



Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

**II Всеукраїнська науково-технічна  
конференція «Енергоефективність  
та енергетична безпека  
електроенергетичних систем»**

**EEES-2018**

*Збірник наукових праць*

**3-6 грудня 2018 р.**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний технічний університет**  
**«Харківський політехнічний інститут»**  
**Харківський національний технічний університет**  
**сільського господарства імені Петра Василенка**  
**Державне підприємство національна енергетична**  
**компанія «УКРЕНЕРГО»**  
**Товариство з обмеженою відповідальністю «БІР Україна»**  
**Акціонерне товариство «Харківобленерго»**  
**Публічне акціонерне товариство «Завод «Південкабель»**  
**Харківське регіональне науково-технічне товариство енергетиків**  
**та електротехніків**

## **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**II Всеукраїнської науково-технічної конференції**  
**«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА**  
**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЕЕЕС-2018)»**

**3 - 6 грудня 2018 р.**  
**Україна, Харків**

УДК 621.31  
Д76

**Редакційна колегія:**

Бондаренко Р. В., Данильченко Д. О., Довгалюк О. М., Кулик О. С.,  
Сайдов Ш. Н., Шутенко О. В.

Д76 II Всеукраїнська науково-технічна конференція  
«Енергоефективність та енергетична безпека  
електроенергетичних систем (EEES-2018)». Збірник наукових  
праць. Харків : «Друкарня Мадрид», 2018. 102 с.  
ISBN 978-617-7683-56-7

До збірника включені наукові доповіді учасників  
конференції «Енергоефективність та енергетична безпека  
електроенергетичних систем (EEES-2018)».

УДК 621.31

Матеріали збірника публікуються в авторському варіанті без редагування

Видання підготовлено кафедрою передачі електричної енергії  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»

61002, Україна, Харків, вул. Кирпичова, 2

ISBN 978-617-7683-56-7

© НТУ «ХПІ», 2018  
© «Друкарня Мадрид», 2018

**ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:**

**Марченко Андрій Петрович** – проректор НТУ «ХПІ» з наукової роботи, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, академік АН вищої школи України, д.т.н., проф., завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння;

**Томашевський Роман Сергійович** – к.т.н, доц., директор навчально-наукового інституту енергетики, електроніки та електромеханіки НТУ «ХПІ»;

**Бондаренко Володимир Омелянович** - д.т.н, проф., завідувач кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ»;

**Гриб Олег Герасимович** – д.т.н, проф., завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем НТУ «ХПІ»;

**Гурин Анатолій Григорович** – д.т.н, проф., завідувач кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ»;

**Лазуренко Олександр Павлович** – к.т.н, доц., проф. НТУ «ХПІ», завідувач кафедри електричних станцій НТУ «ХПІ»;

**Безпрозванних Ганна Вікторівна** – д.т.н, проф., професор кафедри електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ»;

**Шевченко Сергей Юрьевич** – д.т.н, проф., професор кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ»;

**Довгалюк Оксана Николаевна** – к.т.н, доц., професор кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ»;

**Лисенко Людмила Іванівна** – к.т.н, доц., доцент кафедри електричних станцій НТУ «ХПІ»;

**Махотіло Костянтин Володимирович** - к.т.н., с.н.с., доцент кафедри електричних станцій НТУ «ХПІ»;

**Шутенко Олег Владимирович** – к.т.н, доц., доцент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ»;

**Мірошник Олександр Олександрович** – д.т.н, проф., завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ХНТУСГ;

**Черемісін Микола Михайлович** – к.т.н, проф., професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ХНТУСГ;

**Золотарьов Володимир Михайлович** – генеральний директор ПАТ «Завод «Південкабель»;

**Антонець Юрій Опанасович** – технічний директор ПАТ «Завод «Південкабель»;

**Ганус Олексій Іванович** – к.т.н., доц., заступник голови правління АТ «Харків-обленерго» з технічних питань;

**Старков Костянтин Олександрович** – к.т.н., доц., заступник начальника виробничо-технічного управління АТ «Харківобленерго»;

**Ажкігітова Дінара Загідуллівна** – директор ТОВ «БІР Україна»;

**Белікова Тетяна Олександрівна** – заступник голови Харківського регіонального науково-технічного товариства енергетиків та електротехніків.

