

*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 (ІПТ) 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 рекультивации 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 напрямках,

что обеспечивает поступление питательных веществ к растениям. При минерализации почв происходит сращивание глобул в единую массу, препятствует обменным процессам. Такую деградировавшую почву можно восстановить внесением в нее органо-минеральных удобрений, полученных из бурого угля. Учитывая объемы запасов бурого угля и его доступность, можно сказать, что нет достойной альтернативы для крупномасштабного улучшения агротехнических свойств почв.

Однако гуминовые вещества, содержащиеся в буром угле, переходят в физиологически активное состояние и эффективно действуют как стимуляторы роста растений и источники элементов питания только после «активации». Традиционное производство гуминовых удобрений из бурого угля (наиболее распространенный химический способ) является многостадийным, сложным и энергоемким. Оно включает предварительную очистку бурого угля, обработку экстрагентом под действием высоких температур и давлений, измельчения в несколько стадий, обработку водным раствором щелочи при постоянном перемешивании, перемешивание полученной массы сначала с минералосодержащими компонентами, а затем с пластификатором [3]. Кроме того, значительная часть исходного бурого угля при традиционном способе изготовления гуминового удобрения не утилизируется и направляется, в основном, в отвалы. В минеральной части этих отходов остаются такие элементы, как бор, медь, марганец и другие микроэлементы, которые могли бы повысить удобрительную ценность углегуминовых препаратов [4].

Химический способ выделения гуминовых веществ не обеспечивает эффективную экстракцию гуминовых веществ и не отвечает требованиям экологии и техники безопасности. В процессе экстракционного извлечения в раствор гуминов переходит большое количество высокодисперсных частиц, глинистых минералов и примесей. Зольность гуминов, полученных химическим способом, составляет от 26 до 70% [5]. Кроме этого разрушается природная структура гуминовых препаратов, полученных химической экстракции. Щелочная реакция растворов гуминов и наличие в них остатков непрореагировавшей щелочи, ограничивает их применение областью, где гумины применяются в низких концентрациях. В качестве веществ для интоксикации почв такие гумины не применяются.

Одним из эффективных методов физического воздействия на материалы с целью их активации и повышения реакционной способности служит подводный электрический разряд. Он уже давно и успешно применяется в машиностроении, химико-технологических процессах, гидроакустике, горнодобывающей отрасли, нефтедобывающих производствах, в так называемых силовых процессах строительной индустрии: разрушение старых фундаментов и негабаритов, уплотнение просадочных грунтов при подготовке строительной площадки и т.п. [6]. В электроразрядных установках материалы подвергаются комплексному воздействию волн сжатия, кавитации, высокоскоростных гидротоков [7], кроме того, про-

исходит изменение химических свойств рабочей жидкости – воды – в результате воздействия электрического разряда на ее структуру.

Разработанная ранее в ИИПТ НАН Украины электроразрядная технология дезинтеграции бурых углей предусматривает за счет действия импульсных высоковольтных разрядов как источника энергии высокой плотности одностадийное измельчение угля до тонкодисперсного состояния и получение устойчивых водно-угольных суспензий (ВУС) со значительно меньшими затратами энергии [8, 9]. Электроразрядная технология дезинтеграции качественно отличается от обычной механической дезинтеграции, в первую очередь тем, что полученные суспензии имеют более высокую степень устойчивости. В процессе электроразрядного измельчения бурого угля в воде протекают деструктивные реакции разложения, одновременно в электромагнитном поле электроразряда происходит образование диполей и так называемого механического барьера при столкновении частиц активной твердой фазы. Эти процессы сдерживают оседание или прилипание частиц, что обеспечивает седиментационную устойчивость суспензии. В настоящей работе необходимо решить ряд вопросов, связанных с определением эффективных методов высоковольтной разрядно-импульсной обработки гуминосодержащих материалов для получения высококачественных органических удобрений.

**Цель работы** – установить режимы и параметры электроразряда, обеспечивающие тонкую дезинтеграцию бурого угля, максимальное извлечение гуминовых веществ из закрытых частиц бурого угля и седиментационную устойчивость полученной суспензии.

