



УДК 621.3:665.335.5

О. В. Діденко, аспірант

ORCID: 0000-0002-9652-169x

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені**Дмитра Моторного*

e-mail: ettp@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВИДІЛЕННЯ В РИЦИНОВІЙ ОЛІЇ З РІЗНИМ ПИТОМИМ ОПОРОМ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Анотація. Робота присвячена проблемі, яка виникає при процесі очищення рицинової олії в електричному полі, а саме визначенню кількості тепла, яке виділяється в електродному просторі.

За допомогою комп'ютерного моделювання «ELCUT» представлено результати дослідження енергетичних показників, таких як тепловиділення в міжелектродному просторі багатоелектродної системи, яка використовується при очищенні рицинової олії в електричному полі при значеннях питомого опору рицинової олії $1 \cdot 10^8$ Ом/м, $1 \cdot 10^7$ Ом/м та $0,5 \cdot 10^7$ Ом/м. Отримані показники процесу тепловиділення порівняно з результатами експериментальних досліджень.

Ключові слова: тепловиділення, рицинова олія, електрофізичні властивості, питомий опір, вода, рослинні домішки, температура.

Постановка проблеми. Один з основних процесів при виробництві рицинової олії – очищення свіжовижатої олії від домішок та фосфатидів. При цьому процесі можуть використовуватись пристрої, дія яких полягає на взаємодії електричного поля з домішками, які необхідно видалити. Для протікання технологічного процесу, необхідно дотримуватись умов. Так, необхідними умовами для стійкого протікання процесу очищення рицинової олії в електричному полі є висока напруга на електродах – 3000 – 5000 В, додавання до складу олії води 1 – 2 % для гідратації домішок - фосфатидів при умові ретельного перемішування цієї емульсії та підігрівання емульсії до температури 60 – 80 °С. Підігрівання емульсії «вода в рициновій олії» компенсує та збільшує виділення тепла електродами на пароутворення. При цих умовах в електричному полі вздовж поверхні електродів утворюються парогазові бульбашки, які рухаються на поверхню рідини разом із домішками, де видаляються механічними або іншими способами.



При цьому процесі утворюється електричне поле високої напруженості, в якому, відповідно до закону Джоуля – Ленца виникають теплові витрати. Для вирахування теплових втрат необхідно визначити розподіл електричного поля електродної області. Визначення розподілу електродної області має певні труднощі, але є необхідним для визначення кількості тепла, яке виділяється в електродному просторі.

Аналіз останніх досліджень. В технологіях очищення діелектричних рідин в електричному полі високої напруженості в принцип дії покладено вплив електричного поля на домішки, які під дією сил поля рухаються на поверхню рідини, де повинні бути видалені. При цьому, в електричному полі, в залежності від конструкції електродної системи, питомого опору рідини та потенціалу електричного поля виникають невеликі енерговитрати [1].

Для розрахунку електричного поля існує багато методів. Електропровідність електричного поля плоско – паралельних пластин може бути розрахована за їх геометричними параметрами (довжина і ширина пластин та їх кількість) при нехтуванні крайовими ефектами, якщо розміри пластин перевищують відстань між ними [2]. Розрахунок електростатичних полів зводиться до визначення напруженості поля E при заданому розподілу зарядів q , збуджуючих поле. Якщо визначення E приводить до певних труднощів, спочатку визначається потенціал φ по заданому розподілу зарядів, а потім визначається напруженість поля. До методів розрахунку полів відноситься метод накладання; метод конформних перетворень; метод дзеркальних зображень, графічні та інші методи [2].

Метод накладання. Якщо розподіл заряду в просторі задано, то поділив цей заряд на нескінченно малі елементи dQ та враховуючи їх точковими, можна визначити потенціал та напруженість поля за формулою:

$$d\varphi = \frac{dQ}{4\pi\epsilon_0 R}, \quad (1)$$

$$d\vec{E} = \frac{dQ}{4\pi\epsilon_0 R^2}, \quad (2)$$

Додаючи алгебраїчні величини $d\varphi$ можна визначити потенціал в кожній точці поля.

$$\varphi = \int d\varphi = \int \frac{dQ}{4\pi\epsilon_0 R}, \quad (3)$$

Напруженість E визначається за формулою:

$$\vec{E} = -grad\varphi \quad (4)$$

Метод дзеркальних відображень. Якщо електричні заряди



розташовані поблизу ліній розмежувань двох різнорідних середовищ, то методи поля можна визначити за допомогою штучного методу розрахунку, який зветься методом дзеркальних відображень. Ідея методу в тому, що замість неоднорідного середовища розглядається однорідне середовище. Вплив неоднорідності враховується вступом фіктивних зарядів. Визначив вектор кола від сумісної дії заданих та фіктивних зарядів, записують граничні умови основного завдання та користуючись ними знаходять векторні поля, розподіл потенціалів та зарядів в системі провідникових тіл [2].