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:**

**Федосесенко Олена Миколаївна** – старший викладач кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХП»;

**Данильченко Дмитро Олексійович** – асистент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХП»;

**Дривецький Станіслав Ігорович** – асистент кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХП»;

**Бондаренко Роман Вікторович** – аспірант кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХП»;

**Федорчук Станіслав Олегович** – аспірант кафедри електричних станцій НТУ «ХП»;

**Стягайло Марина Юрївна** – HR менеджер ТОВ «БІР Україна»;

**Маслова Тетяна Григорівна** – інженер Харківського регіонального науково-технічного товариства енергетиків та електротехніків.

## ЗМІСТ

DISTINCTIVE FEATURES OF THE CHOICE OF SOLAR POWER PLANTS	
Bezкотnyi P.I., Dovgalyuk O.N. ....	9
DIAGNOSTICS OF HUMIDIFICATION OF POWER CABLES OF MEDIUM VOLTAGE WITH CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATION	
Bezprozvannykh G.V., Kyessayev A.G. ....	11
УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ ГАЗОВ	
Абрамов В.Б. ....	13
ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧА ПЛИТКА З ЕЛЕКТРОМАШИНИМ ВУЗЛОМ НА БАЗІ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ	
Аргун Щ.В., Гнатов А.В., Дзюбенко О.А., Понікаровська С.В. ....	14
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ И СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНОСТЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	
Барбашов И.В., Обухов В.Р. ....	16
СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКИХ НОМИНАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ	
Барбашов И.В., Риморев Д.С. ....	19
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
Березка С.К., Стасюк И.В., Хоменко И.В. ....	21
ЗНАЧЕННЯ РИНКУ ДОПОМІЖНИХ ПОСЛУГ У СТРУКТУРІ НОВОЇ МОДЕЛІ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ	
Бондаренко Р.В., Довгалюк О.М., Мірошник К.А. ....	22
АНАЛИЗ АСПЕКТОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПОСТОЯННЫМ И ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ	
Бондаренко В.Е., Пономаренко С. Г. ....	24
ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЯХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ	
Борзенков І.І., Данильченко Д.О., Шевченко С.Ю. ....	25
КОНТРОЛЬ НАПРУГИ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
Босий Д.О., Громова Ю.М., Косарев Є.М., Пулін М.М., Сиченко В.Г. ....	26
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РОЗГАЛУЖЕНИХ СИСТЕМ З НЕЛІНІЙНИМИ ТА НЕСИМЕТРИЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ	
Босий Д.О., Земський Д.Р. ....	27

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТИ В ОЕС УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ENTSO-E Вайнфельд Е.Й., Довгалюк О.М., Шкрібела А.В., Привалов Ю.Л. ....	29
ОДНОФАЗНІ ЗАМИКАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ Воропай В.Г., Дьяков С.Д. ....	32
ЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НЕВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ ДОМОГОСПОДАРСТВ Галько С.В., Новах Б.С. ....	34
ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ КОМУНАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ Гаряжа В.М., Кравченко Ю.П. ....	36
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОВОДА ЛЕП Горайнова К.А., Рой В.Ф. ....	38
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTI ПАРОПРОВОДІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ Глушко А.В. ....	39
МАЙБУТНЄ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ - ПЕРЕХІД ДО ЄДИНОГО ЦИФРОВОГО СЕРЕДОВИЩА ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ Гриб О.Г., Карпалюк І.Т., Швець С.В. ....	41
ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ДОСЛІДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АЧХ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПІД ЧАС ЙОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ З МЕТОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ Гришук М.О., Дмуховський В. П., Лабзун М. П., Рубаненко О. Є. ....	43
СТІЙКІСТЬ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ Губський П.В., Коваленко І.В., Кузнецов В.Г., Ляшук В.М., Пулін М.М. ....	45
НАВЕДЕНІ БЛИСКАВКОЮ ПЕРЕНАПРУГИ НА ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ 6-35 КВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ПРОВОДІВ Данильченко Д.О., Дривецький С.І., Шевченко С.Ю. ....	46
АВТОНОМНА СОНЯЧНА ТРИГЕНЕРАЦІЙНА ЕНЕРГОУСТАНОВКА Діордієв О.О., Довгалюк О.М., Жарков А.В. ....	48
ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ В ОЕС УКРАЇНИ Довгалюк О.М., Касай О.О., Шкрібела А.В. ....	50
ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ Довгалюк О.М., Лазуренко О.П., Саїдов Ш.Н., Яковенко І.С. ....	52
ЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ SMART GRID ПРИ РЕФОРМУВАННІ ЕНЕРГОРИНКУ УКРАЇНИ Довгалюк О.М., Лежнюк П.Д., Черемісін М.М. ....	55
ЗАСТОСУВАННЯ КОМУТАЦІЙНИХ І ФІЛЬТРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ Довгалюк О.М., Омеляненко Г.В., Піротті О.С., Сиромятнікова Т.В. ....	57

