Поступила в редакцию *24.03.2022*

УДК 66.088 DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-40-46

Применение импульсного электрического поля для интенсификации процессов экстрагирования

В. Т. Казуб[*,1], А. Г. Кошкарова[*]

** Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России, Пятигорск, Россия*

Аннотация

Важным показателем качества лекарственных средств является отсутствие в них примесей металлов. Основным источником попадания металлических примесей в готовые лекарственные формы является эрозия металлических частей оборудования, в основном в процессе измельчения растительного сырья, а также на других стадиях технологического процесса получения лекарственных средств. Поэтому разработка научно обоснованной технологии экстрагирования, решающей одновременно проблемы экологии и снижающей вероятность появления металлических примесей в целевом продукте, имеет актуальное научное и практическое значение.

Электрическое импульсное поле с напряженностью порядка 10^6 В/м, применяемое для интенсификации процесса водного экстрагирования, не влияет на качественный состав и количественное содержание извлеченных биологически активных веществ. Определение содержания примесей металлов в экстракте проводили согласно методике Государственной Фармакопеи (ГФ XI, Т. 2. с. 161).

Показано, что в анализируемых экстрактах, полученных при экстрагировании сырья с применением импульсного электрического поля высокой напряженности, примесей металлов не обнаруживается.

Ключевые слова

Напряженность, электрическое поле, экстрагирование, интенсификация.

Введение. Для интенсификации процессов экстрагирования успешно используется электрический разряд в жидкости [1–5], при котором основным действующим фактором интенсификации является кавитация и ударные волны [6, 7]. Извлекаемые при экстрагировании активные вещества сохраняются в нативном виде [8, 9]. Однако при этом процессе возможно загрязнение извлечений продуктами эрозии электродов [10].

В данной работе кратко описан способ экстрагирования растительного лекарственного сырья, при котором исключается эрозия электродов, показано влияние на массообмен при экстрагировании сырья электрофизических процессов, инициируемых импульсным электрическим полем высокой напряженности [11].

[1] *Для переписки:*
Email: bukva46@mail.ru

Материалы и методы решения задач

Под действием поля с напряженностью порядка 10^6 В/м возникающая пондеромоторная сила оценивается величиной $5{\cdot}10^{10}$ Н/м^2. Разрывные усилия, возникающие под действием поля такой напряженности, будут способствовать нарушению сплошности частичек, и это явление будет продолжаться по мере воздействия импульсного поля высокой напряженности. Особо значимо действие пондеромоторных сил будет проявляться при использовании в качестве экстрагирующей жидкости воды, имеющей диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 81$.

Электрическое поле в структуре растительного материала, пропитанного водой и имеющего малую диэлектрическую проницаемость ($\varepsilon{\sim}7$), много сильнее, чем на участках с большей диэлектрической проницаемостью. Возникающие разрывные усилия будут способствовать измельчению твердых частичек растительного сырья, что, соответственно, приведет к увеличению поверхности, контактирующей с экстрагентом. Для повышения экологии процесса экстрагирования нами предложено заменить некоторые токсичные экстрагенты на воду. С целью подтверждения целесообразности замены токсичного экстрагента на воду нами проведены опыты, позволяющие количественно оценить полноту извлечения флавоноидов этанолом различной концентрации и водой.