**Методика исследований.** Объект исследований – процессы электроразрядной дезинтеграции компонентов водно-угольной суспензии на основе бурого угля. Твердой фазой при приготовлении суспензии служили куски бурого угля марки Б - бурый, имеющие максимальные размеры от 100 до 20 мм. В качестве рабочей среды использовалась водопроводная вода с удельным сопротивлением от 8 до 10 Ом·м. В экспериментах применялось оборудование: генератор импульсных токов ГИТ-50, электроразрядная камера объемом 10 дм<sup>3</sup>. Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

При проведении исследований обеспечивались постоянными следующие параметры: рабочее напряжение, индуктивность разрядного контура, длина межэлектродного промежутка, процентное содержание твердой фазы и жидкой фазы (по массе), начальная температура рабочей жидкости  $T = 293\text{K}$ .

Для оптимизации процесса варьировали следующие параметры:

- энергия в импульсе  $W$ , кДж 0,625; 1,25; 2,5;
- частота следования импульсов  $f$ , Гц 6,0; 5,0; 4,0.

В качестве параметра оптимизации было выбрано количество бурого угля, измельченного до фракционного состава от 0,2 мм и ниже, удовлетворяющего требованиям производства устойчивых суспензий. Для определения фракционного состава угля использован микро-

скопический и ситовый анализ по ГОСТ 4790-93 [10]. При проведении экспериментов в разрядную камеру поступали одновременно бурый уголь и вода в соотношении 60 % массы к 40 % массы соответственно.

Для каждого из трех значений запасенной энергии, соблюдая равенство удельных затрат энергии, проводилось по три эксперимента с целью установления влияния на выходной продукт параметров  $W, f$ .

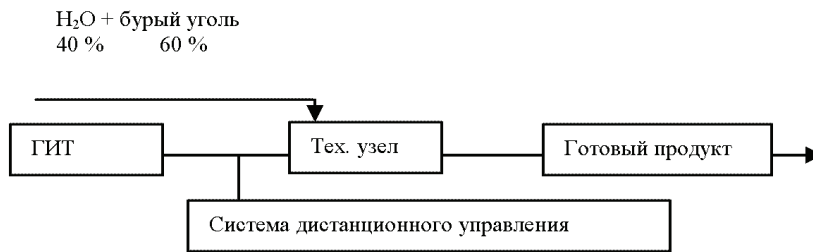


Рисунок 1 – Блок – схема установки

**Результаты и обсуждение.** Весь процесс разрушения можно разделить на три стадии (рис. 2):

I стадия – образование сжимающими нагрузками трещин и развитие их до критического состояния;

II стадия – сжимающими и растягивающими нагрузками измельчение угля до размеров 200 мкм и менее;

III стадия – измельчение и округление зерен до размеров менее 50 мкм.

Распределение частиц по фактору формы - показателю округленности частиц (отношение наименьшего к наибольшему размеру частицы) после электроразрядной обработки при микроскопическом анализе готового продукта показано на рис. 3. Из гистограммы видно, что преобладающее количество частиц имеет форму, близкую к сферической, и, можно считать, что дальнейшее их измельчение потребует значительного количества энергии. Т.е., фракция измельчения достигла своего оптимального значения.

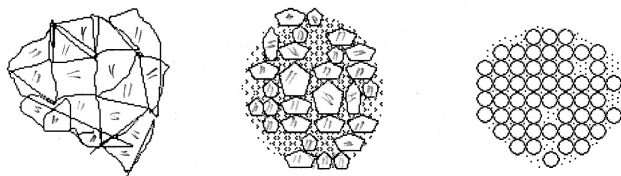


Рисунок 2 – Постадийная электроразрядная дезинтеграция бурого угля



Рисунок 3 – Распределение частиц угля после обработки по фактору формы

В процессе электроразрядного измельчения бурого угля одновременно происходят деструктивные реакции разложения воды. Молекулы воды под влиянием высоких температур и давлений диссоциируют,

происходит так называемый термолиз воды с понижением pH и образованием сверхактивных молекул  $H_2O_2$  и ионов  $H^+$  и  $OH^-$ , т.е. образуется активированная жидкая среда. Результатом этих процессов являются различные окислительно-восстановительные реакции в растворах неорганических веществ (азота, фосфора, кальция), присутствующих в бурых углях, увеличение содержания гуминовых кислот [11]. В процессе электроразрядной обработки бурого угля в активированной среде происходят процессы физико-химического разложения каустобионитов, деструкция и расщепление крупных частиц на радикалы до полного выхода гуминовых кислот. Одновременно осуществляется выщелачивание из минеральной части таких элементов, как азот, фосфор, бор, медь, марганец и других микроэлементов, что еще больше может повысить удобрительную ценность гуминовых препаратов.