При виникненні труднощів математичного розв'язання завдання, особливо для розрахунку електричного поля систем циліндричних електродів, розрахунок поля проводиться за допомогою комп'ютерного моделювання електродної системи програмними засобами «ELCUT» з урахуванням питомого опору рідини, потенціалу поля, геометричних параметрів електродної системи. Використання програмних засобів «ELCUT» дозволяє отримати локальні та інтегральні значення фізичних величин, таких як електричний потенціал, вектор напруженості електричного поля (формула 4), вектор щільності струму, потужність тепловиділення та інші.

Формулювання мети статті. Робота направлена на визначення енергетичних показників, таких як тепловиділення в електродному просторі при здійсненні процесу очищення рицинової олії в електричному полі високої напруги багатоелектродних систем.

Основна частина. Питомий опір суспензії «вода в рициновій олії», в залежності від вмісту води, може знаходитись в межах $1 \cdot 10^7$ до $1 \cdot 10^{10}$ Ом/м. Через величину питомого опору суспензії «вода в рициновій олії» змінюються енергетичні показники, такі як тепловиділення вздовж електродів, відповідно до закону Джоуля – Ленца та сила струму, яка проходить через електроди. Значення сили струму, в залежності від температури рідини, питомого опору та напруги на електродах було експериментально досліджено в роботі [3] та було в межах від $1 \cdot 10^{10}$ (при 0 % вмісту води) до $0,5 \cdot 10^7$ (при вмісту води 2 %). При цьому, значення напруги на електродах було 4 кВ.

Значення тепловиділення в міжелектродному просторі було визначено за допомогою комп'ютерного моделювання «ELCUT» при заданих значеннях геометричних параметрів електродної системи, таких як довжина, діаметр та кількість електродів, значеннях потенціалу між електродами та значенням питомого опору дослідної рідини. Ці заданні значення були аналогічні зі значеннями, отриманими в ході експериментального дослідження [3]. Значення потенціалу електродної системи було задано на рівні 4 кВ, що відповідає значенню потенціалу в роботі [3].

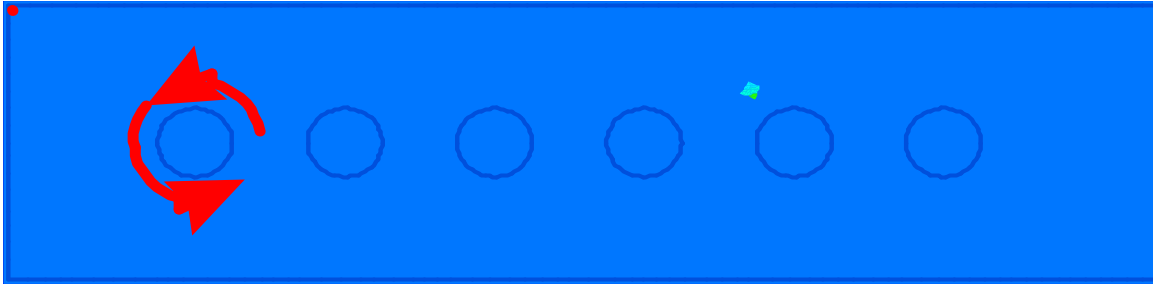


Рисунок 1. Дослідження тепловиділення навколо електрода

Результати дослідження занесено до таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати дослідження тепловиділення в рициновій олії навколо електрода, Вт/м.