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ ПРОВІДНИКІВ

Дьяков С.Д., Сиромятнікова Т.В. .... 59

ЕНЕРГООПТИМАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ШВИДКІСНОМУ РУСІ

Сфремова К.Р., Папахов О.Ю., Сиченко В.Г. .... 61

АНАЛІЗ РОБОТИ ПРИВАТНИХ ДАХОВИХ СЕС ТА ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ МІСТА ЩОДО ЇХ ІНТЕГРАЦІЇ ДО СПІЛЬНОЇ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Жарков А.В., Жарков В.Я. .... 63

ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИЙ МАТЕРІАЛ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДЛЯ ДЖЕРЕЛА НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА

Жарков А.В., Хромишев В.О., Хромишева О.О. .... 66

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ МЕТОДОМ МИНИМАЛЬНОГО РИСКА С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Загайнова А.А. .... 68

ВПЛИВ РОБОЧОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЛІВКОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Зайцев Р.В., Кіріченко М.В., Прокопенко Д.С., Хрипунов Г.С. .... 70

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОЦЕНКИ ИСТОЧНИКОВ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ТОЧКЕ ОБЩЕГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

Калюжный Д.Н., Саенко Ю.Л. .... 72

SMART GRID В СИСТЕМАХ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

Коляда О.Ю. .... 74

ВПЛИВ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Комар В.О., Котилко І.О., Кравчук С.В., Лежнюк П.Д. .... 75

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГ У РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ З ДУГОГАСНИМ РЕАКТОРОМ ПРИ ВИМИКАННІ ДВОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ

Кошман В.І., Сабарно Л.Р., Севастюк І.М. .... 77

АНАЛІЗ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ФЕРОРЕЗОНАНСНИХ ПРОЦЕСІВ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ПІДКЛЮЧЕННІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Кузнецов В.Г., Нікішин Д.А., Тугай І.Ю. .... 79

АНАЛІЗ ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АРГ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПА ДЕФЕКТА ОБОРУДОВАНИЯ

Кулик А.С. .... 80

ЗАВАЖАЮЧА ДІЯ ВИЩИХ ГАРМОНІК КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

Кулик О.С., Пономаренко С.Г. .... 82



РОЗРАХУНОК ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Кулик О.С., Пономаренко С.Г. .... 83

МОЖЛИВІСТЬ СТВОРЕННЯ НАДПРОВІДНИХ КАБЕЛІВ ДЛЯ ЛІНІЙ  
ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НА ОСНОВІ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК

Мінакова К.О. .... 84

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИСТРОЇ В СИСТЕМАХ ЗАХИСТУ ТА  
КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ

Мірось Ю.О., Рой В.Ф. .... 86

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ ПОВІТРЯНИХ  
ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ 6-35 КВ

Мірошник О.О., Пазій В.Г. .... 88

ВПЛИВ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ ОБЛІКУ  
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Плешакова М.А., Рой В.Ф. .... 89

