., Kornen N.N., Achmiz A.D., Viktorova E.P. Application of microwave electromagnetic fields in technologies for processing plant materials and secondary resources. *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, vol. 118, pp. 1350–1362. (In Russ.)
5. Markin V.I., Cheprasova M.Yu., Bazarnova N.G. Main directions of using microwave radiation in processing plant raw materials (Review). *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, vol. 4, pp. 21–42. (In Russ.)
6. Semushkin D.N., Ziganshin B.G., Semushkin N.I., Dmitriev A.V., Maksimov I.I., Kazakov Yu.F. Methods of intensification of processes of extraction of biologically active substances from plant raw materials. *Vestnik Kurganskoy GSKHA*, 2023, vol. 1(45), pp. 78–88. (In Russ.)
7. Naviglio, D., Scarano, P., Ciaravolo, M., Gallo, M. Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A Powerful and Greener Alternative to the Latest Solid-Liquid Extraction Techniques. *Foods*, 2019, vol. 8, 245. DOI: 10.3390/foods8070245.

8. More P.R., Jambrak A.R., Arya S.S. Green, environment-friendly and sustainable techniques for extraction of food bioactive compounds and waste valorization. *Trends in Food Science & Technology*. 2022, vol. 128, pp. 296–315. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.08.016.

9. GOST 22839-88. “Korni i kornevishcha solodki. Tekhnicheskiye usloviya” [GOST 22839-88 “Roots and rhizomes of licorice. Technical conditions”]. Introduction 01.01.1989.

10 Charpe T.W., Rathod V.K. Extraction of glycyrrhizic acid from licorice root using ultrasound: Process intensification studies. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2012, vol. 54, pp. 37–41. DOI: 10.1016/j.cep.2012.01.002.

11 Shabkhiz M.A., Eikani M.H., Sadr Z.B., Golmohammad F. Superheated water extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. *Food Chemistry*, 2016, vol. 210, pp. 396–401. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.05.006.

12 Zijian W., Xiuhua Z., Dongmei Z., Yuangang Z., Lingling W., Mingfang W., Li W., Yanjie L., Qian Z. Ultrasonic microwave-assisted micellar extraction and purification of flavonoids from licorice by metal complex and antisolvent recrystallization. *LWT*, 2021, vol. 147, 111501. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111501.

13. Ovsyannikov V.Yu., Toroptsev V.V., Lobacheva N.N., Trunov S.A., Lobacheva M.A. *Patent RU 2766006 “Kolonnny SVCH-ekstraktor”* [Patent RU 2766006 “Columnar microwave extractor Columnar microwave extractor”]. Publ. 07.02.2022.

14. Schegelman I.R., Vasiliev A.S. *Patent RU 192484 “Ekstraktor dlya sistemy tverdoye telo-zhidkost”* [Patent RU 192484 “Extractor for solid-liquid system”]. Publ. 18.09.2019.

15. Gyulmaliev E.A., Tretyakov V.F., Talyshinsky R.M., Borisov V.P., Movsumzade E.M. Chemical aspects of microwave technology development I. Possibilities and prospects of using microwave radiation. *Istoriya i pedagogika yestestvoznaniya*, 2016, vol. 2, pp. 59–68. (In Russ.)

16. Molodtsova M.A., Sevast'yanova Yu.V. Possibilities and prospects of using microwave radiation in industry (Review). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2017, vol. 2(356), pp. 173–187. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.173. (In Russ.)

17. GOST 22840-77 “Ekstrakt solodkovogo kornya. Tekhnicheskiye usloviya” [GOST 22840-77 “Licorice Root Extract. Specifications”]. Introduction 01.01.1979.

#### ***Информация об авторах***

**Соколова Екатерина Владимировна**, аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия; k\_sokolova93@mail.ru

**Максименко Юрий Александрович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия; amxs1@yandex.ru

#### ***Information about the authors***

**Ekaterina V. Sokolova**, graduate student of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia; k\_sokolova93@mail.ru

**Yuriy A. Maksimenko**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia; amxs1@yandex.ru

***Статья поступила в редакцию 20.01.2025***

***The article was submitted 20.01.2025***