$\rho = 1 \cdot 10^8$ Ом/м (1)	$\rho = 1 \cdot 10^7$ Ом/м (2)	$\rho = 0,5 \cdot 10^7$ Ом/м (3)
2,3	22,9	49,7

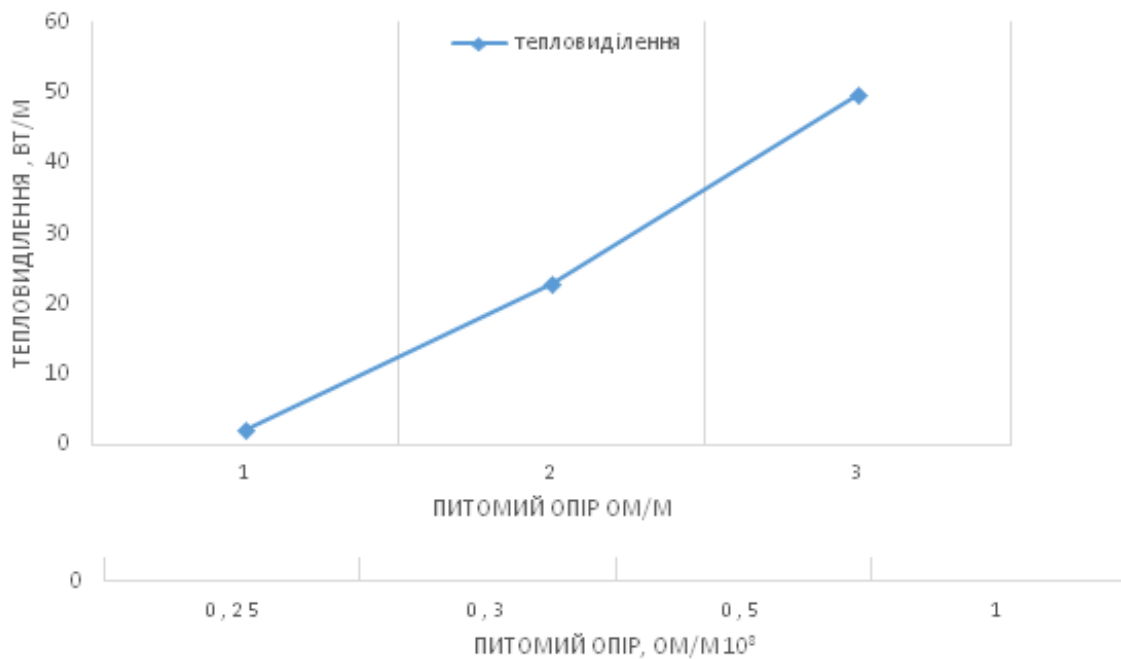


Рисунок 2. Графік тепловиділення в рициновій олії в залежності від питомого опору рідини

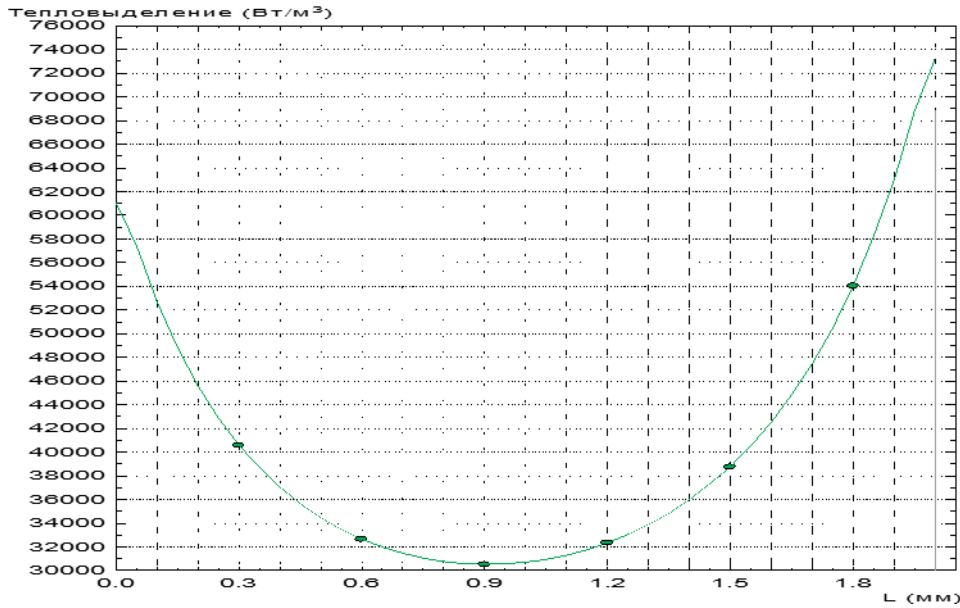


Рисунок 3. Графік тепловиділення між електродами при значенні питомого опору емульсії «вода в рициновій олії» $1 \cdot 10^8$ Ом/м

Аналогічно були змодельовані графіки тепловиділення в електродному просторі зі значенням питомого опору $0,5 \cdot 10^8$ та $1 \cdot 10^7$ Ом/м. Визначено, що кількість тепловиділення збільшується пропорційно зменшенню питомого опору.

