

trojstv i sistem avtomatiki metodom planirovanija jeksperimenta [Research of devices and automation systems by experiment planning] / Ed. V.G. Voronov. Kharkiv: Vishha shkola Publ. 1986. 240 p.

10. Adler Ju.P., Markova E.V., Granovskij Ju.V. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow: Nauka Publ., 1976. 279 p.

11. Burgsdorf V.V., Jakobs A.I. Zazemljajushhie ustrojstva

jelektrostanovok [Electrical installation grounding systems]. Moscow: Jenergoatomizdat Publ., 1987. 400 p.

12. Link I.Ju., Koliushko D.G., Koliushko G.M. Matematicheskaja model' nejekvipotencial'nogo zazemljajushhego ustrojstva podstancii, razmeshhennogo v dvuhslojnom rrunte [Mathematical model of non-equipotential grounding system of a substation located into a two-layer soil]. Jelektronnoe modelirovanie. 2003. vol. 25. № 2. pp. 99-111.

Поступила (received) 15.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Глебов Олег Юрійович (Глебов Олег Юрьевич, Gļebov Oleg Jurijovych) – старший науковий співробітник, Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» НТУ «ХПІ», тел.: (057) 707-66-71; e-mail: nio5_molniya@ukr.net.

УДК 621.319.4

В.И. ГУНЬКО, А.Я. ДМИТРИШИН, С.О. ТОПОРОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С УЛУЧШЕННЫМИ МАССОГАБАРИТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Рассмотрены результаты исследований конденсаторных секций с различным рабочим диэлектриком для создания погружных высоковольтных импульсных конденсаторов с улучшенными массогабаритными характеристиками. Для каждого из типов диэлектрика было проведено ресурсные испытания на разных напряжениях, по результатам которых были сделаны выводы о наиболее перспективной конструкции рабочего диэлектрика секции для погружных конденсаторов. Также были выполнены расчеты тепловых режимов, по которым даны рекомендации по уменьшению перегрева в середине конденсатора.

Ключевые слова: рабочий диэлектрик секции конденсатора, длительная электрическая прочность, температура перегрева, погружной высоковольтный импульсный конденсатор.

В.І. ГУНЬКО, О.Я. ДМИТРИШИН, С.О. ТОПОРОВ

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМБІНОВАНОГО ПЛІВКОВОГО ДІЕЛЕКТРИКА НА ОСНОВІ ПОЛІПРОПІЛЕНОВОЇ ТА ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНОЇ ПЛІВОК

Розглянуто результати досліджень конденсаторних секцій з різним робочим діелектриком для створення занурювальних високовольтних імпульсних конденсаторів з покращеними масогабаритними характеристиками. Для кожного з типів діелектрика було проведено ресурсні випробування на різних напругах, за результатами яких були зроблені висновки о найбільш перспективній конструкції робочого діелектрика секції для занурювальних конденсаторів. Також були проведені розрахунки теплових режимів, за якими дані рекомендації щодо зменшення перегріву в середині конденсатора.

Ключові слова: робочий діелектрик секції конденсатора, довготривала електрична міцність, температура перегріву, занурювальний високовольтний імпульсний конденсатор.

V.I. GUN'KO, A.YA. DMITRISHIN, S.O. TOPOROV

ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE COMBINED FILM DIELECTRIC BASED ON POLYPROPYLENE AND POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FILMS

The results of research of capacitor sections with different working dielectrics (paper, combined paper-film and pure film) for creation of downhole high-voltage pulse capacitors with the improved mass-size characteristics are considered. Residual tests for different types of dielectrics were carried out for different voltages, the results of which made conclusions about the most promising design of the section working dielectric for downhole capacitors (which one is combined paper-film dielectric). Also, calculations of thermal regimes were made, according to which the recommendations for reducing overheating inside the capacitor are given.