Электроразрядная тонкая дезинтеграция угля возможна за счет управляемости дозирования энергии путем оптимизации параметров и режимов разряда. В табл. 1 представлены результаты обработки 54 кг бурого угля (по 6 кг в каждом опыте) высоковольтными электроразрядами с параметрами и режимами обработки, ранее установленными в работе [12] при измельчении аналогичных по свойствам материалов.

Таблица 1 – Фракционный состав измельченного бурого угля

Запасенная энергия $W$ , кДж	$f$ , Гц	Фракционный состав суспензии, %			
		50 мкм	от 50 до 100 мкм	от 100 до 200 мкм	> 200 мкм
0,625	6,0	–	–	67,0	33,0
	6,0	–	–	80,0	20,0
	6,0	–	–	99,0	1,0
1,25	5,0	–	–	92,0	5,0
	5,0	–	90,0	5,0	2,6
	5,0	93,0	4,0	2,0	1,0
2,5	4	93,0	5,0	1,0	1,0
	4	95,0	1,2	1,2	2,6
	4	93,0	4,7	1,6	0,7

Исходя из анализа полученных результатов, наиболее целесообразным для дезинтеграции бурых углей с целью получения удобрений является режим электроразрядной обработки с энергией в импульсе 2,5 кДж и частоте следования импульсов 4 Гц, при котором достигнуто измельчение бурого угля на фракции

50 мкм и меньше, что составило более 90 % от общего объема [13]. Физиологическая активность гуминовых препаратов с таким фракционным составом увеличивается, поскольку они эффективнее усваиваются мембранами клеточной структуры растений.

Проведенные лабораторные исследования позволили установить, что массовое содержание питательных веществ и микроэлементов в электрогидравлически обработанном буром угле резко повысилось, в сравнении с исходным. Так, массовое содержание аммиачного азота возрастает в 2,4 раза, а водорастворимого органического вещества – в 3,5.

**Выводы.** Проведенные исследования показали возможность использования электроразрядной обработки для получения устойчивых водно-угольных суспензий из бурого угля для производства удобрений.

Высоковольтный разрядно-импульсный метод получения гуминового удобрения позволит совместить дезинтеграцию бурого угля до фракции от 0,2 мм и меньше и создание активной среды, и за счет этого получить стабильную и устойчивую суспензию, обогащенную гуминовыми кислотами и макро- и микроэлементами.

Использование электроразрядов для получения удобрений на базе бурых углей имеет достаточно хорошую перспективу.

#### Список литературы

1. Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ / Д.С. Орлов // Гуминовые вещества в биосфере. – М.: Наука, 1993. – С. 16-27.
2. Горовая А.И. Гуминовые вещества / А.И. Горовая, Д.С. Орлов, О.В. Щербенко. – К.: Наукова думка, 1995. – 303 с.
3. Бондарюк Т.С. Джерела та технології отримання гумінових препаратів / Т.С. Бондарюк, В.О. Гнеушев // Досягнення та перспективи застосування гумінових речовин у сільському господарстві: матер. Міжнар. наук.-практ. конф., 20-22 лютого 2008 р. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський державний аграрний університет, 2008. – С.100-102.
4. Денисюк Е.А. Технологии получения гуминовых веществ / Е.А. Денисюк, И.А. Кузнецова, Р.А. Митрофанов // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 2. – С. 66-80.
5. Пат. РФ № 2125039, МПК<sup>7</sup> C05F7/00. Гуминовый концентрат, способ его получения, устройство для электрохимического получения гуминового концентрата / Шульгин А.И., Шаповалов А.А., Пуцькин Ю.Г.
6. Круглицкий Н.Н. Физико-химическая механика дисперсных систем в сильных импульсных полях / Н.Н. Круглицкий, Г.Г. Горovenko, П.П. Малюшевский. – К.: Наукова думка, 1983. – 192 с.
7. Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии / П.П. Малюшевский. – К.: Наукова думка, 1983. – 272 с.
8. Ризун А.Р. Электроразрядное измельчение бурого угля как компонента водно-угольного топлива / А.Р. Ризун, Ю.В. Голень, Т.Д. Денисюк // Электронная обработка материалов. – 2009. – № 3. – С. 96–99.
9. Ризун А.Р. Электроразрядная дезинтеграция бурого угля для изготовления водно-угольного топлива / А.Р. Ризун, Ю.В. Голень, Т.Д. Денисюк // Импульсные процессы в механике сплошных сред; матер. VIII Междунар. науч. конф., 17-21 августа 2009 г. – Николаев: Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, 2009. – С. 130-131.
10. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава

промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.

11. Юцишина А.Н. Изучение химических реакций при электроразрядном воздействии в воде и водных растворах неорганических веществ / А.Н. Юцишина, Н.И. Кускова, А.П. Малюшевская // Электронная обработка материалов. – 2007. – № 5. – С. 52-55.

12. Ризун А.Р. Разработка и внедрение электроразрядного процесса дезинтеграции компонентов для водно-угольного топлива / А.Р. Ризун, Ю.В. Голень, Т.Д. Денисюк // Наука та іновачії. – 2009. – №15. – С. 42-46.

13. Пат. України № 107536, МПК (2006.01) C05F 11/02, B02C 19/18. Спосіб одержання гумінового добрива / Ризун А.Р., Денисюк Т.Д., Домерщикова А.О.; заявник і патенто власник Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України. – № u201512641; заявл. 21.12.15; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11, <http://www.uipv.org>.

#### Bibliography (transliterated):

1. Orlov D.S. Features and functions of humic substances. Humic substances in the biosphere. Moscow: Nauka, 1993, pp. 16-27.
2. Gorovaya A.I., Orlov D.S., Shcherbenko O.V. Humic substances. Kyiv: Naukova Dumka, 1995, 303 p.
3. Bondaryuk T.S., Hnyeushev V.A. Sources and technologies of humic preparations. Achievements and prospects of humic substances in agriculture: mater. Intern. nauk. and practical. Conf., 20-22 February 2008. Dnipropetrovsk, Dnipropetrovsk State Agrarian University, 2008, pp. 100-102.
4. Denisjuk E.A., Kuznetsov I.A., Mitrofanov R.A. Technology for production of humic substances. Bulletin NGIEI, 2014, No 2, pp. 66 - 80.
5. Pat. Russian Federation No 2125039, IPC 7 C05F7 / 00. Humic concentrate its production method, a device for the electrochemical production of humic concentrate. Shulgin A.I., Shapovalov A.A., Putsykin Y.G.
6. Kruglitsky N.N., Horovenko G.G., Malyushevsky P.P. Physico-chemical mechanics of disperse systems in strong pulsed fields. Kyiv: Naukova Dumka, 1983, 192 p.
7. Malyushevsky P.P. Basics of Running-pulse technology. Kyiv: Naukova Dumka, 1983, 272 p.
8. Rizun A.R., Holen Y.V., Denisjuk T.D. Electric discharge milling of brown coal as a component of water-coal fuel. Electronic processing of materials, 2009, No 3, pp. 96-99.
9. Rizun A.R., Holen Y.V., Denisjuk T.D. Electrical discharge disintegration of brown coal for the production of water-coal fuel. Switching processes in continuum mechanics; Mater. VIII Intern. scientific. conf, 17-21 August 2009, Nikolaev. Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2009, pp. 130-131.
10. Kouzov P.A. Basics of disperse composition of industrial dust and shredded materialov. Leningrad: Chemistry, 1987, 264 p.
11. Yushchyshyn A.N., Kuskova N.I., Malyushevskaya A.P. Study of the chemical reactions of the discharge exposure in water and aqueous solutions of inorganic compounds. Electronic processing of materials, 2007, No 5, pp. 52-55.
12. Rizun A.R., Holen Y.V., Denisjuk T.D. Development and implementation of an electric component of the process of disintegration of the water-coal fuel. Science that innovatsii, 2009, No 15, pp. 42-46.
13. Pat. Ukraine No 107536, IPC (2006.01) S05F 11/02, B02C 19/18. A method for producing humic fertilizer. Rizun A.R., Denisjuk T.D., Domerschikova A.O.; patent owner Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, No u201512641; appl. 21.12.15; publ. 10.06.16, Bull. Number 11, <http://www.uipv.org>.

