

to increase the density of solar radiation reaching the receiver surface. The main indicators of the efficient use of solar power installations with semitoroidal concentrators are the coefficient of geometrical concentration  $k$ , optical efficiency and solar energy transformation efficiency of the receiver. The paper presents the figures and the methodology for determining the geometric concentration ratio for each type of solar semitoroidal concentrators. It has been found that the application of solar energy semitoroidal concentrators increases the solar energy concentration factor by 2 ... 180 times as compared with solar plants without solar energy concentrators. The best cost-efficiency option of a solar installation with semitoroidal concentrators can be power plants with a concentration factor of 5 ... 8.

**Key words:** solar power plants, semitoroidal concentrators, hybrid solar modules.

### References

1. Solnechnyy modul' s kontsentratorom (varianty) [Solar module with a concentrator (options)]: RF patent for invention № 2282798 / D.S. Strebkov // BI, 2006.

2. Solnechnyy modul' s kontsentratorom [Solar module with a concentrator]: RF patent for invention № 2396493 / D.S. Strebkov, M. Yu. Ross, T.A. Akhmed, I.V. Mitin 2010 // BI, 2010.

3. Mitina I.V. PhD thesis "Povyshenie effektivnosti solnechnykh kollektorov s vakuumirovannymi stek-

lopaketami [Improving the efficiency of solar collectors with evacuated glass holders]". SSE All-Russian Institute for Farm Power Supply, 2009.

4. Solnechnaya ustanovka s kontsentratorom [Solar plant with a concentrator]: RF patent for invention number № 2338128 / D.S. Strebkov, I.V. Mitin // BI, 2008.

5. Solnechnyy modul' s kontsentratorom [Solar module with a concentrator]: RF patent for the invention № 2311701 / D.S. Strebkov, M.S. Yerkhov, A.I. Antonenko, Ye.S. Ivanchevskaya // BI, 2007.

*Received on April 27, 2016*

УДК 542.61: 66.086.2 : 661.12

**РУДОБАШТА СТАНИСЛАВ ПАВЛОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>1</sup>

E-mail: rudobashta@mail.ru

**КАЗУБ ВАЛЕРИЙ ТИМОФЕЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>2</sup>

E-mail: bukva46@mail.ru

**КОШКАРОВА АННА ГЕННАДЬЕВНА**, преподаватель<sup>2</sup>

E-mail: vip.any@yandex.ru

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

<sup>2</sup>Пятигорской медико-фармацевтический институт – филиал ГБОУ ВПО ВолгГМУ Минздрав РФ, пр. Калинина, 11, Пятигорск, 357500, Российская Федерация

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ СЫРЬЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

Разработка научно-обоснованной, экологичной технологии интенсивного экстрагирования, снижающей вероятность появления металлических примесей в целевом продукте, имеет актуальное практическое значение. С этой целью в работе исследована кинетика водного экстрагирования биологически активных соединений из растительного сырья (водорастворимых веществ из софоры японской) импульсным электрическим полем высокой напряженности. Экспериментальные исследования кинетики экстрагирования биологически активных соединений из растительного сырья (водорастворимых веществ из софоры япон-

ской) с применением электрического поля высокой напряженности показали зависимость выхода целевого продукта от длительности импульса электрического поля. Максимальный выход биологически активных веществ достигался при длительности импульса 0,2 мкс. В пробах, взятых из экстракционного аппарата, после экстрагирования сырья примесей металлов не обнаруживается, что свидетельствует о чистоте получаемого экстракта. Технология экстрагирования с применением импульсного электрического поля высокой напряженности позволяет по сравнению с электроразрядным экстрагированием сократить время процесса и энергозатраты примерно в 10 раз при незначительном уменьшении выхода целевого продукта. Полученные значения объемного коэффициента массопередачи по жидкой фазе в процессе импульсного экстрагирования водорастворимых веществ из софоры японской с применением электрического поля высокой напряженности при различных соотношениях фаз могут быть использованы при кинетическом расчете аппарата. Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили предложить научно-обоснованный эффективный метод решения важной проблемы – организации интенсивной ресурсосберегающей технологии водного экстрагирования из растительного сырья биологически активных соединений, а также исключить примеси металлов в водных экстрактах.

