

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНІЦІУВАННЯ РОЗРЯДНОГО ПРОЦЕСУ У РІДКИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДАХ

А. І. Чміль, доктор технічних наук, професор

E-mail: a.chmil@ukr.net

Ю. О. Олійник, аспірант

E-mail: oljinik1202@ukr.net

С. О. Бобко, студент магістратури

С. О. Демчук, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. У зв'язку із бурхливим розвитком високовольтної імпульсної техніки все більший інтерес викликає явище електричного пробоя в рідині. В залежності від призначення установки робоча камера може мати різні розміри та форми.

Для обробки відходів свиновідгодівельних комплексів нами розроблена електроімпульсна установка, робоча камера якої має циліндричну форму, що дає змогу спростити моделювання процесів, які відбуватимуться при пробії рідини в камері. Природа та послідовність розрядних процесів установки залежить від таких параметрів, як стан електродів, їх форми загострення, довжини міжелектродного проміжку, в'язкості рідини в камері та наявності домішок.

Використання високовольтної іскри як «робочого інструмента» стало першою стадією складного технологічного процесу рідина-ізолююче робоче середовище.

Наведена узагальнена схема експериментальної установки, розглянуті питання математичного моделювання оптимальних режимів роботи електроімпульсної установки. Розглянуто особливості побудови математичної моделі електроімпульсного перетворення енергії в рідині.

Значна увага приділяється процесу роботи електроімпульсної установки, де діючим технологічним механізмом є імпульси тиску, які випромінюються в каналі високовольтних розрядів в органічній рідині. Ефективність впливу імпульсів має просторове обмеження і із збільшенням відстані від осі каналу різко спадає, тому її потрібно регулювати в процесі обробки рідини.

У розрахунковій математичній моделі необхідно врахувати фактори, що впливають на параметри імпульсу тиску в рідині та положення електродів у просторі. В статті представлені рівняння лінеаризованої математичної моделі процесів що, що відбуваються в каналі розряду робочого органу електроімпульсної установки.

Ключові слова: математична модель, електроімпульсна установка, рідкі органічні відходи

Актуальність. Використання високовольних розрядів для обробки твердих речовин та очищення рідини, в тому числі органічних відходів, стало дуже перспективним напрямком в електротехнології. Найбільший інтерес в науковців викликає ініціювання електричного розряду в рідині та основних закономірностей його виникнення. Оскільки процеси, що відбуваються під час ініціювання електричної дуги в рідині відрізняється від розряду в повітряному проміжку, важливим завданням стало математично описати процеси, що відбуваються при електроімпульсній обробці рідини. Зрозуміло, що математичні моделі для вивчення процесів, які відбуваються в каналі розряду повинні бути найбільш повними. Складність початкової моделі призводить до ускладнення алгоритму управління, тому доцільно спростити математичну модель до лінеаризації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомо що для створення електричного пробую в рідинах використовують різноманітні електрогідравлічні установки, одним з важливих елементів яких є розрядний контур в робочій камері. Коли відбувається керований електричний пробій, виникає вибухонебезпечне розширення газової порожнини плазми, за рахунок адіабатичного тепла відбувається імпульсний розряд, що призводить до підвищення тиску в рідині. Імпульс тиску забезпечує виникнення процесу кавітації, який знешкоджує патогенні мікроорганізми в рідких органічних відходах[3,5]. При розробці електроімпульсної установки важливо що б характеристики розряду: струм, напруга в каналі розряду, гідродинамічне навантаження на відходи, регулювались в процесі експлуатації установки [4].

Мета дослідження – провести математичне дослідження процесів, що супроводжуються в рідині під час електроімпульсної обробки.

Матеріали та методи дослідження. В залежності від сфери застосування електроімпульсної установки, форма робочої камери може бути різною. Нами запропонована робоча камера циліндричної форми. Електромагнітні та електричні поля, що утворюються в камері під час пробую в рідині, можна описати за допомогою скалярного та векторного потенціалу. У камері більших розмірів довжина електромагнітної хвилі відповідно буде більшою, тому вважаємо, що у

будь який проміжок часу утворене магнітне поле є квазістатичним. Для розрахунку параметрів хвилі тиску в робочій камері застосовуємо декілька методів розрахунку: диференційні рівняння, напівемпіричні методи тощо.