НОВА МОДЕЛЬ ЕНЕРГОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ  
І АВТОНОМНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Потривай А.Е., Цюпа В.М. .... 90

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕКВІВАЛЕНТНОЇ І АПРОБОВАНОЇ  
МОДЕЛІ ЗАЗЕМЛЮВАЧА В ДВОШАРОВІЙ ЗЕМЛІ

Римарєв Д.С., Федосєєнко О.М. .... 92

МЕРОПРИЯТТЯ ПО СНИЖЕННЮ ПОВРЕЖДАЄМОСТІ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ В  
ГОРОДСКИХ ЕЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ АО «ХАРЬКОВОБЛЭНЕРГО»

Старков К. А. .... 94

ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ  
ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Стисло Б.О., Томашевський Р.С. .... 96

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ  
ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ПАРАМЕТРИ НАВКОЛИШНЬОГО  
СЕРЕДОВИЩА

Черкашина В.В. .... 99

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ГАЗСОДЕРЖАННЯ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Шутенко О.В. .... 101

УДК 621.311

## DISTINCTIVE FEATURES OF THE CHOICE OF SOLAR POWER PLANTS

**Bezkostnyi P.I.<sup>1</sup>, Dovgalyuk O.N.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Harbin institute of technology, China, Harbin

<sup>2</sup> National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, Kharkiv

Solar energy confidently holds steady positions in the global energy industry. The advantages of solar energy include the fact that solar energy is an environmentally friendly source of energy, which allows using it on an increasing scale without adversely affecting the environment. Solar energy is practically an inexhaustible source of energy, solar energy is available at every point of our planet.

At present, organic fuels are being spent at a tremendous rate for heat supply and electricity generation. However, in today's world, their use is associated with the emergence of a number of problems: the constant rise in prices, dependence on supplies, high operating costs for equipment, pollution of the environment.

One of the effective ways to solve this problem is to use renewable energy sources. In the world, this issue has long been given a lot of attention [1]. World leadership in solar power generation is China (78.1 GW), Japan (42.5 GW), Germany (41.3 GW), USA (40.3 GW) and Italy (19.3 GW) [2].

Ukraine did not become an exception, in which the use of sun energy every year is gaining in popularity. The total installed capacity of renewable energy facilities in Ukraine is 1492 MW, of which 56% (839 MW) is a solar energy facility.

According to [3], the main target parameters for the period up to 2035 include the optimization of the structure of the energy balance of the state, based on the requirements of energy security and the provision of a share of renewable energy at a level of 20%. A significant share in this sector is devoted to solar power.

Thus, the study of the peculiarities of the implementation of solar power plants (SPP) and their impact on the work of power systems is relevant and a very important task for the power industry in Ukraine.

Analysis of solar radiation intensity in Ukraine performed. The efficiency of the SPP is inconsistent and depends on several factors. The main one is the intensity and duration of insolation, which is determined by weather conditions, the duration of day and night, that is, the breadth of the area. The type of installed solar panels has a great importance.

The economic efficiency of the use of SPP is determined by the value of net present value, which is proposed to apply as a factor in the economic efficiency of the use of the installation and is calculated by the expression:

$$K_{eff} = NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF}{(1+i)^t} - IC,$$

$CF$  - the income received in the year  $t$ ;

$IC$  - investments, which are given in time before the beginning of the calculation period;

$i$  - accepted interest rate (discount rate).

The proposed criterion of cost-effectiveness will allow to substantiate expediency of using SPP.

The algorithm of the choice of SPP developed taking into account the developed performance criteria. Algorithm involves the consistent execution of calculations and comparisons necessary for a well-defined determination of the structure of the power plant and its components. The developed algorithm for choosing SPP is presented in Fig. 1.