Keywords: working dielectric of the capacitor section, long-term dielectric strength, overheat temperature, downhole high-voltage pulse capacitor.

Введение. Одним из направлений деятельности Института импульсных процессов и технологий (ИИПТ) НАН Украины является создание погружных устройств для более полного извлечения полезных ископаемых из недр земли, обустройства и ремонта скважин, проведения геологоразведочных работ [1-3]. В отличие от электроразрядных устройств общепромышленного назначения погружные устройства предназначены для работы в условиях повышенной до 100 °С температуры, внешнего гидростатического давления до 50 МПа и имеют конструктивное исполнение, которое обусловлено такими функциональными особенностями, как транспортабельность, минимальные массогабаритные характеристики при одновременной необходимости обеспечения быстрого и удобного монтажа или демонтажа устройства в полевых условиях.

Электроразрядный комплекс современных погружных устройств для увеличения дебита нефтяных скважин имеет блочную структуру. Большая часть длины и массы погружной части комплекса приходится на емкостной накопитель электрической энергии, состоящий из параллельно соединенных высоковольтных импульсных конденсаторов. Наиболее перспективным путем создания погружных устройств, имеющих улучшенные массогабаритные показатели и, соответственно, большую конкурентную привлекательность, является уменьшение полного объема блока емкостных накопителей электрической энергии при сохранении его эксплуатационных характеристик на существующем уровне.

Цель данной работы – улучшение массогабаритных характеристик высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных устройств

Основная часть. Улучшение массогабаритных характеристик высоковольтных импульсных конденсаторов может осуществляться тремя путями, каждый из которых ведет к увеличению удельной объемной запасаемой энергии конденсаторов. Во-первых, это применение диэлектрических материалов с высокими значениями относительной диэлектрической проницаемости ϵ , во-вторых – повышение величины рабочей напряженности электрического поля $E_{\text{раб}}$ в диэлектрике секций конденсатора и, в-третьих – разработка инженерно-технических решений, позволяющих увеличить активный объем конденсатора, не применяя материалы с высокими значениями ϵ и не повышая $E_{\text{раб}}$ [4-7].

Так как высоковольтный импульсный конденсатор для погружных устройств имеет фиксированное значение наружного диаметра корпуса конденсатора, обусловленное диаметром скважины, то увеличение его удельной объемной запасаемой энергии может осуществляться за счет снижения его длины, т.е. уменьшения числа последовательно соединенных секций в конденсаторе и соответственного увеличения рабочей напряженности электрического поля в диэлектрике секций конденсатора.

В настоящее время блок накопителей электрической энергии погружного устройства состоит из двух

параллельно соединенных высоковольтных импульсных конденсаторов ИКП-30-1,2 имеющих рабочее напряжение 30 кВ и номинальную емкость 1,2 мкФ. Конденсатор ИКП-30-1,2 выполнен в цилиндрическом металлическом корпусе наружным диаметром 101,6 мм и длиной 1350 мм и имеет значение удельной объемной запасаемой энергией 39,4 Дж/дм³. В конструкции конденсатора применено пять последовательно соединенных цилиндрических секций с комбинированным бумажно-пленочным диэлектриком, пропитанным касторовым маслом и величиной рабочей напряженности электрического поля в диэлектрике секций 127,7 кВ/мм.

Для проведения исследований по созданию высоковольтного импульсного конденсатора с улучшенными, по сравнению с конденсатором ИКП-30-1,2, массогабаритными характеристиками выбрано три типа рабочего диэлектрика конденсатора:

– бумажный диэлектрик на основе конденсаторной бумаги типа КОН2, пропитанный касторовым маслом с эквивалентной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{экр}} = 5,678$ и эквивалентным тангенсом угла потерь $\text{tg } \delta_{\text{экр}} = 4,818 \cdot 10^{-3}$;