**Ключевые слова:** водное экстрагирование, импульсное электрическое поле, высокая напряженность, софора японская, длительность импульса, соотношение фаз, коэффициент массопередачи.

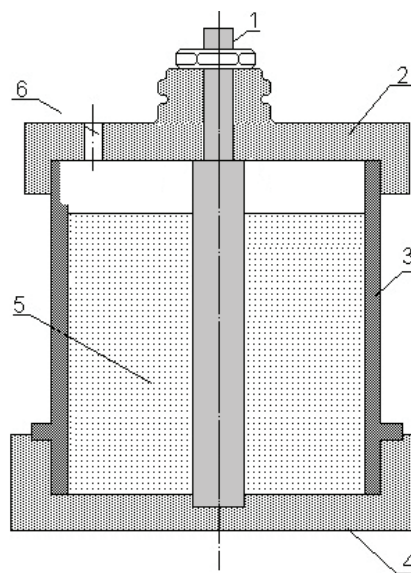
**Ведение.** В последнее время успешно развивается электроразрядный способ водного экстрагирования биологически активных соединений из растительного сырья. Основными преимуществами способа являются высокая скорость процесса и полнота извлечения веществ [1–3]. Однако при данном способе экстрагирования происходит загрязнение извлечения продуктами электрической эрозии электродов, что требует принятия специальных мер по снижению примесей до уровня ПДК. Разрабатываемый способ экстрагирования с применением импульсного поля выгодно отличается от электроразрядного тем, что при высокой ожидаемой степени извлечения сводит к минимуму вероятность загрязнения.

Для выявления технико-экономических преимуществ способа необходимо на первом этапе исследований экспериментально определить режимные технологические параметры способа, что в дальнейшем позволит подойти к разработке модели массопереноса, описывающей данный процесс. Наличие же физической модели процесса экстрагирования позволило бы определять параметры процесса извлечения целевого компонента для различного сырья, выявлять и учитывать специфику экстрагирования, описывать кинетику, оптимизировать выход извлекаемого вещества, а также решать проблему интенсификации процессов экстрагирования.

**Цель работы** – исследование кинетики водного экстрагирования биологически активных соединений из софоры японской под воздействием импульсного электрического поля высокой напряженности.

**Материалы и методы.** Экстрагируемое сырье в определенном отношении с экстрагентом помещали в экстракционный аппарат (рис. 1), снабженный устройством подачи на электроды высоковольтных импульсов напряжения с регулируемой амплитудой и длительностью импульса.

В аппарате объемом 500 мл проводили серию опытов, варьируя массовое отношение загружаемых фаз, при постоянстве других технологических параметров. Количество извлеченных экстрактивных



**Рис. 1. Конструкция экстракционного аппарата:**  
1 – центральный электрод; 2 – крышка;  
3 – заземленный корпус; 4 – основание; 5 – смесь сырья с водой; 6 – технологическое отверстие

ных компонентов определяли в каждом опыте через 20, 40, 60, 80, 100, 120 с после начала опыта.

**Результаты и обсуждение.** Первые опыты по экстрагированию показали явную зависимость количества извлеченных веществ от соотношения фаз «Твердое-жидкость» (Т/Ж) (табл. 1).

Зависимость выхода целевого продукта от длительности импульса электрического поля (рис. 2) показывает, что при сокращении длительности импульса от 0,5 мкс до 0,15 мкс пропорционально увеличивается время обработки, необходимое для максимального извлечения веществ из растительного сырья.