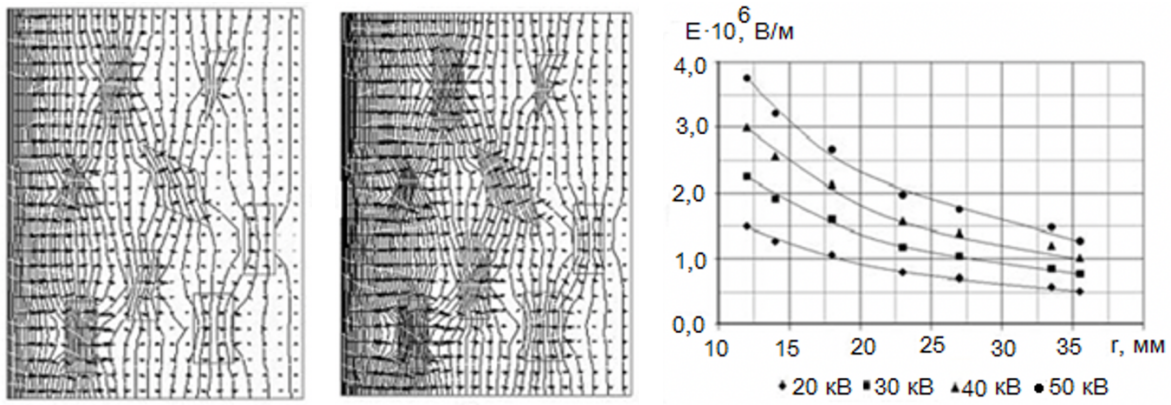
Использование в качестве экстрагента 60%-го раствора этанола позволяет извлекать наибольшее количество экстрактивных веществ из листьев софоры японской (28.75%). Проведение водной экстракции традиционным для фармации методом мацерации позволяет извлекать 19.3% флавоноидов, что меньше на 9.45%, а с использованием импульсного электрического поля водное извлечение флавоноидов составляет 24.64%, что примерно на 4% меньше, чем дает 60% этанол. Однако при этом время извлечения сокращается на 165 часов и не используется токсичный экстрагент.

Результаты

Моделированием установлено, что распределение силовых линий и напряженность электрического поля зависят от соотношения сырья и экстрагента Т/Ж и от соотношения диаметров экстракционной камеры D и высоковольтного электрода d. По мере уменьшения соотношения d/D напряженность поля на границах раздела сред падает от $5.3{\cdot}10^6$ В/м до $3.0{\cdot}10^6$ В/м, что соответствует фундаментальным представлениям о зависимости напряженности поля от величины межэлектродного промежутка. На рисунке 1, 1а показаны модельные картины распределения электрического поля, полученные при следующих параметрах: диэлектрическая проницаемость частицы — 7; диэлектрическая проницаемость экстрагента — 81; внутренний диаметр камеры — 80 мм; диаметр высоковольтного электрода 4 мм; соотношение сырьё–экстрагент 1:13.

Разность потенциалов 20 кВ на рисунке 1а; и 30 кВ на рисунке 1б. На картинах явно выражено сгущение силовых линий поля на границах частиц и, соответственно, скачкообразный рост локальной напряженности поля.

На рисунке 1в показано изменение напряженности электрического поля в объеме камеры по мере удаления от высоковольтного электрода.



а) б) в)

Рисунок 1 — Картины распределения электрического поля в экстракционной камере. а), б) и в) зависимость напряженности электрического поля E от расстояния r до высоковольтного электрода.

В экстракционной камере существует граница раздела вода–воздух, по которой существует вероятность электрического пробоя. Известно, что напряженность электрического поля, при которой наступает пробой по поверхности воды на импульсном напряжении, оценивается величиной (2.2–2.5)·10^6 В/м в зависимости от проводимости воды. В данном случае, учитывая данные о проводимости суспензии, обработанной электрическим полем, напряженность электрического поля, при которой наступает перекрытие можно принять равным 2.2·10^6 В/м. Такая напряженность электрического поля 2.25·10^6 В/м реализуется при импульсах напряжения амплитудой 30 кВ на расстоянии от высоковольтного электрода 12–15 мм (рисунок 1в) и уменьшается по мере удаления от электрода. При напряжении импульса 50кВ, такая напряженность поля соответствует расстоянию от электрода равном 37 мм.

Для исключения даже частичных разрядов по границе раздела рекомендуется напряжение импульса величиной 25 кВ, при этом напряженность электрического поля по величине будет ниже пробивной напряженности по границе раздела сред.

