

УДК 681.51 + 621.314.5

Д. В. ВІННИЧЕНКО**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСТУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВИПРЯМЛЯЧА ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ В ГЕНЕРАТОРАХ ІМПУЛЬСНИХ СТРУМІВ**

Від надійності роботи зарядних пристроїв ємнісних накопичувачів енергії залежить робота ЕП установок в цілому. Одним з небажаних процесів, що можуть виникати в ГПС є протікання частини розрядного струму крізь діоди високовольтного випрямляча зарядного пристрою, під час дії зворотної напівхвилі напруги на конденсаторі розрядного контуру при коливальному характері його розряду. В роботі вирішено задачу точного розрахунку ударного струму високовольтного випрямляча зарядного пристрою генераторів імпульсних струмів, а також параметрів елементів його захисту.

Ключові слова: зарядний пристрій, захисна індуктивність, ударний струм, генератор імпульсних струмів, високовольтний випрямляч.

От надежности работы зарядных устройств емкостных накопителей энергии зависит работа ЭПИ установок в целом. Одним из нежелательных процессов, которые могут возникать в ГИТ - протекание части разрядного тока через диоды высоковольтного выпрямителя зарядного устройства, во время действия обратной полуволны напряжения на конденсаторе разрядного контура при колебательном характере его разряда. В работе решена задача точного расчета ударного тока высоковольтного выпрямителя зарядного устройства генераторов импульсных токов, а также параметров элементов его защиты.

Ключевые слова: зарядное устройство, защитная индуктивность, ударный ток, генератор импульсных токов, высоковольтный выпрямитель.

Pulse currents generators is the main component of electric-discharge and electro-technological installations for various industrial applications. It is electrohydropulse presses and grinders, installation materials forming, metal shock treatment, technological devices of intensification of oil and gas, power laser systems, and others. In most cases, as energy stores, in capacitive energy storage, and at the heart of the process is intense release of energy stored in the capacitor in the load, which may be in the discharge fluid channel, an inductor, flash lamps, liquid metal conductor. From the reliability of the chargers capacitive energy storage pulse current generators depends electrohydropulse work units as a whole. One of the unwanted processes which may occur in the pulse current generators - the flow of the discharge current through the rectifier diodes, high-voltage battery charger, during the flow of the negative half-wave voltage on the capacitor discharge circuit at the resonant nature of his discharge. This current is limited only by the active resistance of the diode is open. The paper solved the problem of accurate calculation of impact of current high-voltage rectifier charger pulse current generators, as well as the parameters of the elements of his defense.

Keywords: charger device, protective inductance, pulse current, pulse current generator, high voltage rectifier.

Вступ. Генератори імпульсних струмів (ГПС) є основною складовою електророзрядних (ЕР) та електродіоді імпульсних (ЕПІ) технологічних установок різного промислового призначення. Це ЕПІ преси та подрібнювачі, установки обробки матеріалів тиском, обробки металів струмом, технологічні апарати інтенсифікації видобутку нафти та газу, джерела живлення лазерних установок та ін. [1]. В більшості випадків, як накопичувачі енергії, використовуються високовольтні ємнісні накопичувачі енергії (СНЕ) (високовольтні конденсатори), а в основі технологічного процесу лежить інтенсивне виділення накопиченої в конденсаторі енергії в навантаженні, яким може бути канал розряду в рідині, індуктор, імпульсні лампи, рідкий металевий провідник. Тому від надійності роботи зарядних пристроїв ємнісних накопичувачів енергії залежить робота ЕПІ установки в цілому.

Одним з небажаних процесів, що можуть виникати в ГПС є протікання частини розрядного струму крізь діоди високовольтного випрямляча зарядного пристрою, під час дії зворотної напівхвилі напруги на конденсаторі розрядного контуру при коливальному характері його розряду. Цей струм обмежено тільки активним опором діодів в відкритому стані (що складає від 2 до 25 Ом) та при амплітуді зворотної напівхвилі напруги близько, наприклад, 10 кВ може сягати 500 А, що звичайно набагато більше ніж допустимий

імпульсний, а тим паче, робочий струм випрямляча і призводить до виходу його діодів з ладу. Для захисту високовольтного випрямляча від ударного струму використовують струмообмежуючі елементи, які підключають між випрямлячем та силовим конденсатором. Зазвичай використовуються струмообмежуючий опір (активне струмообмеження) та струмообмежуюча індуктивність (реактивне струмообмеження). Але розрахунок за методиками [2, 3] не дає достовірного результату, бо не враховує залежність від параметрів і електротехнічних процесів в розрядному контурі. Якщо розглянути методику [2], то у вхідних даних для розрахунку немає навіть величини зарядної напруги силового конденсатору, у самій методиці не розраховується величина індуктивності захисного реактору. Але в ній приводиться непоганий тепловий розрахунок.