При сокращении длительности импульса наблюдается увеличение количества извлекаемых

Таблица 1

Условия проведения эксперимента\*

№ опыта	Сырье (Т), кг	Экстрагент (Ж), кг	Т/Ж	Время, с	Количество биологически активных компонентов, кг·10 <sup>-3</sup>
1 опыт	0,0390	0,390	1/10	120	0,693
2 опыт	0,0300	0,390	1/13	120	1,180
3 опыт	0,0195	0,390	1/20	120	1,146
4 опыт	0,0130	0,390	1/26	120	0,502

\* Амплитуда импульса напряжения 25 кВ; частота посылки импульсов 5 имп/с.

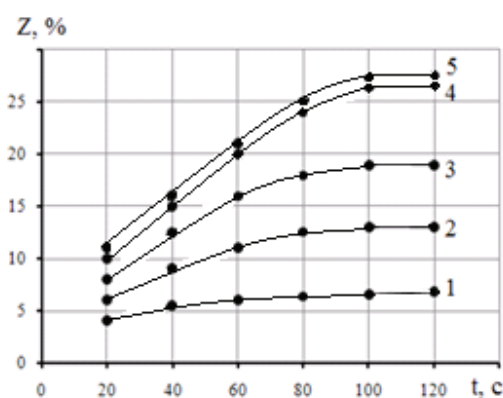


Рис. 2. Зависимость выхода экстрактивных веществ (Z) от времени воздействия поля (t) при различной длительности импульса: 1 – 0,5 мкс; 2 – 0,4 мкс; 3 – 0,3 мкс; 4 – 0,2 мкс; 5 – 0,15 мкс; соотношение Т/Ж = 1/13

веществ, которое достигает максимума при длительности импульса 0,15-0,2 мкс. При сокращении длительности импульса в 2,5 раза количество извлеченных веществ в процентном отношении возросло с 7% при длительности импульса 0,5 мкс до 27...27,5% при длительности импульса 0,15 мкс. Это хорошо согласуется с данными, указывающими на увеличение глубины проникновения поля в вещество при частотной характеристике электрического поля, соответствующей импульсу напряжения длительностью  $0,2 \cdot 10^{-6}$  с.

При таком времени воздействия глубина проникновения поля в частички сырья соответствует их размерам, что в свою очередь увеличивает объем, подверженный воздействию поля высокой напряженности.

Такое явление можно объяснить качественными изменениями в процессе воздействия поля на вещество. Более короткое время воздействия поля при неизменной напряженности приводит к увеличению глубины проникновения электромагнитной волны в среду, что в свою очередь увели-

чивает объем сырья, подверженного полемому воздействию. Максимальное количество извлекаемых веществ достигается при длительности импульса 0,15...0,2 мкс.

Поскольку количество извлеченных веществ под воздействием импульсного поля длительностью 0,15 и 0,2 мкс практически одинаково, то с целью технического упрощения электрической схемы источника импульсов напряжения выбираем длительность импульса 0,2 мкс.

Исследована зависимость выхода экстрактивных веществ от соотношения фаз Т/Ж (табл. 2). Увеличение отношения Т/Ж от 1/26 до 1/13 приводит к увеличению выхода веществ на 9%.

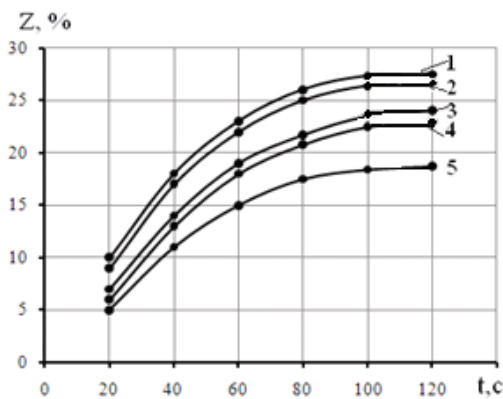
Таблица 2

Зависимость выхода экстрактивных веществ от соотношения фаз

Соотношение фаз Т/Ж	Средний выход экстрактивных веществ (Z), %
1/10	24,0
1/13	27,5
1/15	26,7
1/20	23,0
1/26	18,7

Оптимальным соотношением фаз следует считать соотношение 1/13, так как при этом соотношении наблюдается максимальный выход извлекаемых компонентов (рис. 3) при обработке в течение 120 с. Дальнейшее увеличение времени обработки не приводит к увеличению извлечений, т.к. наступает режим насыщения.