Силу струму електродного простора було визначено за формулою:

$$I = I_{ел} \cdot \frac{n_{ел}}{2} \cdot L \quad (5)$$

Де $n_{ел}$ – загальна кількість електродів;

$I_{ел}$ – струм між двома електродами, визначений за допомогою комп’ютерного моделювання процесу, А;

L – довжина одного електроду, м.

Визначення сили струму, який проходить через рицинову олію зі значенням питомого опору 2,6; 1,25; 0,8; $0,7 \cdot 10^7$ – що відповідає 2 % вмісту води в рициновій олії та зі значенням питомого опору 1; 0,5; 0,3; $0,25 \cdot 10^8$ - що відповідає 1,5 % вмісту води [3]. Результати дослідження занесено до табл. 2, 3.

Таблиця 2.

Результати дослідження тепловиділення в рициновій олії 2 % вмістом води

Питомий опір, Ом/м 10^7	Вимірні значення, мкА	Розраховані значення за допомогою «ELCUT», мкА	Величина тепловиділення Вт/м
0,69	580	420	1221
0,8	500	340	1053
1,25	320	180	674
2,6	150	90	324

Таблиця 3.

Результати дослідження тепловиділення в рициновій олії 1,5 % вмістом води

Питомий опір, Ом/м 10 ⁸	Вимірні значення, мкА	Розраховані значення за допомогою «ELCUT», мкА	Величина тепловиділення Вт/м
0,25	150	80	320
0,3	130	60	250
0,5	90	40	162
1	50	20	84

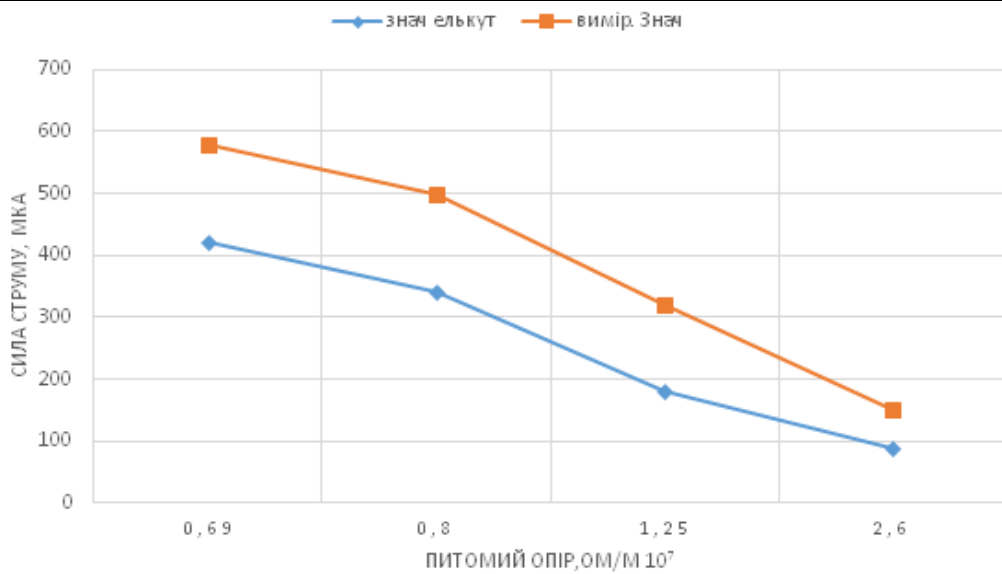


Рисунок 4. Графічні залежності питомого опору від струму в рициновій олії з 2 % вмістом води