В методиці [3] індуктивність струмообмежуючого реактору розраховується:

$$L_p = \frac{X_L}{\omega_p} = \frac{X_L}{2\pi f_p},$$

де f_p – частота розрядного струму; X_L – величина струмообмежуючого реактивного опору, $X_L = U_0 / I_p$, де U_0 – робоча напруга на ємнісному накопичувачі; I_p – максимальний струм крізь діоди випрямляча. Ця методика точніша за [2], але не враховує ані декременту

затухання, ані амплітуди зворотної напівхвилі напруги, не до кінця зрозуміло як розраховується f_p .

В посібнику [4] коротко наведено розрахунок як захисного опору так і реактору. Величину струмообмежуючого опору розраховують за виразом:

$$R_p = \frac{U_0}{I_{rm}}, \text{ де } I_{rm} - \text{допустима амплітуда поодинокого}$$

імпульсу струму. Величину індуктивності струмообмежуючого реактору розраховують: $L_p = \frac{2U_0}{\omega I_{rm}}$, де ω – кругова частота, яку визначають з виразу $\omega = 1/\sqrt{LC}$.

Цій методиці наявні недоліки попередньої, але більш точно наведено розрахунок частоти ω .

Тому більш глибоке вивчення перебігу електротехнічних процесів в контурі захисту високовольтного випрямляча, уточнення та розвиток існуючих методик розрахунку захисних струмообмежуючих елементів генераторів імпульсних струмів з ємнісним накопичувачем енергії є актуальною задачею.

Метою роботи є уточнення існуючих методик розрахунку захисних елементів генераторів імпульсних струмів з ємнісним накопичувачем енергії шляхом більш глибокого вивчення перебігу електротехнічних процесів в захисному контурі високовольтного випрямляча в залежності від процесів в силовому розрядному контурі.

Матеріали дослідження. На рис. 1, а наведено спрощену схему ГС, який складається з зарядного пристрою (ЗП) та силового розрядного контуру (РК) та показано форму напруги на силовому конденсаторі (рис. 1, б) [5-6].

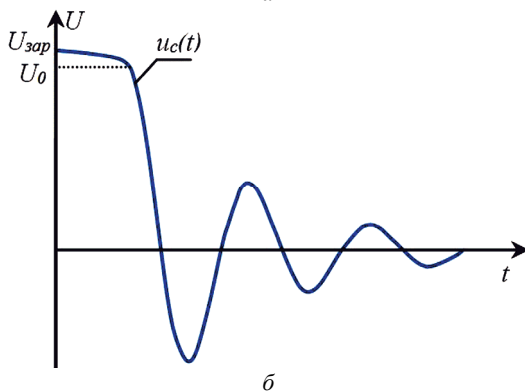
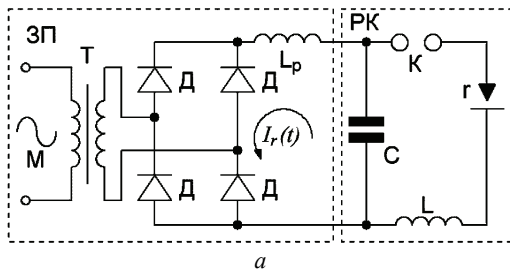


Рисунок 1 – Спрощена схема генератора імпульсних струмів (а) та форма напруги на конденсаторі (б)

Неприпустимо великий імпульс струму крізь діоди Д вихідного високовольтного випрямляча зарядно-