Относительное уменьшение экстрагирующей жидкости, в отличие от соотношений 1/15; 1/20; 1/26 позволит повысить экономическую эффективность процесса приготовления как сгущенных экстрактов, так и порошков за счет снижения затрат энергии на выпаривание жидкой фазы.



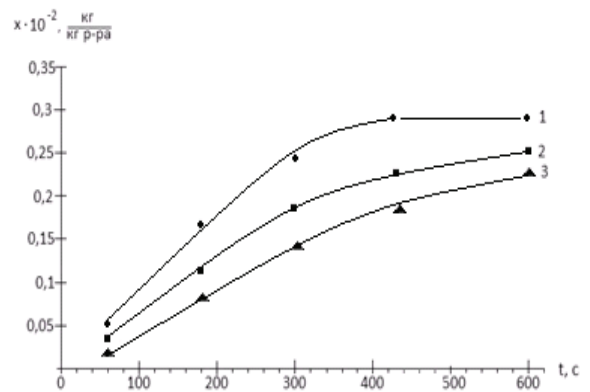
**Рис. 3.** Зависимость выхода экстрактивных веществ ( $Z$ ) от времени воздействия поля ( $t$ ) при различном соотношении фаз Т/Ж: 1 – 1/13; 2 – 1/15; 3 – 1/10; 4 – 1/20; 5 – 1/26; длительность импульса 0,2 мкс

Дальнейшее уменьшение количества воды нецелесообразно, так как сырьё при набухании впитывает экстрагент и между частицами, за счет их набухания и увеличения в объеме будет отсутствовать прослойка жидкости, которая является неотъемлемым условием возникновения на границе раздела фаз пиндеромоторных сил.

Проведено сравнение результатов исследований по извлечению водорастворимых веществ из софоры японской при использовании для интенсификации процесса двух способов: 1) импульсного поля; 2) электрического разряда.

При электроразрядном экстрагировании количество экстрактивных веществ после обработки достигает максимума (29%) при разрядной емкости  $C = 0,6$  мкФ, межэлектродном промежутке  $l = 1,0$  мм и амплитуде импульса напряжения 25 кВ, в то время как при экстрагировании под воздействием импульсного поля высокой напряженности, при сопоставимом времени извлечения и напряжении импульса, равном 25 кВ, выход соответствует 27,5%, т.е. несколько ниже. Но в случае безразрядного экстрагирования энергетические затраты в 10 раз меньше за счет снижения величины зарядной емкости и длительности импульса, т.к. нет необходимости инициировать разряд с большим током. Так, для приготовления 1 кг экстракта из листьев софоры японской при 3-кратной смене экстрагента требуется 90 000 импульсов с энергией 30 Дж, что соответствует затраченной мощности 25,2 Вт·ч. Для приготовления 100 кг экстракта затраты энергии составят 2,5 кВт·ч. При электроразрядном экстрагировании энергия в импульсе составляет 300...320 Дж, что в 10 раз больше.

На рисунке 4 приведены кинетические кривые, показывающие изменение концентрации извлекаемого компонента в экстрагенте в ходе процесса извлечения вещества из софоры японской импульсным способом.



**Рис. 4.** Изменение концентрации биологически активных компонентов в экстракте ( $x$ ) от времени ( $t$ ) в процессе импульсного экстрагирования при различном соотношении фаз Т/Ж: 1 – 1/13; 2 – 1/20; 3 – 1/26; длительность импульса 0,2 мкс

Кинетические кривые, построенные по результатам опытов при оптимальном режиме экстрагирования, асимптотически приближаются к равновесным значениям. Это указывает на то, что система в конце опыта достаточно близка к состоянию равновесия, и тем раньше, чем больше величина отношения Т/Ж в условиях опыта (кривая 1). Кривые 2 и 3 также приближаются к равновесному состоянию, но при соотношениях Т/Ж 1/20 и 1/26 процесс пойдет при большем времени обработки. Однако процесс экстрагирования нецелесообразно доводить до полного равновесия, так как возможен выход балластных веществ, препятствующих выделению экстрагируемого компонента. По мере экстрагирования концентрация извлеченных веществ возрастает, но насыщение при меньшей плотности смеси наступает раньше.