– комбинированный бумажно-пленочный диэлектрик на основе конденсаторной бумаги типа КОН2 и полиэтилентерефталатной пленки ПЭТ-КЭ, пропитанный касторовым маслом с эквивалентной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{экр}} = 4,161$ и эквивалентным тангенсом угла потерь $\text{tg } \delta_{\text{экр}} = 2,028 \cdot 10^{-3}$;

– комбинированный пленочный диэлектрик на основе шероховатой полипропиленовой пленки Tervakoski Film и полиэтилентерефталатной пленки ПЭТ-КЭ, пропитанный полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20 с эквивалентной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{экр}} = 2,528$ и эквивалентным тангенсом угла потерь $\text{tg } \delta_{\text{экр}} = 1,319 \cdot 10^{-3}$.

По результатам оценочных расчетов различных вариантов конструктивного исполнения высоковольтного импульсного конденсатора, возможных величин рабочей напряженности электрического поля в диэлектрике конденсатора и существующей номенклатуры полимерных пленок и конденсаторных бумаг толщина рабочего диэлектрика конденсатора выбрана равной 60 мкм и одинаковой для всех вариантов исполнения диэлектрика.

Выбрано два конструктивных варианта исполнения конденсатора - на основе четырех последовательно соединенных секций с рабочей напряженностью электрического поля в диэлектрике 125 кВ/мм и на основе трех последовательно соединенных секций с рабочей напряженностью электрического поля – 166,7 кВ/мм. При этом, как показали выполненные расчеты, при использовании бумажного и бумажно-пленочных диэлектриков пропитанных касторовым маслом, обладающих высокими значениями эквивалентной диэлектрической проницаемости, возможно достижение емкости одного конденсатора в 2,4 мкФ при длинах корпусов конденсаторов не превышающих длину корпуса конденсатора ИКП-30-1,2.

Для проведения экспериментальных исследова-

ний по определению длительной электрической прочности выбранных диэлектрических систем были изготовлены макеты секций конденсатора, которые имеют цилиндрическую форму с выступающими на их торцах обкладками, причем обкладки одной полярности соединены между собой способом шоопировки. С целью проверки влияния шоопировки на качество пропитки пленочного диэлектрика макеты секций с пленочным диэлектриком изготавливались как с шоопированными торцами, так и с четырьмя парами вставных токовыводов.

Определение длительной электрической прочности выбранных диэлектрических систем проводилось в режиме колебательного разряда с параметрами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1 – Режимы испытаний макетов секций

Наименование параметра	Величина		
Рабочее напряжение, кВ	6	7,5	10
Амплитуда разрядного тока через секции, кА	2		
Декремент колебаний разрядного напряжения	от 15 до 20		
Частота следования зарядов-разрядов, Гц	1		

Выбор величин рабочего напряжения обусловлен числом последовательно соединенных секций в конструкции высоковольтного импульсного конденсатора

– пять, четыре и три соответственно. Для каждой из величин рабочего напряжения было изготовлено по 10 макетов секций с бумажным и бумажно-пленочным диэлектриком и 20 макетов секций с пленочным диэлектриком – по 10 макетов секций с шоопированными торцами и вставными токовыводами. Результаты испытаний показали, что при величинах рабочего напряжения 6, 7,5 и 10 кВ, с рабочей напряженностью электрического поля в диэлектрике соответственно 100, 125 и 166,7 кВ/мм, наибольшей длительной электрической прочностью обладает комбинированный бумажно-пленочный диэлектрик, пропитанный касторовым маслом. Средняя наработка макетов секций при этих величинах рабочей напряженности электрического поля соответственно составила – $9,8 \cdot 10^5$, $3,8 \cdot 10^5$ и $6,9 \cdot 10^4$ зарядов-разрядов.

Наименьшую наработку показали макеты секций с бумажным диэлектриком, пропитанным касторовым маслом.

У макетов секций с комбинированным пленочным диэлектриком, пропитанным полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20, наименьшая наработка оказалась у макетов секций с вставными токовыводами.