го пристрою може виникнути при дії на нього зворотної напівхвилі напруги на силовому конденсаторі, тому що вона зміщує діоди Д у прямому напрямку. Величина амплітуди цього струму може бути в декілька разів вища за номінальне значення робочого струму та обмежується лише активним опором самих діодів. Тому, зазвичай, для захисту високовольтного випрямляча від ударного струму використовують струмообмежуючі елементи, які підключають між випрямлячем та силовим конденсатором. На рис. 1, а, наприклад, показано струмообмежуючу індуктивність L_p . При аперіодичному характері розряду ємнісного накопичувача енергії такої проблеми не виникає [7-9], тому що напруга на ньому не змінює свого знаку, немає зворотної напівхвилі цієї напруги. Отже можна зробити висновок, що коливальний режим розряду силового конденсатора (рис. 1, б) є небезпечним для діодів високовольтного випрямляча, якщо не прийняти заходів захисту їх від дії зворотних напівхвиль напруги. За другим законом Кірхгофа напруги на всіх елементах силового розрядного контуру РК (рис. 1, а) в нерозгалуженому колі взаємно врівноважуються, тому рівняння кола можна записати у вигляді:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{r}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0, \quad (1)$$

де r , L , C , відповідно опір навантаження, індуктивність контуру, ємність силового конденсатора. При коливальному режимі розряду корні характеристичного рівняння $p_{1,2} = -r/2L \pm \sqrt{r^2/4L^2 - 1/LC}$ мають бути комплексними (за умови $r < 2\sqrt{L/C}$), якщо $\alpha = r/2L$ та $\omega = 1/\sqrt{LC}$, то частота коливань визначається як $\omega_0 = \sqrt{1/LC - r^2/4L^2} = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2}$, корні рівняння $p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_0$. Період коливань силового контуру $T_0 = 2\pi/\omega_0$. Рішенням диференційного рівняння (1) при комплексних корнях відносно напруги на конденсаторі буде

$$u_C(t) = \frac{U_0}{\sin \chi} e^{-\alpha t} \sin(\omega_0 t + \chi), \quad (2)$$

де U_0 – напруга на конденсаторі на початку процесу розряду; χ – початкова фаза між струмом в розрядному контурі та напругою на конденсаторі $\sin \chi = \frac{\omega_0}{\sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2}}$; $\alpha = r/2L$ – лінійний коефіцієнт затухання.

На практиці зручно замість лінійного коефіцієнту затухання $\alpha = r/2L$ використовувати декремент затухання D , який визначається як:

$$D = \frac{u_C(t)}{u_C(t+T_0)} = e^{\alpha T_0}. \quad (3)$$

Виразимо лінійний коефіцієнт затухання з (3) через декремент затухання:

$$\alpha = \frac{\ln D}{T_0}; \ln D = \lambda; \alpha = \frac{\lambda}{T_0}, \quad (4)$$

де $\lambda = \ln D$ – логарифмічний декремент затухання.

Тоді, якщо $T_0 = 2\pi / \omega_0$, $\omega_0 = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2}$ визначимо α :

$$\frac{\lambda}{\alpha} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - \alpha^2}}; \quad (5)$$

$$\alpha = \omega \lambda \sqrt{4\pi^2 + \lambda^2}. \quad (6)$$

Проведемо аналіз електротехнічних процесів в колі захисту високовольтного випрямляча ЗП ЄНЕ при реактивному струмообмеженні, тобто коли захисним елементом виступає струмообмежуюча індуктивність L_p (див. рис. 1, а). На рис. 2 показано перебіг електротехнічних процесів в колі захисту високовольтного випрямляча ЗП ЄНЕ.

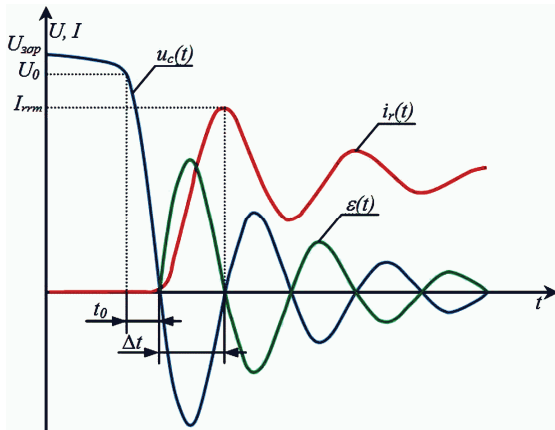


Рисунок 2 – Перебіг електротехнічних процесів в колі захисту високовольтного випрямляча ЗП ЄНЕ

Визначимо момент часу t_0 початку протікання струму $i_r(t)$ крізь діоди випрямляча:

$$t_0 = \frac{\pi - \chi}{\omega_0} = \frac{\pi - \arctg\left(\frac{\omega_0}{\alpha}\right)}{\omega_0}. \quad (7)$$