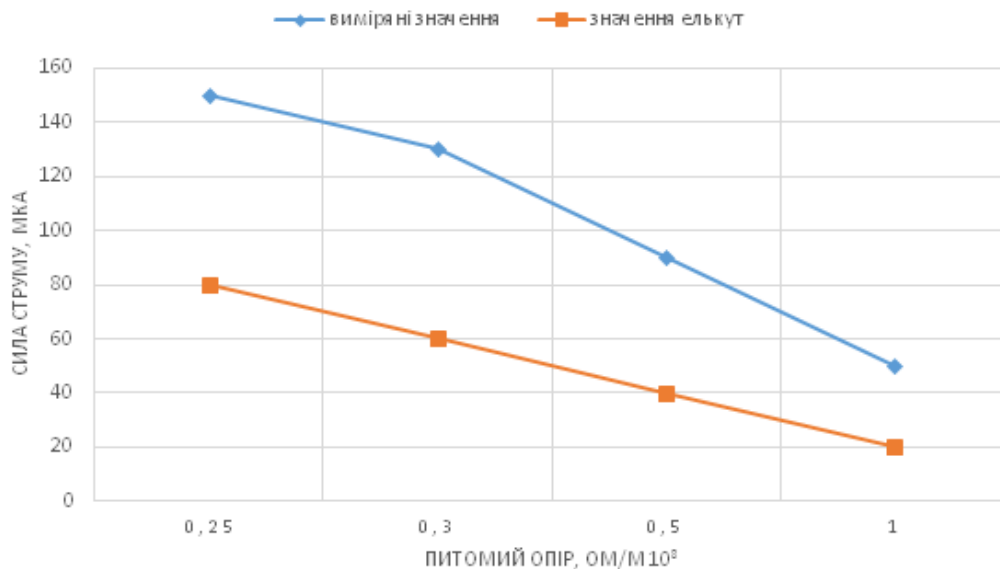


Рисунок 5. Графічні залежності питомого опору від струму в рициновій олії з 1,5 % вмістом води



Висновки.

1. У ході роботи було досліджено енергетичні показники, такі як тепловиділення в міжелектродному просторі багатоелектродних систем, які використовуються при очищенні рицинової олії в електричному полі при значеннях питомого опору рицинової олії $1 \cdot 10^8$ Ом/м, $1 \cdot 10^7$ Ом/м та $0,5 \cdot 10^7$ Ом/м, та визначено що кількість тепловиділення збільшується пропорційно зменшенню питомого опору рідини.

2. Було порівняно результати досліджень, проведених за допомогою комп'ютерного моделювання «ELCUT» значень струму, який протікає через електроди, з результатами досліджень [3] для рицинової олії з питомим опором, що відповідає 2 % та 1,5% вмісту води.

Список використаних джерел

1. Назаренко І. П. Електротехнологічний комплекс очищення та сепарації слабопровідних суспензій в електричному полі: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.09.03 / НУБіП. Київ, 2015. 39 с.

2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: учебник. Москва: Высшая школа, 1973. 752 с.

Elektrikal properties of emulsion «water in costor oil» / I. Nazarenko, O. Didenko, O. Loboda, R. Kushlyk, L. Chervinskiy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4, № 6 (106). P. 38-44. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210312.

4. Supeene G., Koch C., Bhattacharjee S. Deformation of a droplet in an electric field: nonlinear transient response in perfect and dielectric media. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008. Vol. 318, № 2. P. 463–476. DOI: 10.1016/j.jcis.2007.10.022.

5. Thaokar R. Dielectrophoresis and deformation of a liquid drop in a non-uniform axisymmetric AC electric field. *European Physical Journal E*. 2012. Vol. 35, № 8. P. 1–15. DOI: 10.1140/epje/i2012-12076-y.

6. Tarantsev K. V. Study of Electrohydrodynamic Flows at a Liquid-liquid Phase Interface. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2010. Vol. 46 (1–2). P. 64–68. DOI: 10.1007/s10556-010-9292-y.

7. Моделювання процесу очищення пресової касторової олії методом флотації / В. В. Дідур, В. А. Дідур, І. П. Назаренко, О. П. Назарова, О. В. Діденко. *Machinery & Energetics*. 2018, Vol. 9, № 3. С. 91–96. DOI: 10.31548/me2018.03.091.