Для анализа кинетики рассматриваемого процесса полученные данные обработаны в соответствии с теорией массопередачи [4–6].

Рассмотрим уравнение массопередачи экстрагируемого вещества по жидкой фазе применительно к аппарату периодического действия по обоим фазам (замкнутый процесс). Масса извлеченного вещества в жидкой фазе в момент времени  $t$  равна  $M$ , за время  $dt$  содержание экстрактивных веществ в жидкости увеличится на  $dM = N \cdot dx$ , где  $N$  – масса раствора в аппарате, кг;  $x$  – массовая доля распределяемого вещества в растворе, кг/(кг раствора).

С учетом этого запишем уравнение массопередачи по жидкой фазе [7, 8]:

$$dM = N \cdot dx = K_x \cdot (x_p - x) \cdot S \cdot dt, \quad (1)$$

где  $S$  – поверхность контакта фаз в аппарате, м<sup>2</sup>;  $K_x$  – коэффициент массопередачи по жидкой фазе, кг/((кг/кг раствора) · м<sup>2</sup> · с);  $x_p$  – равновесная концентрация биологически активных компонентов в экстрагенте, кг/(кг раствора).

Поскольку поверхность контакта фаз в рассматриваемом случае трудноопределима, представим выражение  $K_X \cdot S$  в виде:

$$K_X \cdot S = K_X \cdot s \cdot V_{жс} = K_{XV} \cdot V_{жс}, \quad (2)$$

где  $K_{XV}$  – объемный коэффициент массопередачи, кг/((кг/кг раствора) · м<sup>3</sup> · с);  $V_{жс}$  – объем раствора в экстракторе, м<sup>3</sup>;  $s$  – удельная поверхность контакта фаз, м<sup>2</sup>/ (м<sup>3</sup> раствора).

С использованием объемного коэффициента массопередачи  $K_{XV}$  уравнение массопередачи (1) принимает вид:

$$dM = K_{XV} \cdot (x_p - x) \cdot V_{жс} \cdot dt. \quad (3)$$

Разделив переменные в уравнении (3) и интегрируя от 0 до  $t$  и от  $x_n$  до  $x_k$ , получим:

$$t = \frac{1}{V_{жс}} \int_{x_n}^{x_k} K_{XV} \frac{dx}{x_p - x}, \quad (4)$$

где  $t$  – время изменения концентрации распределяемого вещества в жидкой фазе от  $x_n$  до  $x_k$ .

Процесс полевого воздействия на твердую фазу вызывает изменение ее структуры и может приводить к существенному изменению коэффициента массопередачи. В связи с этим представляет интерес анализ изменения этого коэффициента в ходе процесса.

С целью определения коэффициента кривые кинетики (рис. 4) обработаны зональным методом (поинтервально) [9].

Кривые кинетики для каждого из опытов были разбиты на следующие временные интервалы: 0...60, 60...180, 180...300, 300...420, 420...600 с. Для каждого интервала модифицированное уравнение массопередачи по жидкой фазе можно записать в следующей форме:

$$M_i = N \cdot (x_{ki} - x_{ni}) = K_{XVi} \cdot \Delta x_{cpi} \cdot t_i, \quad (5)$$

где  $i$  – номер интервала;  $x_{ni}$ ,  $x_{ki}$  – массовые доли распределяемого вещества в жидкой фазе в начале и в конце интервала, кг/(кг жидкости).