По результатам испытаний построены зависимости длительной электрической прочности от величины рабочей напряженности электрического поля в диэлектрике секций, приведенные на рис. 1.

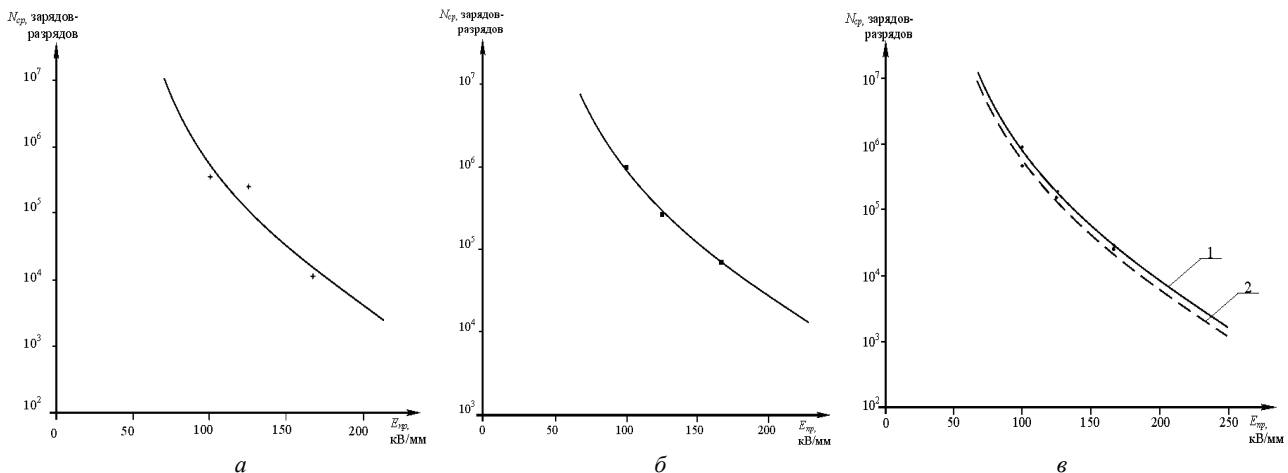


Рисунок 1 – Зависимости длительной электрической прочности от величины рабочей напряженности электрического поля: *a* – в бумажном диэлектрике, пропитанном касторовым маслом; *b* – в бумажно-пленочном диэлектрике, пропитанном касторовым маслом; *v* – в пленочном диэлектрике, пропитанном полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20: 1 – с шоопированными торцами; 2 – со вставными токовыводами.

Проведенная после испытаний дефектация макетов секций показала:

– у всех макетов секций с комбинированным бумажно-пленочным диэлектриком электрический пробой диэлектрика выявлен на краю обкладок секций, т.е. в месте сильно неоднородного электрического поля;

– у 100 % макетов секций с бумажным диэлектриком при рабочем напряжении 10 кВ ($E_{\text{раб}} = 166,7$ кВ/мм) электрический пробой выявлен по толще диэлектрика, при рабочем напряжении 7,5 кВ ($E_{\text{раб}} = 125$ кВ/мм) у 50 % макетов секций электриче-

ский пробой выявлен по толще диэлектрика, а у 50 % – на краю обкладки секции, а при рабочем напряжении 6 кВ ($E_{\text{раб}} = 100$ кВ/мм) это соотношение уже составляет соответственно 80 и 20 %;

– у всех макетов секций с комбинированным пленочным диэлектриком с шоопированными торцами секций электрический пробой выявлен на краю обкладок секций, а у макетов секций со вставными токовыводами у 83 % секций электрический пробой наблюдался в районе вставных выводов, а у остальных – на краю обкладок секций. Необходимо отметить, что

обе конструкции – с шоопированными торцами и вставными токовыводами обеспечивают качественную пропитку пленочного диэлектрика секций.