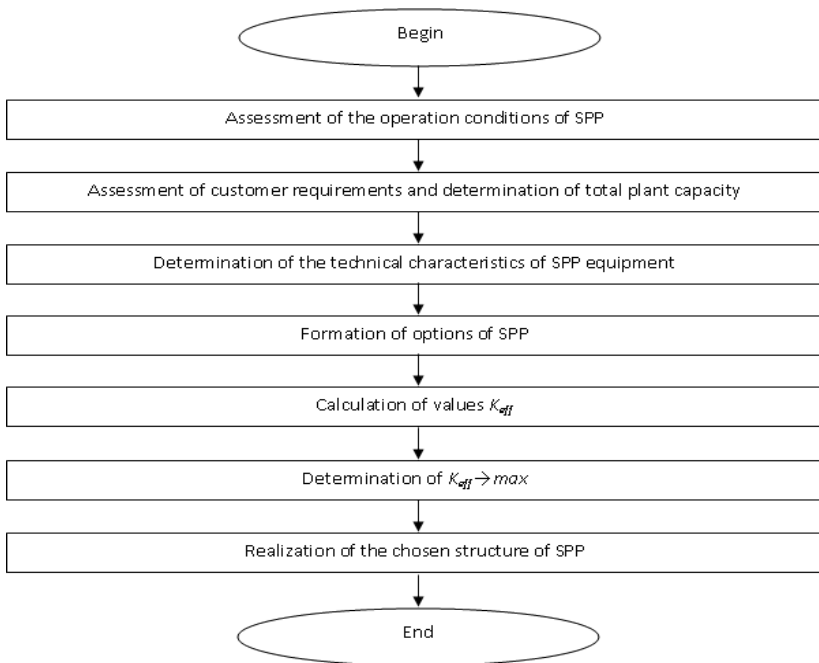


Figure 1 – SPP Selection Algorithm

The developed algorithm for choosing SPP can reasonably make decisions regarding the structure and configuration of the SPP that are being put into operation.

**List of references used:**

1. World energy assessment: energy and the challenge of sustainability / United Nations Development Programme - NY- [edited by Jose Goldemberg], p. 235-247.
2. Suslikov, S.V. Perfection of the method of forecasting changes in the cost of energy resources in the context of calculating the efficiency of the introduction of solar energy technologies / S. V. Suslikov // Energoz-berezhennya. Energy. Energoaudit. - Khar'k: NTU "KhPI". - 2011. - No. 6. - P. 63-67.
3. Ministry of Energy and Vocational Promi-word of Ukraine. The project of the "Energetic Strategy of Ukraine for the period up to 2035". [The electronic resource]. - Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>

УДК 621.31

**DIAGNOSTICS OF HUMIDIFICATION OF POWER CABLES OF MEDIUM VOLTAGE WITH CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATION**

**Bezprozvannykh G.V., Kyessayev A.G.**

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine*

In recent years, medium voltage power cables with cross-linked polyethylene insulation and (XLPE) for power purposes have been intensively introduced into electric regional, city and regional networks. The development, implementation and operation of such cables are faced with the problem of ensuring minimum water content in cross-linked polyethylene insulation.

The presence of residual moisture in the process of cable production, its penetration as a result of the diffusion process through the plastic sheath, defects in the sheath and insulation during laying and operation lead to the formation of water-filled microvoids, water treeing, in vulcanized polyethylene insulation. Moisture in the cables favors the growth of water treeing (WT). The appearance of free moisture in polyethylene insulation power high-voltage cable is a major cause of local amplification of the electric field in insulation and its accelerated degradation. The significant effect of aging cables with XLPE insulation is caused by the emergence and growth of water treeing. The formation and development of water treeing is a long and slow process. Water treeing is considered the main mechanism for limiting the life of power cables made of cross-linked polyethylene insulation. These tree structures reduce the electrical strength of polymer insulation. Such structures can sprout on the entire thickness of insulation and do not lead to breakdown of insulation, but significantly reduce the electrical strength of polyethylene insulation. The statistical data show that at the beginning of operation the breakdown voltage of cross-linked polyethylene insulation of medium voltage power cables is 30 kV/mm, after 30 years the operation is less than 5 kV/mm. The appearance of water treeing is a prerequisite for the emergence of electrical treeings, which are the cause of

cable failures.

Cables with voltage 6 - 35 kV are produced, as a rule, in single-core design, high and ultra-high voltage - only in single-core.