Результаты моделирования в условиях, приближенным к параметрам экстрагирования, позволяют дополнить физические представления о процессах, реализуемых в экстракционных аппаратах под воздействием поля высокой напряженности.

В экстракционной камере существует граница раздела между жидкой смесью и изолятором корпуса (боковые стенки), которая, с точки зрения электрической прочности, является слабым звеном, обладает наименьшим пробивным напряжением, по которому возможен электрический пробой (рисунок 2).

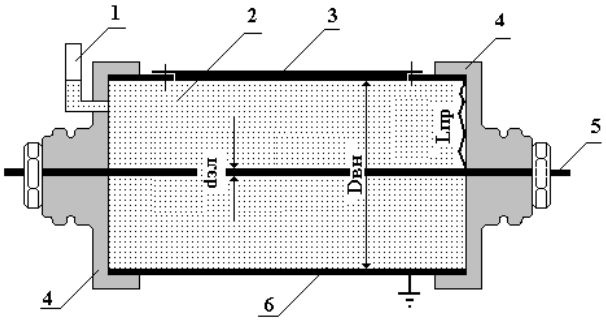


Рисунок 2 — Конструкция экстракционной камеры. 1 — мерное стекло; 2 — смесь сырья с водой; 3 — крышка камеры; 4 — основание; 5 — высоковольтный электрод; 6 — заземленный корпус.

Зазор между электродом и корпусом камеры коаксиального исполнения должен обеспечивать максимальную напряженность электрического поля, с другой стороны, исключать возможность развития электрического разряда на границе изолятора с жидкостью ($L_{пр}$) в экстракционной камере (рисунок 2).

Обсуждение полученных результатов

Экспериментальными исследованиями определено соотношение внутреннего диаметра камеры и высоковольтного электрода, при котором исключается, для определенных размеров камеры, развитие разряда по границе раздела изолятор–жидкость ($L_{пр}$):

$$\frac{D_{вн} \cdot (\frac{U_{пр.смеси}}{U_{пов}} - 1)}{2{,}3} \leq d_{эл} \leq \frac{D_{вн} \cdot \left(\frac{U_{пр.смеси}}{U_{пов}} - 1\right)}{1{,}7},$$

где $d_{эл}$ — диаметр высоковольтного электрода; $D_{вн}$ — внутренний диаметр камеры; $U_{пр.смеси}$ — пробивное напряжение смеси; $U_{пов}$ — напряжение пробоя по поверхности раздела ($L_{пр}$) изолятор–жидкость.

Заключение

Таким образом, на основании всестороннего анализа существующих представлений о влиянии различного рода факторов на массоопередачу предложен новый экологически чистый способ экстрагирования, основанный на комплексном воздействии факторов, сопровождающих воздействие электрического поля высокой напряженности, инициируемое импульсами напряжения специальной формы.

Теоретическим и экспериментальным путем доказана целесообразность применения импульсного электрического поля высокой напряженности для извлечения биологически активных компонентов из сырья, свободных от примесей и с сохранением их в нативном виде.

Проведенные исследования послужили основой для создания пионерской 4–х электродной установки порционного типа для экстрагирования лекарственного сырья с применением импульсного электрического поля высокой напряженности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Казуб В. Т. Кинетика и основы аппаратурного оформления процессов электроразрядного экстрагирования биологически активных соединений. Автореф. дисс. докт. техн. наук – Тамбов, 2002, 32 с.

[2]. Рудобашта С. П., Карташов Э. М. Диффузия в химико–технологических процессах. 2–е изд., перер. и доп. М.: Колос–С, 2010, 479 с.

[3]. Романков П. Г., Рашковская Н. Б., Фролов В. Ф. Массообменные процессы химической технологии. Л.: Химия, 1975, 333 с.