Введемо величину $\varepsilon(t)$ – напругу безпосередньо прикладену до зміщених в прямому напрямку діодів Д (рис. 2):

$$\varepsilon(t) = -u_c(t + t_0) = U_m e^{-\alpha(t+t_0)} \sin \omega_0 t. \quad (8)$$

Струм $i_r(t)$ визначимо:

$$i_r(t) = \frac{1}{L_p} \int \varepsilon(t) dt = \frac{1}{L_p} \int U_m e^{-\alpha(t+t_0)} \sin \omega_0 t dt = \frac{U_m e^{-\alpha(t+t_0)}}{L_p (\alpha^2 + \omega_0^2)} (-\alpha \sin \omega_0 t - \omega_0 \cos \omega_0 t) + A, \quad (9)$$

де A – постійна інтегрування, яку визначимо з початкових умов кола $t = 0$; $i_r(0) = 0$, тоді:

$$\frac{U_m e^{-\alpha t_0}}{L_p (\alpha^2 + \omega_0^2)} (-\alpha \sin 0 - \omega_0 \cos 0) + A = 0; A = \frac{U_m \omega_0 e^{-\alpha t_0}}{L_p (\alpha^2 + \omega_0^2)}.$$

Остаточний вираз для струму:

$$i_r(t) = \frac{U_m e^{-\alpha(t+t_0)}}{L_p (\alpha^2 + \omega_0^2)} (-\alpha \sin \omega_0 t - \omega_0 \cos \omega_0 t) + \frac{U_m \omega_0 e^{-\alpha t_0}}{L_p (\alpha^2 + \omega_0^2)} = \frac{U_m \omega_0 e^{-\alpha t_0}}{L_p (\alpha^2 + \omega_0^2)} \left(\frac{e^{-\alpha t}}{\omega_0} (-\alpha \sin \omega_0 t - \omega_0 \cos \omega_0 t) + 1 \right). \quad (10)$$

Якщо $U_m = \frac{U_0}{\sin \chi}$; $\sin \chi = \frac{\omega_0}{\sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2}}$, тоді:

$$i_r(t) = \frac{U_0 e^{-\alpha t}}{L_p \sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2}} \left(\frac{e^{-\alpha t}}{\omega_0} (-\alpha \sin \omega_0 t - \omega_0 \cos \omega_0 t) + 1 \right). \quad (11)$$

Ударний струм діодів I_{rrm} є амплітудне значення струму $i_r(t)$. Визначимо час зростання Δt струму $i_r(t)$ до максимальної величини. Вираз $-\alpha \sin \omega_0 t - \omega_0 \cos \omega_0 t$ набуває найбільшого значення при $\Delta t = t = \frac{\pi}{\omega_0}$. Ударний струм визначимо:

$$I_{rrm} = \frac{U_0 e^{-\alpha \Delta t}}{L_p \sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2}} \left(\frac{e^{-\alpha \Delta t}}{\omega_0} (-\alpha \sin \omega_0 \Delta t - \omega_0 \cos \omega_0 \Delta t) + 1 \right) = \frac{U_0 e^{-\alpha \Delta t}}{L_p \sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2}} \left(\frac{e^{-\alpha \Delta t}}{\omega_0} (-\alpha \sin \pi - \omega_0 \cos \pi) + 1 \right) = \frac{U_0 e^{-\alpha \Delta t}}{L_p \sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2}} \left(e^{\frac{-\alpha \pi}{\omega_0}} + 1 \right). \quad (12)$$

З (11) знайдемо величину захисної індуктивності L_p при заданому значенні максимальної величини ударного струму діодів I_{rrm} :

$$L_p = \frac{U_0 e^{-\alpha t_0}}{I_{rrm} \sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2}} \left(e^{\frac{-\alpha \pi}{\omega_0}} + 1 \right). \quad (13)$$