По результатам проведенных испытаний, для создания высоковольтного импульсного конденсатора с улучшенными массогабаритными характеристиками для погружных электроразрядных комплексов выбран комбинированный бумажно-пленочный диэлектрик толщиной 60 мкм, пропитанный касторовым маслом.

Выбранная диэлектрическая система конденсатора позволяет:

- в случае применения в конструкции конденсатора четырех последовательно соединенных секций при $E_{\text{раб}} = 125$ кВ/мм уменьшить длину высоковольтного импульсного конденсатора ИКП-30-1,2 примерно на 5 %;

- в случае применения в конструкции конденсатора трех последовательно соединенных секций при $E_{\text{раб}} = 166,7$ кВ/мм в корпусе конденсатора ИКП-30-1,2 получить номинальную емкость 2,4 мкФ.

Выполненные тепловые расчеты этих двух вариантов исполнения высоковольтного импульсного конденсатора показали, что при эксплуатации их в номинальном режиме:

- максимальная температура перегрева в центре конденсатора номинальной емкостью 1,2 мкФ находится на уровне конденсатора ИКП-30-1,2;

- максимальная температура перегрева в центре конденсатора номинальной емкостью 2,4 мкФ превышает температуру перегрева в центре конденсатора ИКП-30-1,2 на 18 °С.

На рис. 2 и 3 приведены зависимости расчетной величины максимальной температуры перегрева ΔT_{max} в центре высоковольтного импульсного конденсатора номинальной емкостью 2,4 мкФ от декремента колебаний разрядного тока Δ и частоты следования зарядов-разрядов f_0 , а также от периода разрядного тока T_p и частоты следования зарядов-разрядов f_0 соответственно. Данные зависимости были построены на основании тепловых расчетов в работе [9], в которой используется метод определения тепловых потерь с помощью разложения зависимости напряжения от времени в ряд Фурье.

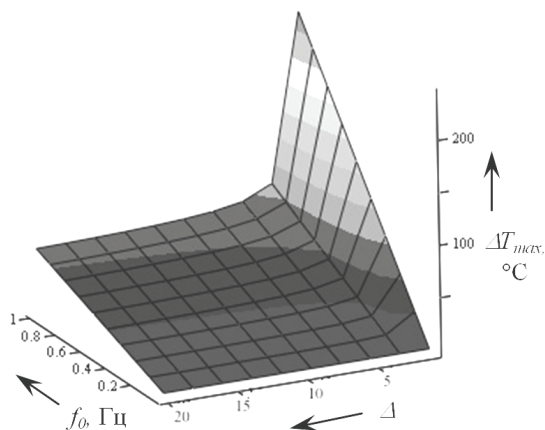


Рисунок 2 – Зависимость максимальной температуры перегрева в центре конденсатора от декремента разрядного тока и частоты следования зарядов-разрядов

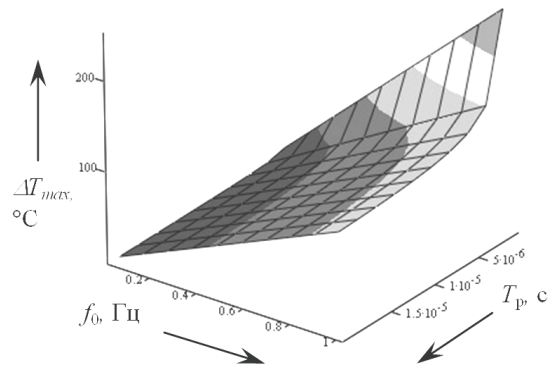


Рисунок 3 – Зависимость максимальной температуры перегрева в центре конденсатора от периода разрядного тока и частоты следования зарядов-разрядов

Как показывают результаты тепловых расчетов этой конструкции конденсатора, снижение величины его перегрева возможно до величины перегрева конденсатора ИКП-30-1,2 за счет уменьшения частоты следования зарядов-разрядов с 0,25 до 0,2 Гц и увеличения периода разрядного тока с $8 \cdot 10^{-6}$ до $50 \cdot 10^{-6}$ с.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