Based on the proposed mathematical model of a power cable of a coaxial design with axial symmetry based on the numerical solution of the Fredholm integral equations of the first and second kind for an axisymmetric electric field in piecewise homogeneous insulation, the distribution of the electric field strength in cross-linked polyethylene insulation with two heterogeneous inclusions of a spherical shape [4].

The regularities of increasing the maximum electric field strength in insulation are investigated with increasing sizes of water inclusions and reducing the distance between them (Fig. 1).

The development of the electric field strength along the surfaces of two spherical inclusions filled with water ( $\epsilon = 80$ ), for different values of the distance  $h$  between them: curve 1 –  $h = 5 \mu\text{m}$ ; curve 2 –  $2.5 \mu\text{m}$ ; curve 3 –  $1 \mu\text{m}$ ; curve 4 –  $0.5 \mu\text{m}$  and curve 5 –  $0.25 \mu\text{m}$ . In Figure II are shown the results for the diameter of inclusions 100 microns, located closer to the conductor at a distance of  $2.5 \mu\text{m}$  from each other.

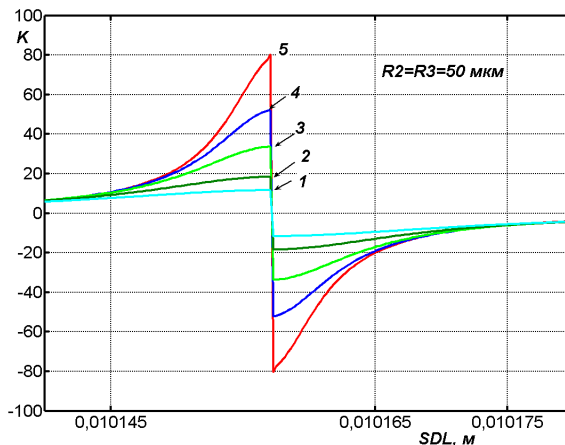


Figure 1 – Influence on the coefficient of heterogeneity of the intensity of the electrostatic field of the distance of two aqueous inclusions of a spherical shape in the thickness of the cross-linked polyethylene insulation of a medium voltage power cable

Based on the computational experiments, it was found that a 10-fold decrease in the distance between spherical inclusions of the same radius, which are completely filled with water with a permittivity of 80, leads to an increase in the inhomogeneity factor of the electric field strength in 10 times. A greater degree of distortion of the electric field is observed at small distances between the spherical inclusions of water: decrease clearance twice leads to increase the electric field strength in 3 times.

The absorption currents measured at 15th, 30th and 60th seconds after applying of a test high DC voltage to the power cable are the informative diagnostic parameters of the degree of moistening of cross-linked polyethylene insulation of power cables.

It is shown, depending on the duration of aging under conditions of high humidity, that the strongest correlation at the level (0.97–0.86) is observed for the absorption currents measured at the 15th and 30th seconds, which is due to the stronger influence of the polarization processes of free moisture on the results of measurements.

УДК 621.314

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ ГАЗОВ

Абрамов В.Б.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина, г. Киев*

В действующем в Украине нормативном документе [1] граничные значения концентраций газов нормируются только в зависимости от класса напряжения оборудования. Однако, в этом же документе для определения значений типичных концентраций газов указывается необходимость учета влияния и других факторов, в частности типа защиты масла. В тоже время остальные факторы, которые могут оказывать влияние, на значения концентраций газов в процессе эксплуатации не приведены. Выполненный в работе [2] анализ эксплуатационных факторов на значения концентраций газов в исправных трансформаторах негерметичной конструкции, позволил установить, что на значения концентраций газов значимое влияние оказывают сорт залитого масла и нагрузка трансформаторов. Еще одним немаловажным аспектом, при определении граничных концентраций газов, является используемый математический аппарат. Так в [1] типичные концентрации газов рекомендуется определять графически по отдельности для каждого из газов, как 90%-ную точку интегральной функции распределения концентрации газа, полученной для 100 и более единиц исправного однотипного оборудования. В тоже время в [3] показано, что рассчитанные таким образом, значения концентраций газов обеспечивают более высокие значения рисков, по сравнению с рисками для граничных концентраций газов, полученные путем минимизации функции среднего риска для многомерных распределений. В связи с этим, для определения граничных концентраций газов необходимо не только учитывать влияние наиболее значимых эксплуата-

ционных факторов, но и использовать более совершенные математические методы.