Результати досліджень та їх обговорення. При дослідженні роботи електрогідравлічних установок найбільший інтерес має процес перетворення енергії електричного поля в механічну роботу. Цей ефект пояснюється тим, що в малому об'ємі розрядного каналу за короткий проміжок часу утворюється скупчення енергії з різким підвищенням тиску та температури [2]. Важливо зазначити, що природа та послідовність розрядних процесів також залежить від таких факторів, як радіус закруглення ініціюючих електродів, довжини між електродного проміжку, гідродинамічного тиску та в'язкості рідини, яку обробляють, стан електродів, наявність домішок в рідині [1].

Технічним прикладом реалізації процесу електроімпульсної обробки відходів є розроблена експериментальна установка, узагальнена схема якої показана на рис. 1.

Математичний опис явищ, які проходять у зарядному та розрядному контурах експериментальної установки, відображають процес перетворення енергії, що є ядром математичної моделі установки.

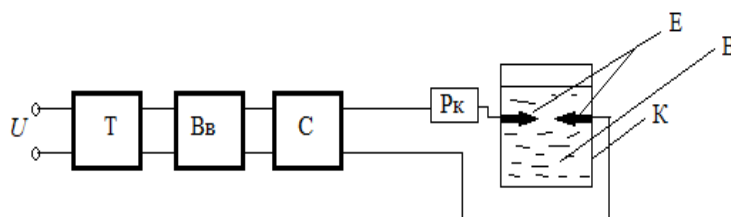


Рис. 1. Узагальнена схема електроімпульсної установки:

Т - трансформатор; Вв - високовольтний випрямляч; С - високовольтний конденсатор; Рк – розрядний контур; Е - електроди; В - відходи; К – камера, в якій проходить обробка

У процесі роботи електроімпульсної установки діючим технологічним механізмом є імпульси тиску, які утворюються в розрядному каналі. Ефективність впливу має просторове обмеження, і з збільшенням відстані від осі каналу різко спадає, тому її потрібно змінювати в процесі обробки. Коли змінюється відстань між

електродами в робочій камері, то в математичній моделі потрібно прийняти фактори, що визначають параметри імпульсу тиску в рідині та положення електродів.

Так, в процес обробки відходів може включати в себе сотні імпульсів, а їх тривалість може бути в декілька раз менше періоду проходження розряду. У процесі аналізу окремі виникнення розряду можна вважати, як незалежні.

Враховуючи ці обставини, рівняння, які описують процес електроімпульсної обробки матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dx_p}{dt} &= \Phi_p(\bar{x}_p, \bar{x}_d, \bar{y}_p); \\ \frac{dx_p}{dt} &= \Phi_p(\bar{x}_d, \bar{y}_p) \end{aligned} \quad (1)$$

Ієрархічні вектори, що характеризуються векторами стану \bar{x}_p, \bar{x}_d , відрізняються за швидкістю протікання процесу. Вектор \bar{x}_p характеризує розширення каналу розряду, вектор \bar{x}_d – рух електрода, \bar{y}_p, \bar{y}_d – вектори керованих впливів.

Розглядаючи високовольтні розряди в рідині з гідродинамічної точки зору, можемо спрощено розглядати їх як розширення рідини в порожнині.

Баланс енергії термодинамічної складової стану рідини в каналі матиме вигляд:

$$P_\alpha \frac{dV_\alpha}{dt} + \frac{1}{\gamma+1} \cdot \frac{d(P_\alpha V_\alpha)}{dt} = I^2 R_k, \quad (2)$$

де, $P_\alpha, V_\alpha, \gamma$ – відповідний тиск, об'єм та ефективний показник адіабати плазми каналу; $V_\alpha = \pi \alpha^2 l$; I-розрядний струм; R_k – опір каналу розряду; $\alpha(\tau)$ – проміжна величина, що характеризує швидкість розширення стінок каналу розряду, а сам канал є електрогідроімпульсним перетворювачем електричної енергії, що накопичується конденсатором в високий імпульсний тиск.