[4]. Рудобашта С. П., Кошелева М. К. Определение коэффициентов массоотдачи и массопроводности из кривых кинетики. *Изв. вузов. Технология текстил. пром–сти*, 2015, № 6(360), с. 175–180.

[5]. Бутиков В. В., Вишняков В. В. Интенсификация процессов в массообменном оборудовании химических производств наложением электрических полей. *Электронная обработка материалов*, 1983, № 4(112), с. 30–32.

[6]. Кудимов Ю. Н., Казуб В. Т., Голов Е. В. Электроразрядные процессы в жидкости и кинетика экстрагирования биологически активных компонентов. Часть 1. Ударные волны и кавитация. *Вестник Тамбовского государственного технического университета*, 2002, т. 8, № 2, с. 253–264.

[7]. Казуб В. Т., Кудимов Ю. Н., Рудобашта С. П., Борисов А. Г. Роль

кавитации и пульсирующей парогазовой полости в процессах электроразрядного измельчения растительного сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2004, № 9, с. 21–24.

[8]. Жук Е. Г. Действие импульсных электрических разрядов на микробную клетку. *Электронная обработка материалов*, 1973, № 1, с. 61–62.

[9]. Самойлова К. А. Действие УФ радиации на клетку. Л.: Наука, 1967, 145 с.

[10]. Таракановский Э. Н. Эрозия электродов при пробое импульсными разрядами комбинированного межэлектродного промежутка. *Электронная обработка материалов*, 1979, № 2, с. 5–8.

[11]. Кошкарова А. Г. Интенсификация процессов водного экстрагирования растительного сырья импульсным электрическим полем высокой напряженности. Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Тамбов, 2018, 18 с.

Казуб Валерий Тимофеевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой физики и математики, Пятигорский медико-фармацевтический институт — филиал ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России (Российская Федерация, 357532, Пятигорск, проспект Калинина, д. 11).

Кошкарова Анна Геннадьевна — канд. техн. наук, доцент, кафедра физики и математики, Пятигорский медико-фармацевтический институт — филиал ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России (Российская Федерация, 357532, Пятигорск, проспект Калинина, д. 11).

Application of pulsed electric field for intensification of extraction processes

V. T. Kazub[*,1], A. G. Koshkarova[*]

[*] *Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia*

Abstract

An important indicator of the quality of medicines is the absence of metal impurities in them. The main source of metal impurities getting into finished dosage forms is the erosion of metal parts of equipment, mainly in the process of grinding plant materials, as well as at other stages of the technological process for obtaining medicines. Therefore, the development of a science-based extraction technology that simultaneously solves environmental problems and reduces the likelihood of metal impurities in the target product is of current scientific and practical importance.

An electric pulsed field with a strength of about 10^6 V/m, used to intensify the water extraction process, does not affect the qualitative composition and quantitative content of the extracted biologically active substances. Determination of the content of metal impurities in the extract was carried out according to the method of the State Pharmacopoeia.

It is shown that no metal impurities are detected in the analyzed extracts obtained by extracting raw materials using a high-intensity pulsed electric field.

Keywords

Tension, electric field, extraction, intensification.

REFERENCES

[1]. Kazub V. T. Kinetika i osnovy apparaturnogo oformleniya protses-sov elektrorazryadnogo ekstragirovaniya biologicheski aktivnykh soyedineniy [Kinetics and fundamentals of hardware design of processes of electric discharge extraction of biologically active compounds]. Abstract of the dissertation of the doctor of techn. scien. – Tambov, 2002, 32 p. (In Russ.)

[2]. Rudobashta S.P., Kartashov Je.M. Diffuziya v khimiko–tekhnologicheskikh protsessakh [Diffusion in chemical and technological processes]. 2nd ed. Moscow: Kolos-S Publ., 2010, 479 p. (In Russ.)

[3]. Romankov P. G., Rashkovskaja N. B., Frolov V. F. Massoobmennyye protsessy khimicheskoy tekhnologii [Mass transfer processes of chemical technology]. Leningrad: Chemistry Publ., 1975, 333 p. (In Russ.)