Комп'ютерне моделювання та експериментальне дослідження отриманих теоретично залежностей. Перевірку отриманих теоретично залежностей проведемо як експериментально, так і за допомогою комп'ютерного моделювання. Для розрахунку за виразами (12), (13), використаємо пакет для вирішення математичних задач SMATH Studio Desktop версія 0.97.5346. Комп'ютерна симуляція кола показаного на рис. 1 виконувалась в пакеті LTSpice IV. Для експериментального дослідження використовувався ПС з параметрами: $U_0 = 3-8$ кВ, $L = 10$ мкГн, $C = 2$ мкФ, $r = 0,5$ Ом. Використаємо захисну індуктивність $L_p = 50$ мГн (розраховану з (13) для ударного струму в 1 А при $U_0 = 8$ кВ). На рис. 3 показано розрахунок (рис. 3, а) за (8) і (10) та комп'ютерне моделювання кола показаного на рис. 1 (рис. 3, б) при $U_0 = 5,8$ кВ, $L = 10$ мкГн, $C = 2$ мкФ, $r = 0,5$ Ом, $L_p = 50$ мГн.

Для виміру струму в колі високовольтного випрямляча використовувалися лінійний датчик струму на ефекті Хола CSNR161 компанії Honeywell, активно-емнісний подільник напруги 1:100 для цифрових осцилографів з входом 1 МОм, 15пФ фірми Tektronix Inc з максимальною входною імпульсною напругою 10 кВ, для виміру напруги, та цифровий осцилограф Witting technologies W2012A. Вимірювалася тільки амплітуда ударного струму кола високовольтних діодів випрямляча та напруга початку розряду U_0 на емнісному накопичувачі енергії C . Експериментальні результати та їх порівняння з розрахунком та моделюванням наведено в табл. 1 при різних значеннях напруги початку розряду U_0 . Результати досліджень вка-

зують на практично повний збіг теоретичних, симуляційних та експериментальних результатів.

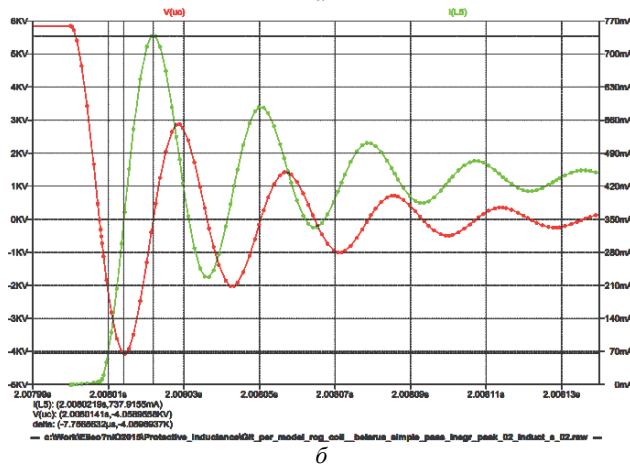
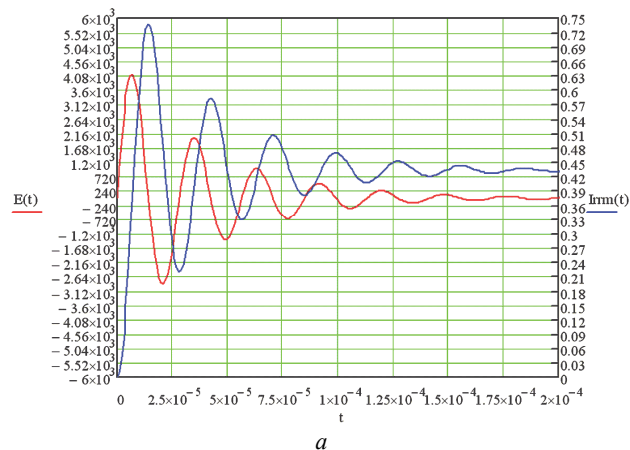


Рисунок 3 – Результати розрахунку (а) та моделювання (б)

Таблиця 1 – Експериментальні результати та їх порівняння з розрахунком та моделюванням

U_0 , кВ	Результати розрахунку I_{rzm} , А	Результати моделювання I_{rzm} , А	Результати експерименту I_{rzm} , А
5,8	0.73	0.73	0.7
6.7	0.84	0.84	0.8
7.6	0.96	0.95	0.9

Висновки. На основі аналізу існуючих методик розрахунку захисних струмообмежуючих елементів генераторів імпульсних струмів з ємнісним накопичувачем енергії виявлено їх недосконалість в плані точного розрахунку параметрів захисних елементів і ударного струму високовольтних діодів. На основі аналізу електротехнічних процесів в силовому розрядному контурі визначено найбільш небезпечні режими для високовольтного випрямляча. На основі аналізу електротехнічних процесів в колі захисту високовольтного випрямляча зарядного пристрою ємнісного накопичувача енергії за умовою реактивного струмообмеження отримано залежність ударного струму від параметрів силового контуру та знайдено величину захисної індуктивності L_p при заданому значенні максимальної величини ударного струму діодів I_{rzm} . На основі комп'ютерного моделювання та експериментального дослідження отриманих теоретично залежностей доведено їх достовірність.