8. Стишков Ю. К., Чирков В. А., Ситников А. А. Динамические вольт-амперные характеристики слабопроводящих жидкостей в сильнонеоднородных электрических полях. *Электронная обработка материалов*. Кишинев, 2014. Т. 50, № 2. С. 35–40.

9. Берил И. И., Болога М.К. Температурная зависимость электропроводности слабопроводящих органических жидкостей.



Электронная обработка материалов. Кишинев, 2010. Т. 46, № 3. С. 43–44.

10. Boltianska N. I., Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). pp. 7–12.

11. Исследование реологических и электрических свойств обратных эмульсий, стабилизированных термолизным дефекатом тд 600 / Г. И. Тарасова и др. *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18, № 6. С. 90–93.

12. Назаренко І. П., Діденко О. В., Лобода О. І., Дубініна С. В. Вплив температури та вологи на електрофізичні властивості рицинової олії. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-28.

13. ГОСТ 6581-75. Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний. [Введ. 1977-01-01]. Москва: Изд-во стандартов, 2008. 16 с.

14. Поплавко Ю. М. Фізика діелектриків: підручник / за ред. Ю. І. Якименка. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 572 с.

15. Эфендиев О. Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности. Москва: Пищевая промышленность, 1977. 149 с.

16. Таблицы физических величин: справочник / под ред. И. К. Кикоина. Москва: Атомиздат, 1976. 1008 с.

17. Особенности образования структур в эмульсиях обратного типа под действием переменных электрических полей / Н. К. Назаров [и др.]. *Известия Академии наук Казахской ССР*. 1989. № 2. С. 32–37.

18. Влияние некоторых факторов на эксплуатационные свойства трансформаторного масла / А. В. Коваль и др. *Проблемы энергетики*. 2005. № 1-2. С. 100-104.

Стаття надійшла до редакції 17.02.2021р.

O. Didenko

Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

STUDY OF HEAT RELEASE IN CASTOR OIL WITH DIFFERENT RESISTANCE UNDER THE ACTION OF AN ELECTRIC FIELD

Summary

The work is devoted to the problem that arises in the process of processing castor oil, namely, the calculation of the amount of heat that is released in the electrode space of the electrode system. In technologies for the purification of dielectric liquids in a high-voltage electric field, the principle of action is the effect of an electric field on impurities, which, under the action of field forces, move to the surface of the liquid. The paper presents the results of the study of the electrical properties of the emulsion "water in castor



oil" are presented, which allow to substantiate the technology of purification of castor oil from vegetable impurities and water in an electric field. One of the conditions for the stable course of the cleaning process is the heating of the liquid. For the development of an electric field, there are many methods. The electrical conductivity of the electric field of the plane-parallel plates can be secured according to the geometrical parameters (even and the width of the plates and the thickness of the plates) in case of unchecked edge effects, as the dimensions of the plates move into them.

Calculation of heat release in the electrode system of cylindrical electrodes is presented using computer simulation "ELCUT". The results of the study of energy indicators, such as heat release in the interelectrode space of a multi-electrode system, which is used when refining castor oil in an electric field at values of the specific resistance of castor oil $1 \cdot 10^8$ Ohm / m, $1 \cdot 10^7$ Ohm / m and $0,5 \cdot 10^7$ Ohm / m. The obtained indicators of the heat release process were compared with the results of experimental studies.

Key words: heat release, castor oil, electrophysical properties, resistivity, water, plant impurities, temperature, heat release

А.В. Диденко

**Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ В КАСТОРОВОМ МАСЛЕ С РАЗЛИЧНЫМ УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Аннотация

Работа посвящена проблеме, которая возникает при процессе очистки касторового масла в электрическом поле, а именно определения количества тепла, которое выделяется в электродном пространстве.

С помощью компьютерного моделирования «ELCUT» представлены результаты исследования энергетических показателей, таких как тепловыделение в междуэлектродном пространстве многоэлектродной системы, которая используется при очистке касторового масла в электрическом поле при значениях удельного сопротивления касторового масла $1 \cdot 10^8$ Ом/м, $1 \cdot 10^7$ Ом/м и $0,5 \cdot 10^7$ Ом/м.

Полученные показатели процесса тепловыделения были сравнены с результатами экспериментальных исследований.

Ключевые слова: тепловыделение, касторовое масло, электрофизические свойства, удельное сопротивление, вода, растительные примеси, температура.