У процесі роботи установки перетворення енергії відбувається переривчасто, окремими порціями, через проміжки часу, необхідні для заряду та розряду конденсатора. Рівняння (2) показує термодинамічний стан відходів у розрядному проміжку. Приведену в рівнянні $I^2(\tau)R_k(\tau)$ – миттєву потужність введена в канал. R_k можемо вважати складною нелінійною функцією $I(\tau)$. Це дає можливість

виразити радіус каналу та гідродинамічні характеристики полів в рідині лише у вигляді залежності від струму розряду.

На початкових стадіях ініціювання розряду величина струму визначається іонною електропровідністю рідини, що обробляється. Під час пробою в міжелектродному проміжку робочої камери відбуваються процеси, які приводять до утворення каналу електронної провідності.

Користуючись експериментальним фактором, згідно якого більшість режимів розряду можуть бути представлені лінійною функцією часу, залежність опору каналу як нелінійного елемента кола від струму розряду матиме вигляд:

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \dot{\alpha}_0 t, \quad (3)$$

де, α_0 – початковий радіус каналу, що визначається умовами пробою, формою електродної системи та провідністю рідини, $\dot{\alpha} = const$.

Не зважаючи на приблизний характер електричних характеристик пробою в робочій камері, критерій подібності має важливе значення, оскільки дає змогу отримати узагальнені константи. Це дає змогу моделювати основні електричні характеристики електроімпульсної установки та оптимізувати електроімпульсні процеси в робочій камері.

Висновки і перспективи. Для аналізу перехідних процесів, що відбуваються під час електроімпульсної обробки рідких відходів, отримана лінеаризована математична модель процесів, які відбуваються в каналі розряду робочого органу електроімпульсної установки.

Список літератури

1. Ушаков В.Я., Климкин В.Ф., Коробейников С.М., Лопатин В.В. Пробой жидкостей при импульсном напряжении: под ред. проф., д. т. н. В. Я. Ушакова. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 488 с.

2. Вовк И.Т., Друмирецкий В.Б., Кривицкий Е.В. Овчинникова Д.Е. Управление электрогидравлическими процессами. К.: Наук. Думка, 1984. 188 с.

3. Щерба А. А., Косенков В. М., Бычков В. М. Замкнутая математическая модель электрического и магнитного полей в разрядной камере электрогидравлической установки. Электронная обработка материалов. 2015, № 51(6). С.71–78.

4. Вовченко А. И., Шомко В. В., Барбашова Г. А., Каменская Л. А. Исследование гидродинамических процессов при многопульсационном законе ввода

энергии в канал электрического разряда в жидкости. ЭОМ. 2014. Т. 50, № 1. С. 66-71.

5. Mamutov V. S., Mamutov A. V. Numerical simulation of electrohydraulic processes. Mamutov 1, MATEC Web of Conferences 245, 09015 (2018) 1-8 pp.

5. Смірнов О. П. Методи визначення параметрів хвилі тиску, яка генерується електричним розрядом у рідині. Геотехнічна механіка. 2017. №136. С. 23-33.

References

1. Ushakov, V.Ya., Klimkin, V.F., Korobeynikov, S.M., Lopatin, V.V. (2005). Proboyzhidkostey pri impulsnom napryazhenii [Breakdown of liquids at pulse voltage]. Tomsk: Izd-vo NTL, 488.

2. Vovk, I. T., Drumiretskiy, V. B., Krivitskiy, E. V. Ovchinnikova, D. E. (1984). Upravlenie elektrogidravlicheskiimi protsessami [Electrohydraulic process control]. Kyiv: Nauk. Dumka, 188.

3. Scherba, A. A., Kosenkov, V. M., Byichkov, V. M. (2015). Zamknutaya matematicheskaya model elektricheskogo i magnitnogo poley v razryadnoy kamere elektrogidravlicheskoj ustanovki [Closed mathematical model of electric and magnetic fields in the discharge chamber of an electro-hydraulic installation] / Elektronnaya obrabotka materialov, 51(6), 71–78.