Список літератури

1. Электрический разряд в жидкости и его применение :Сб. научн. тр. / Отв. ред. Г.А.Гульй. – Киев: Наукова думка, 1977. – 176 с.
2. Курач А. М. Методика расчета высоковольтного двухкатушечного реактора на стороне выпрямленного тока / А. М. Курач, Л. Н. Мирошниченко. – Николаев: ПКБЭ, 1982. – 12 с.
3. Курач А. М. Методика расчета выпрямителя-трансформатора / А. М. Курач, Л. Н. Мирошниченко. – Николаев: ПКБЭ, 1985. – 68 с.
4. Адамьян Ю. Э. Электроэнергетика. Испытательные и электрофизические установки высокого напряжения / Ю. Э. Адамьян, И. М. Богатенков. – СПб: СПбГПУ, 2012. – 232 с.
5. Дашук П.Н. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / П.Н. Дашук, С.Л. Зайенц, В.С. Комельков и др. – М: Московская типография № 4, 1970. – 472 с.
6. Кривицкий Е.В. Переходные процессы при электрическом разряде в жидкости / Е.В. Кривицкий, В.В. Шамко. – К.: Наук. думка, 1979. – 208 с.
7. Вовченко А.И. Синтез емкостных нелинейно-параметрических источников энергии для разрядно-импульсных технологий / А.И. Вовченко, Р.В. Тертилов // Збірн. наук. праць Національного університету кораблебудування. – 2010. – № 4. – С. 118–124.
8. Щерба А.А. Закономерности повышения скорости нарастания разрядных токов в нагрузке при ограничении их максимальных значений / А.А. Щерба, Н.И. Супруновская // Техн. электродинамика. – 2012. – № 5. – С. 3–9.
9. Щерба А.А. Синтез электрических цепей с емкостными накопителями энергии в полупроводниковых формирователях мощных разрядных импульсов / А.А. Щерба, Н.И. Супруновская // Техн. электродинамика. – 2014. – № 1. – С. 3–11.

Bibliography (transliterated)

1. Elektricheskiy razrjad v zhidkosti i ego primenenie :Sb. nauchn. tr. Отв. ред. G.A.Gulyj. Kiev: Naukova dumka, 1977, 176 p.
2. Kurach A. M., Miroshnichenko L. N. Metodika raschjota vysokovol'tnogo dvuhkatushechnogo reaktora na storone vuprjamlenogo toka. Nikolaev: PKBE, 1982, 12 p.
3. Kurach A. M., Miroshnichenko L. N. Metodika raschjota vuprjamitelja-transformatora. Nikolaev: PKBE, 1985, 68 p.
4. Adam'jan Ju. Je., Bogatenkov I. M. Jelektrojenergetika. Ispytatel'nye i jelektrofizicheskie ustanovki vysokogo naprjazhenija. Sankt-Peterburg: SPbGPU, 2012, 232 p.
5. Dashuk P.N., Zajenc S.L., Komel'kov V.S. i dr. Tehnika bol'shih impul'snyh tokov i magnitnyh polej. Moscow: Moskovskaja tipografija No 4, 1970, 472 p.
6. Krivickij E.V., Shamko V.V. Pehodnye processy pri jelektricheskom razrjade v zhidkosti. Kyiv: Nauk.dumka, 1979, 208 p.
7. Vovchenko A.I., Tertilov R.V. Sintez emkostnyh nelinejno-parametricheskikh istochnikov jenerгии dlja razrjadno-impul'snyh tehnologij. Zbirn. nauk. prats' Natsional'noho univer-sytetu korablebuduvannya, 2010, No 4, pp. 118–124.
8. Shcherba A.A., Suprunovskaja N.I. Zakonomernosti povyshenija skorosti narastanija razrjadnyh tokov v nagruzke pri ogranicenii ih maksimal'nyh znachenij. Tehn. elektrodinamika, 2012, No 5, pp. 3–9.
9. Shcherba A.A., Suprunovskaja N.I. Sintez jelektricheskikh cepej s emkostnymi nakopiteljami jenerгии v poluprovodnikovyh formirovateljah moshnyh razrjadnyh impul'sov. Tehn. elektrodinamika, 2014, No 1, pp. 3–11.