Поступила (received) 01.10.2016



*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Електророзрядна технологія – перспективний шлях одержання гумінових речовин / Т. Д. Денисюк, О. М. Рачков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 19-23. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0740.

**Электроразрядная технология – перспективный путь получения гуминовых веществ / Т. Д. Денисюк, А. Н. Рачков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 36 (1208). – С. 19-23. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0740.

**Electric cooking technology is a perspective method of humic substances making / T. D. Denisyuk, A. N. Rashkov** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – № 36 (1208). – С. 19-23. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-0740.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Денисюк Тетяна Дмитрівна** – молодший науковий співробітник Інституту імпульсних процесів і технологій Національної академії наук України, м. Миколаїв; тел. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.iipt@com.ua.

**Денисюк Тат'яна Дмитрівна** – младший научный сотрудник Института импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины, г. Николаев; тел. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.iipt@com.ua.

**Denisyuk Tatiana** – Junior Researcher at the Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv; tel. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.iipt@com.ua.

**Рачков Олексій Миколайович** – молодший науковий співробітник Інституту імпульсних процесів і технологій Національної академії наук України, м. Миколаїв; тел. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.iipt@com.ua.

**Рачков Алексей Николаевич** – младший научный сотрудник Института импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины, г. Николаев; тел. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.iipt@com.ua.

**Rashkov Alexey** – Junior Researcher at the Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv; tel. (0512) 58-71-21; e-mail: dpcd.iipt@com.ua.

УДК 551.594.21:62:781

**А.В. ЖУРАХІВСЬКИЙ, І.В. ЛИЩАК, Т.В. БІНКЕВИЧ**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МИТТЄВОГО ЗНАЧЕННЯ РОБОЧОЇ НАПРУГИ НА ОЦІНКУ НАДІЙНОСТІ ГРОЗОЗАХИСТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ**

Розглянуто існуючі моделі врахування миттєвого значення робочої напруги під час розрахунку грозостійкості ліній електропередачі та обґрунтовано необхідність врахування впливу робочої напруги. Запропоновано новий метод врахування робочої напруги, який забезпечить адекватну відповідність природнім процесам під час врахування робочої напруги. Проведено розрахунок запропонованим методом на прикладі лінії електропередачі напруга якої становить 220 кВ та виконана проміжними опорами типу П – 220 – 2. Побудовано діаграми розподілу кутів пробоя для різних фаз лінії електропередачі та криві небезпечних параметрів.

**Ключові слова:** лінія електропередачі, надійність грозозахисту, робоча напруга, крива небезпечних параметрів, випадкові фактори, ймовірність пробоя ізоляції.

Рассмотрены существующие модели учета мгновенного значения рабочего напряжения при расчете грозостойкости линий электропередачи и обоснована необходимость учета влияния рабочего напряжения. Предложен новый метод учета рабочего напряжения, который обеспечит адекватное соответствие естественным процессам во время учета рабочего напряжения. Проведен расчет предложенным методом на примере линии электропередачи напряжением которой составляет 220 кВ и выполненной промежуточными опорами типа П - 220 - 2. Построены диаграммы распределения углов пробоя для различных фаз линии электропередачи и кривые опасных параметров.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, надежность грозозащиты, рабочее напряжение, кривая опасных параметров, случайные факторы, вероятность пробоя изоляции.

The existing model of accounting instantaneous operating voltage when calculating lightning protection of transmission lines and the necessity of taking into account the influence of the operating voltage is considered. It is proposed a new method of working voltage, which will ensure adequate compliance with the natural processes during the operating voltage. It is conducted the calculation of the proposed method by the example of the power line voltage which is 220 kV and intermediate supports made of type II - 220 - 2. It is built breakdown angle distribution diagrams for the various phases of the transmission line parameters and dangerous curves. After analyzing dangerous curves the proposed method increases the area of safety parameters in comparison with existing methods.

**Keywords:** transmission line, reliability of lightning protection, power supply, dangerous curve parameters, random factors, the probability of insulation breakdown