Принимая на каждом концентрационном интервале рабочую и равновесную зависимости линейными, представим среднюю движущую силу процесса по жидкой фазе  $\Delta x_{cpi}$  в виде:

$$\Delta x_{cpi} = \frac{\Delta x_{ni} - \Delta x_{ki}}{\ln \frac{\Delta x_{ni}}{\Delta x_{ki}}}, \quad (6)$$

где  $\Delta x_{ni} = x_p - x_{ni}$ ;  $\Delta x_{ki} = x_p - x_{ki}$ .

С учетом зависимости (6) выразим объемный коэффициент по жидкой фазе из уравнения (5) в виде:

$$K_{XVi} = \frac{N \cdot (x_{ki} - x_{ni})}{t_i \cdot \Delta x_{cpi}}. \quad (7)$$

По уравнению (7) были рассчитаны значения  $K_{XVi}$  для рассматриваемых концентрационных интервалов из кривых кинетики процесса, приведённых на рисунке 5, которым соответствует диапазон рассматриваемого времени  $t$  от 420 до 600 сек. В этих расчетах в качестве равновесных концентраций принимались предельные (асимптотические) значения концентрации распределяемого вещества в жидкой фазе.

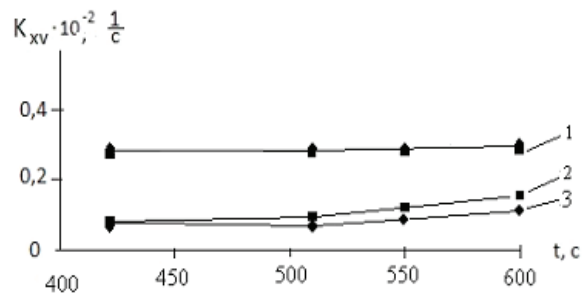


Рис. 5. Зависимость объемного коэффициента массопередачи ( $K_{XV}$ ) от продолжительности экстрагирования ( $t$ ) при соотношении Т/Ж: 1 – 1/13; 2 – 1/20; 3 – 1/26

Результаты проведенных вычислений показывают, что объемный коэффициент массопередачи по жидкой фазе  $K_{XV}$  можно считать постоянным в ходе процесса в диапазоне исследуемых концентраций (рис. 6). Однако он изменяется в зависимости от соотношения фаз в аппарате, а именно: с увеличе-

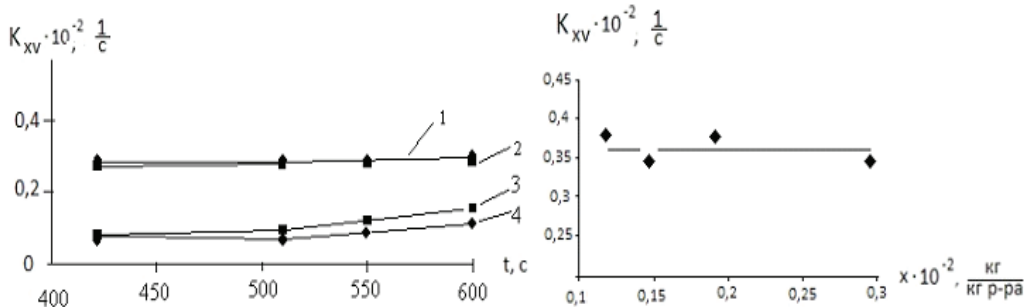


Рис. 6. Зависимость объемного коэффициента массопередачи ( $K_{XV}$ ) от массовой доли извлекаемого вещества в жидкой фазе в условиях опытов (Т/Ж = 1/13)

нием отношения Т/Ж коэффициент  $K_{\text{ж}}$  возрастает (рис. 5). Это можно объяснить тем, что уменьшение доли жидкой фазы в аппарате способствует более интенсивному воздействию импульсов электрического поля на систему.

### Выводы

1. Исследования кинетики импульсного экстрагирования биологически активных соединений из растительного сырья (водорастворимых веществ из софоры японской) с применением электрического поля высокой напряженности показали зависимость выхода целевого продукта от длительности импульса электрического поля. Максимальный выход биологически активных веществ достигается при длительности импульса 0,2 мкс.