[4]. Rudobashta S. P., Kosheleva M. K. Opredeleniye koeffitsiyentov massootdachi i massoprovodnosti iz krivykh kinetiki [The determination of mass transfer and mass conductivity coefficients from the kinetic curves]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [*Proceedings of higher education institutions. Textile*

[1] *Corresponding author:*
Email: bukva46@mail.ru

industry technology], 2015, № 6(360), pp. 175–180. (In Russ.)

[5]. Butikov V. V., Vishnjakov V. V. Intensifikatsiya protsessov v massoobmennom oborudovanii khimicheskikh proizvodstv nalozheniyem elektricheskikh poley [Intensification of processes in the mass transfer equipment of chemical industries by the imposition of electric fields]. *Elektronnaya obrabotka materialov* [*Electronic Processing of Materials*], 1983, № 4(112), pp. 30–32. (In Russ.)

[6]. Kudimov Ju. N., Kazub V. T., Golov E. V. Elektrorazryadnyye protsessy v zhidkosti i kinetika ekstragirovaniya biologicheski aktivnykh komponentov. Chast′ 1. Udarnyye volny i kavitatsiya [Electrodischarge processes in liquid and kinetics of extraction of biologically active components. Part 1. Shock waves and cavitation]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [*Bulletin of the Tambov State Technical University]*, 2002, vol. 8, № 2, pp. 253–264. (In Russ.)

[7]. Kazub V. T., Kudimov Ju. 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 pulsating vapor-gas cavity in the processes of electronic grinding of vegetable raw materials]. *Khraneniye i pererabotka sel′khozsyr′ya* [*Storage and Processing of Farm Products*], 2004, № 9, c. 21–24. (In Russ.)

[8]. Zhuk E. G. Deystviye impul′snykh elektricheskikh razryadov na mikrobnuyu kletku [The effect of pulsed electrical discharges on the microbial cell]. *Elektronnaya obrabotka materialov* [*Electronic Processing of Materials*], 1973, № 1, pp. 61–62. (In Russ.)

[9]. Samojlova K. A. Deystviye UF radiatsii na kletku [The effect of ultraviolet radiation on the cell]. Leningrad: The science Publ., 1967, 145 p. (In Russ.)

[10]. Tarakanovskij Je. N. Eroziya elektrodov pri proboye impul′snymi razryadami kombinirovannogo mezhelektrodnogo promezhutka [Erosion of electrodes during breakdown by pulsed discharges of the combined interelectrode gap]. *Elektronnaya obrabotka materialov* [*Electronic Processing of Materials*], 1979, № 2, pp. 5–8. (In Russ.)

[11]. Koshkarova A.G. Intensifikatsiya protsessov vodnogo ekstragirovaniya rastitel′nogo syr′ya impul′snym elektricheskim polem vysokoy napryazhennosti [Intensification of the processes of water extraction of plant raw materials by a high-intensity pulsed electric field]. Abstract PhD thesis. — Tambov, 2018, 18 p. (In Russ.)

Kazub V. T. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Physics and Mathematics, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute — branch of the Volgograd State Medical University (Kalinin av. 11, Pyatigorsk, 357532, Russian Federation).

Koshkarova A. G. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Physics and Mathematics, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute — branch of the Volgograd State Medical University (Kalinin av. 11, Pyatigorsk, 357532, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Применение импульсного электрического поля для интенсификации процессов экстрагирования / В. Т. Казуб, А. Г. Кошкарова // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2 № 3(5). С. 40 – 46.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-40-46

Please cite this article as:

Kazub V. T., Koshkarova A. G. Application of pulsed electric field for intensification of extraction processes. *Industrial processes ang Technologies*, 2022, vol. 2, no. 3(5), pp. 40 – 46.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-40-46