Надійшла (received) 09.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Визначення параметрів елементів захисту високовольтного випрямляча зарядного пристрою в генераторах імпульсних струмів / Д. В. Вінниченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2016. – № 36 (1208). – С. 15-19. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0740.

Определение параметров элементов защиты высоковольтного выпрямителя зарядного устройства в генераторах импульсных токов / Д. В. Винниченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2016. – № 36 (1208). – С. 15-19. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0740.

Determining the parameters protection elements of high voltage rectifier in charger devices pulse current generators / D. V. Vinnichenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 36 (1208). – С. 15-19. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0740.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вінниченко Дмитро Валерійович – молодший науковий співробітник, Інститут імпульсних процесів і технологій (ІПТТ) НАН України, Миколаїв, e-mail: vdvvvs@inbox.ru.

Вінниченко Дмитрій Валерьевич – младший научный сотрудник, Институт импульсных процессов и технологий (ИИПТ) НАН Украины, Николаев, e-mail: vdvvvs@inbox.ru.

Vinnichenko Dmytro Valerijovich – Junior Researcher, Institute of Pulse Processes and Technologies (IPPT) NAS of Ukraine, Mykolayiv, e-mail: vdvvvs@inbox.ru.

УДК 537.5:622.766.4:622.332

Т. Д. ДЕНИСЮК, А. Н. РАЧКОВ

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Наведено відомості про можливість застосування новітніх технологій електророзрядного приготування стійких водно-вугільних суспензій для виробництва біодобрива. Встановлені режими високовольтних імпульсних розрядів для одержання стабільної водно-вугільної суспензії, збагаченої гуміновими кислотами та макро- і мікроелементами. Створений технологічний процес може бути задіяний в технологічних комплексах для одержання гумінового добрива з бурого вугілля при зниженні енергетичних показників і тривалості циклу.

Ключові слова: буре вугілля, гумінові добрива, гумінові кислоти, макро- і мікроелементи, мінералізація, електророзрядна технологія.

Приведены сведения о возможности применения новейших технологий электроразрядного приготовления устойчивых водно-угольных суспензий для производства биоудобрения. Установлены режимы высоковольтных импульсных разрядов для получения стабильной водно-угольной суспензии, обогащенной гуминовыми кислотами и макро- и микроэлементами. Созданный технологический процесс может быть задействован в технологических комплексах для получения гуминового удобрения из бурого угля при снижении энергетических показателей и продолжительности цикла.

Ключевые слова: бурый уголь, гуминовые удобрения, гуминовые кислоты, макро- и микроэлементы, минерализация, электроразрядная технология.

The information about the possibility of using the latest technology of an electric cooking-resistant water-coal suspensions for the production of bio-fertilizers. Selectable modes of high-voltage pulsed discharges to produce a stable water-coal slurry enriched with humic acids, macro-and micronutrients. Created process may be involved in technological complexes for humic fertilizer from lignite with a decrease in power performance and cycle life.

Keywords: humic fertilizers, lignite, humic acids, macro- and micronutrients, mineralization, electric discharge technology

Постановка задачі. Біологізація і екологізація земледілля являється однією з актуальних задач сільськогосподарського виробництва, яка може бути вирішена при використанні біологічно активних органічних і органічно-мінеральних добрив на основі бурого вугілля. В органічній частині бурих угілля в результаті довготривалої еволюційної біотрансформації рослинного сировини, залишків тваринних і білкових тіл мікроорганізмів міститься багато цінних гумінових речовин. Комплексне біостимулююче добриво на основі бурого вугілля не

тільки суттєво підвищує урожайність зернових і овочевих культур, але і сприяє рекультивувати ґрунту [1].

Звичайні добрива, які сьогодні використовуються в сільському господарстві, в основному, є мінеральними. Вони дають непоганий результат по урожайності, але викликають деградацію ґрунту, пов'язану з їх мінералізацією [2]. Ідеальний ґрунт – це глобулярна структура, яка забезпечує ґрунтове «дихання», пов'язане з рухом води і повітря в горизонтальному і перпендикулярному напрямку,