2. В пробах, взятых из экстракционного аппарата после экстрагирования сырья с применением импульсного электрического поля высокой напряженности, примесей металлов не обнаруживается, что свидетельствует о чистоте получаемого экстракта.

3. Технология экстрагирования с применением импульсного электрического поля высокой напряженности позволяет по сравнению с электроразрядным экстрагированием сократить время процесса и энергозатраты примерно в 10 раз при незначительном уменьшении выхода целевого продукта.

4. Получены значения объемного коэффициента массопередачи по жидкой фазе в процессе импульсного экстрагирования водорастворимых веществ из софоры японской с применением электрического поля высокой напряженности при различных соотношениях фаз в аппарате, которые могут быть использованы при кинетическом расчете аппарата.

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили предложить научно-обоснованный эффективный метод решения важной проблемы – организации интенсивной ресурсосберегающей технологии водного экстрагирования из растительного сырья биологически

активных соединений, а также исключить примеси металлов в готовых лекарственных средствах.

### Библиографический список

1. Казуб В.Т. Кинетика и основы аппаратурно оформленного процесса электроразрядного экстрагирования биологически активных соединений: Дисс. ... докт. техн. наук. Тамбов, 2002. 345 с.

2. Кудимов Ю.Н., Казуб В.Т., Голов Е.В. Кинетика электроразрядного процесса экстрагирования растительного сырья // Изв. вуз.: Химия и химическая технология. 2002. № 1. С. 23–28.

3. Казуб В.Т., Кудимов Ю.Н., Рудобашта С.П., Борисов А.Г. Роль кавитации и пульсирующей пароговой полости в процессах электроразрядного измельчения растительного сырья // Пищевая промышленность. 2004. № 9. С. 21–23.

4. Рудобашта С.П., Казуб В.Т., Борисов А.Г. Влияние режимных параметров процесса на кинетику электроразрядного экстрагирования целевого компонента из растительного сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006. № 12. С. 27–30.

5. Рудобашта С.П., Казуб В.Т., Борисов А.Г. Кинетика массообмена при электроразрядном экстрагировании // Вестник ФГБОУ ВО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2006. № 1. С. 31–34.

6. Рудобашта С.П., Казуб В.Т., Борисов А.Г. Критериальное уравнение для расчета коэффициентов массопередачи по твердой фазе при электроразрядном экстрагировании // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006. № 10. С. 12–14.

7. Седов А.А. Интенсификация процессов экстрагирования из твердых пористых тел в пульсационных аппаратах и методы их расчета: Дисс. ... канд. тех. наук. Иваново, 2001. 121 с.

8. Пахоменкова Г.П. Интенсификация процесса экстрагирования растительных масел с применением низкочастотных колебаний: Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. Л., 1985. 30 с.

9. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия, 1980. 248 с.

Статья поступила 20.04.2016

## STUDY OF KINETICS OF RAW MATERIAL EXTRACTION UNDER THE INFLUENCE OF PULSED HIGH-INTENSITY FIELD

**STANISLAV P. RUDOBASHTA**, DSc (Eng), Professor<sup>1</sup>

E-mail: rudobashta@mail.ru

**VALERY T. KAZUB**, DSc (Eng), Professor<sup>2</sup>

E-mail: bukva46@mail.ru

**ANNA G. KOSHKAROVA**, lecturer<sup>2</sup>

E-mail: vip.any@yandex.ru

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

<sup>2</sup>Pyatigorsk Medical Pharmaceutical Institute – the branch of Volgograd State Medical University at the RF Ministry of Health Care