- наиболее перспективной, с точки зрения снижения массогабаритных показателей блока накопителей электрической энергии погружных устройств является конструкция конденсатора с бумажно-пленочным диэлектриком номинальной емкостью 2,4 мкФ;

- снижение максимальной температуры перегрева в центре конденсатора возможно за счет изменения режима его эксплуатации, которое приводит к незначительному увеличению суммарного времени обработки скважины.

Список литературы

1. Дубовенко К.В. Разрядно-импульсное оборудование для увеличения дебита нефтяных и водозаборных скважин / К.В. Дубовенко, Ю.И. Курашко, И.С. Швец, Л.И. Онищенко // Вісник НТУ «ХП». – 2002. – № 7, т. 1. – С. 96-102.
2. Жекул В.Г. Разработка и создание высоковольтных малогабаритных погружных устройств для интенсификации добычи полезных ископаемых из недр земли / В.Г. Жекул, В.М. Косенков, Ю.И. Курашко, Л.И. Онищенко, И.С. Швец // Материалы Междунар. науч. конф. «Физика импульсных разрядов в конденсированных средах». – Николаев, 2005. – С. 101-103.
3. Швец И.С. Электроразрядный комплекс для интенсификации добычи шахтного метана / И.С. Швец, Ю.И. Курашко, О.В. Хвоцан, В.В. Литвинов, Ю.И. Мельхер, Л.И. Онищенко, В.И. Гунько // Наука та іновації. – 2008. – № 6. – С. 54-59.
4. Кучинский Г.С. Силовые электрические конденсаторы / Г.С. Кучинский, Н.И. Назаров. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 310 с.
5. Дмитришин А.Я. Анализ характеристик высоковольтных импульсных конденсаторов с высокими значениями удельной запасаемой энергии / А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко, В.И. Гунько, И.Ю. Гребенников // Матер. Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених з міжнар. участю «Електротехніка і електромеханіка». – Миколаїв: НУК, 2006. – С. 15-20.

6. Гребенников И.Ю. Повышение энергоёмкости высоковольтных импульсных конденсаторов для скважинных устройств / И.Ю. Гребенников, В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко // Электронная обработка материалов. – 2007. – № 3. – С. 74-76.

7. Гребенников И.Ю. Оценка достигнутого уровня и перспективы создания высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов / И.Ю. Гребенников, В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко, И.С. Швец // Электротехника. – 2007. – № 8. – С. 48-51.

8. Дмитришин А.Я. Исследование тепловых режимов работы высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов / А.Я. Дмитришин, В.И. Гунько, С.О. Топоров, Е.Н. Слепец // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 52. – С. 71-75.

9. Костенко Э.И. К расчёту потерь энергии в накопительном конденсаторе / Э.И. Костенко // Электричество. – 1969. – № 11. – С. 79-82.

References (transliterated)

1. Dubovenko K.V., Kurashko Ju.I., Shvets I.S., Onischenko L.I. Razrjadno-impul'snoe oborudovanie dlya uvelicheniya debita neftyanyh i vodozabornyh skvazhin [Discharge-pulse equipment for increasing the flow rate of oil and water wells]. Visnyk NTU «KhPI» [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2002, no. 7, vol. 1, pp. 96–102.

2. Zhekul V.G., Kosenkov V.M., Kurashko Ju.I., Onischenko L.I., Shvets I.S. Razrabotka i sozdanie vyysokovoltnyh malogabaritnyh pogruzhnyh ustrojstv dlja intensivatsii dobychi poleznyh iskopaemyh iz nedr zemli [Development and creation of high-voltage small submersible devices for intensification of mining operations from the bowels of the earth]. Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Fizika impul'snyh razrjadov v kondensirovannyh sredah» [Proc. of the Int. Conf. "Physics of Pulse Discharges in Condensed Media"]. Nikolaev, 2005, pp. 101-103.