4. Vovchenko, A. I., Shomko, V. V, Barbashova, G. A., Kamenskaya, L. A. (2014). I.Issledovanie gidrodinamicheskikh protsessov pri mnogopulsatsionnom zakone vvoda energii v kanal elektricheskogo razryada v zhidkosti [The study of hydrodynamic processes in the multi-pulsation law of energy input into the channel of an electric discharge in a liquid], EOM, 50 (1), 66-71.

5. Mamutov, V. S., Mamutov, A. V. (2018). Numerical simulation of electrohydraulic processes. Mamutov1, MATEC Web of Conferences 245, 09015, 1-8.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНИЦИИРОВАНИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДАХ

А. И. Чміль, Ю. А. Олейник, С. О. Бобко, С. А. Демчук

Аннотация. *В связи с бурным развитием высоковольтной импульсной техники все больший интерес вызывает явление электрического пробоя в жидкости. В зависимости от назначения установки рабочая камера может иметь различные размеры и формы.*

Для обработки отходов свинооткормочных комплексов нами разработана электроимпульсная установка, рабочая камера которой имеет цилиндрическую форму, что позволяет упростить моделирование процессов, которые пройдут при пробое жидкости в камере. Природа и последовательность разрядных процессов установки зависит от таких параметров, как состояние электродов, их формы заострения, длины межэлектродного промежутка, вязкости жидкости в камере и наличия примесей.

Использование высоковольтной искры как «рабочего инструмента» стало первой стадией сложного технологического процесса жидкость-изолирующая рабочая среда.

Приведена обобщенная схема экспериментальной установки, рассмотрены вопросы математического моделирования оптимальных режимов работы электроимпульсной установки. Рассмотрены особенности построения математической модели электроимпульсного преобразования энергии в жидкости.

Значительное внимание уделяется процессу работы электроимпульсной установки, где действующим технологическим механизмом является импульсы давления, которые излучаются в канале высоковольтных разрядов в органической жидкости. Эффективность воздействия импульсов имеет пространственное ограничение, и с увеличением расстояния от оси канала резко падает, поэтому ее нужно регулировать в процессе обработки жидкости.

В расчетной математической модели необходимо учитывать факторы, влияющие на параметры импульса давления в жидкости и положения электродов в пространстве. В статье представлены уравнения линеаризованной математической модели процессов, что происходят в канале разряда рабочего органа электроимпульсной установки.

Ключевые слова: *математическая модель, электроимпульсная установка, жидкие органические отходы*

A MATHEMATICAL MODEL FOR INITIATING DISCHARGE PROCESSES IN LIQUID ORGANIC WASTE

A. Chmil, Y. Oliinyk, S. Bobko, S. Demchuk

Abstract. *In connection with the rapid development of high-voltage pulse technology, the phenomenon of electrical breakdown in a liquid is of increasing interest. Depending on the purpose of the installation, the working chamber can have various sizes and shapes.*

To process the waste of pig-breeding complexes, we have developed an electropulse installation, the working chamber of which has a cylindrical shape, which allows us to simplify the modeling of processes that will occur during the breakdown of liquid in the chamber. The nature and sequence of the discharge processes of the installation depends on such parameters as the state of the electrodes, their shape of exacerbation, the length of the interelectrode gap, the viscosity of the liquid in the chamber, and the presence of impurities.

The use of a high-voltage spark as a "working tool" became the first stage of a complex technological process in which a liquid-insulating working medium.

The article gives a generalized scheme of the experimental setup, the questions of mathematical modeling of the optimal operating modes of the electric pulse installation are considered. The features of constructing a mathematical model of the electropulse conversion of energy in liquid are considered.

Considerable attention is paid to the process of operation of an electric pulse installation, where the current technological mechanism is pressure pulses that emit in the channel of high voltage discharges in an organic liquid. The effectiveness of the impact of pulses is spatially limited and decreases sharply with increasing distance from the axis of the channel and therefore it must be adjusted during the processing of the liquid.

In the calculation mathematical model it is necessary to take into account factors affecting the parameters of the pressure pulse in the liquid and the position of the

electrodes in space. The article presents the equations of a linearized mathematical model of the processes that occur in the discharge channel of the working body of the electric pulse installation.

Key words: *mathematical model, electric pulse installation, liquid organic waste*