The development of science-based eco-friendly technology of intensive extraction that reduces the occurrence probability of metallic impurities in the base product has theoretical and practical significance. To this end, the authors have analyzed water extraction kinetics of biologically active compounds from plant raw material (water-soluble substances from Chinese scholar tree (*Sophora japonica*)) using pulsed high-intensity electric field. The experiment results have shown that the end product depends on electric field pulse duration, strength, impulse frequency and solid-to-liquid ratio. Volumetric coefficient of mass-transfer value has been obtained and can be used in the kinetic calculation. The maximum yield of biologically active substances is achieved at a pulse duration of 0.2 ms. The samples taken from the extraction unit after the raw material extraction have shown no metal impurities, thus indicating the purity of the resulting extract. The extraction technique based on the pulsed high intensity electric field allows to reduce time and energy consumption in about 10 times with a slight decrease in the desired product yield as compared with the electric discharge extraction process. The resulting mass transfer volumetric coefficient for liquid phase during the pulsed extraction of water soluble substances from *Sophora japonica* using high intensity electric field at various phase ratios can be used for the kinetic calculation of the unit. The theoretical and experimental research results have made it possible to offer a scientific evidence-based effective method for solving an important problem, i.e. the implementation of an intensive resource-saving technology of water extraction from plant-origin biologically active compounds, as well as to eliminate metal impurities in water extracts.

**Key words:** water extraction, pulse electric field, high intensity, Chinese scholar tree (*Sophora japonica*), impulse duration, phase ratio, mass-transfer coefficient.

### References

1. Kazub V.T. Kinetika i osnovy apparatnogo formirovaniya protsessov elektrorazryadnogo ekstragirovaniya biologicheski aktivnykh soedineniy [Kinetics and basics of implementation of electric extraction of biologically active compounds]. DSc (Eng) thesis, Tambov, 2002. 345 p.
2. Kudimov Yu.N., Kazub V.T., Golov Ye.V. Kinetika elektrorazryadnogo protsessa ekstragirovaniya rastitel'nogo syr'ya [Kinetics of electric extraction of plant raw materials] // Chemistry and Chemical Engineering. Issue 1. 2002. Pp. 23–28.
3. Kazub V.T., Kudimov Yu.N., Rudobashta S.P., Borisov A.G. Rol' kavitatsii i pul'siruyushchey parogazovoy polosti v protsessakh elektrorazryadnogo izmel'cheniya rastitel'nogo syr'ya [The role of cavitation and pulsed-vapor cavity in the processes of plant raw material electric-grinding]. Food Industry. Issue 9. 2004. Pp. 21–23.
4. Rudobashta S.P., Kazub V.T., Borisov A.G. Vliyaniye rezhimnykh parametrov protsessa na kinetiku elektrorazryadnogo ekstragirovaniya tselevogo komponenta iz rastitel'nogo syr'ya [Influence of the process operating parameters on the kinetics of electric extraction of the target component from plant materials] // Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2006. Issue 12. Pp. 27–30.
5. Rudobashta S.P., Kazub V.T., Borisov A.G. Kinetika massoobmena pri elektrorazryadnom ekstragirovaniy [The kinetics of mass transfer under the influence of electric extraction] // Herald of FSBEI HPE Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin. 2006. Issue 1. Pp. 31–34.
6. Rudobashta S.P., Kazub V.T., Borisov A.G. Kriteriial'noe uravnenie dlya rascheta koeffitsientov massoperedachi po tverdoy faze pri elektrorazryadnom ekstragirovaniy [Criterion equation for calculating of a mass transfer coefficient for a solid phase under the influence of electric extraction] // Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2006. Issue 10. Pp. 12–14.
7. Sedov A.A. Intensifikatsiya protsessov ekstragirovaniya iz tverdykh poristyykh tel v pul'satsionnykh apparatakh i metody ikh rascheta [Intensification of extraction processes from solid porous bodies in pulsating devices and methods of their calculation]. PhD (Eng) thesis. Ivanovo, 2001. 121 p.
8. Pakhomenkova G.P. Intensifikatsiya protsessa ekstragirovaniya rastitel'nykh masel s primeneniem nizkочастотных колебаний [Intensification of extraction process of vegetable oils with the application of low-frequency vibrations]. Self-review of PhD (Eng) thesis. L., 1985. 30 p.
9. Rudobashta S.P. Massoperenos v sistemakh s tverdoy fazoy [Mass transfer in solid phase systems]. M.: Khimiya. 1980. 248 p.

*Received on April 20, 2016*