3. Shvets I.S., Kurashko Ju.I., Khvoschan O.V., Litvinov V.V., Melher Ju.I., Onischenko L.I., Gunko V.I. Elektrorazryadnyj kompleks dlja intensivatsii dobychi shahtnoho metana

[Electric discharge complex for intensification of coal mine methane production]. Nauka ta inovatsii [Science and innovations], 2008, no. 6, pp. 54-59.

4. Kuchinskij G.S., Nazarov N.I. Silovye elektricheskie kondensatory [Electric Power Capacitors]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1992. 310 p.

5. Dmitrishin A.Ja., Onischenko L.I., Gun'ko V.I., I.Ju Grebennikov Analiz harakteristik vyysokovol'tnyh impul'snyh kondensatorov s vysokimi znachenijami udelnoy zapasaemoy energii [Analysis of the characteristics of high-voltage pulse capacitors with high specific storage energy]. Materialy Vseukrajinskoji naukovo-tehnichnoji konferenciji studentiv, aspirantiv, molodyh vchenyh z mizhnar. uchastju «Elektrotehnika i elektromehanika» [Proc. of the All-Ukr. Conf. with international participation «Electrical engineering and Electromechanics»]. Mykolajiv, NUOS Publ., 2006, pp. 15-20.

6. I.Ju Grebennikov, Gunko V.I., Dmitrishin A.Ja., Onischenko L.I. Povyshenie energoemkosti vyysokovoltnyh impul'snyh kondensatorov dlya skvazhinnyh ustrojstv [Increase of energy intensity of high-voltage impulse capacitors for downhole devices]. Elektronna obrabotka materialov [Surface Engineering and Applied Electrochemistry], 2007, no. 3, pp. 74-76.

7. I.Ju Grebennikov, Gunko V.I., Dmitrishin A.Ja., Onischenko L.I., Shvets I.S. Otsenka dostignutogo urovnya i perspektivyvi sozdaniya vyysokovoltnyh impul'snyh kondensatorov dlya pogruzhnyh elektrorazryadnyh kompleksov [Assessment of the achieved level and prospects for the creation of high-voltage impulse capacitors for downhole electric discharge complexes]. Elektrotehnika [Electrical engineering], 2007, no. 8, pp. 48-51.

8. Dmitrishin A.Ya., Gun'ko V.I., Toporov S.O., Slepets E.N. Issledovanie teplovyh rezhimov raboty vyysokovoltnyh impul'snyh kondensatorov dlja pogruzhnyh elektrorazryadnyh kompleksov [Investigation of thermal operating conditions of high-voltage pulse capacitors for dawnhole electric discharge complexes]. Visnyk NTU «KhPI» [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2012, no. 52, pp. 71–75.

9. Kostenko E.I. K raschetu poter' energii v nakopitel'non kondensatore [To calculate for power loses in the capacitor]. Elektrichestvo [Electricity], 1969, no 11, pp. 79-82.

Поступила (received) 13.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гунько Віктор Іванович (Гунько Виктор Иванович, Gun'ko Viktor Ivanovych) – зав. сектором, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, м. Миколаїв; тел.: (0512) 58-71-36; e-mail: dphc@iipt.com.ua.

Дмитрішин Олексій Ярославович (Дмитришин Алексей Ярославович, Dmitrishin Aleksey Yaroslavovych) – молодший науковий співробітник, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, м. Миколаїв; тел.: (0512) 58-71-36; e-mail: dphc@iipt.com.ua.

Топоров Сергій Олександрович (Топоров Сергей Александрович, Toporov Sergey Olegovych) – провідний інженер, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, м. Миколаїв; тел.: (0512) 58-71-36; e-mail: dphc@iipt.com.ua.