**Список використаних джерел:**

1. СОУ-Н ЕЕ 46.501:2006: Діагностика маслонаповненого трансформаторного обладнання за результатами хроматографічного аналізу вільних газів, відібраних із газового реле, і газів, розчинених у ізоляційному маслі. – Київ. – 2007.
2. Шутенко О.В., Абрамов В.Б., Баклай Д.Н. Анализ факторов, влияющих на однородность массивов концентраций растворенных в масле газов/ Энергетика та електрифікація. - Київ: - 2013. - № 6. - С. 39-50.
3. Shutenko Oleg, Proskurnia Olena, Abramov Volodymyr Comparative analysis of risks which are accompanied by the use of typical and boundary gases concentrations for the diagnostics of high voltage transformers /Oleg Shutenko, Olena Proskurnia, Volodymyr Abramov // Energetika – 2018. – Vol. 64. – №. 3 – pp 137-145.

УДК 629.341

**ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧА ПЛИТКА З ЕЛЕКТРОМАШИНИМ ВУЗЛОМ  
НА БАЗІ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ**

**Аргун Щ.В., Гнатов А.В., Дзюбенко О.А., Понікаровська С.В.**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна,  
м. Харків*

**Вступ.** Альтернативні малопотужні джерела електроенергії набувають все більшої популярності і отримують все більше фінансування. Вони здатні не тільки розвантажити основні електросистеми, а й провести ефективне збалансування конкретної системи по навантаженню. Особливою увагою та попитом користуються малопотужні «зелені» джерела електроенергії. Тобто ті, що не шкодять навколишньому середовищу. Отже розвиток сонячної, вітрової та геотермальної енергетики набуває все більших розмахів [1]. Але далеко не завжди можна скористатися вище переліченими джерелами енергії. Наприклад, в приміщеннях або великих містах часто немає можливості встановити сонячні панелі чи вітрогенератори. Тому досить привабливими з економічної та екологічної точки зору є невеликі системи чи пристрої, що мають гарну мобільність та можуть бути легко встановлені у будь-якому місці для альтернативного та децентралізованого живлення. При цьому, мається на увазі те, що дана система (пристрій) здатна частково або повністю забезпечити електроенергією споживачів [2, 3].

Тому розробка пристроїв перетворення та генерації електроенергії є актуальною задачею, розв'язання якої дозволить не тільки вирішати питання елект-

роживлення а й сприятиме прискореному переходу на чисті та поновлювальні джерела електроенергії.

Метою роботи є дослідження процесу генерування електроенергії енергогенеруючою плиткою, як альтернативного, поновлювального джерела електроенергії, в залежності від кількості та схеми підключення крокових двигунів до її електромашинного вузла.

Представлено експериментальні дослідження енергогенеруючої плитки з різною кількістю підключених крокових двигунів (КД) до електромашинного вузлу. КД тут виконує функції електрогенератора [4]. Досліджувана енергогенеруюча плитка має компактні габаритні розміри і призначений для встановлення в містах з великою (щільною) прохідністю людей (як в середині приміщення, так і зовні). При виконанні кроку на плитку йде процес генерації електроенергії. В роботі представлено опис експериментальних досліджень з визначенням кількості згенерованої електроенергії від одного кроку на енергогенеруючу плитку. Визначено доцільність використання декількох КД в якості генераторів електроенергії. Представлено аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень та їх обробки.

**Експериментальні дослідження.** Було розроблено дослідний зразок енергогенеруючої плитки, зовнішній вигляд якої представлено на рис. 1.

Умови експерименту.

1. Дослідження роботи електромашинного вузлу енергогенеруючої плитки при підключенні одного КД.

2. Дослідження роботи електромашинного вузлу енергогенеруючої плитки при підключенні двох КД.

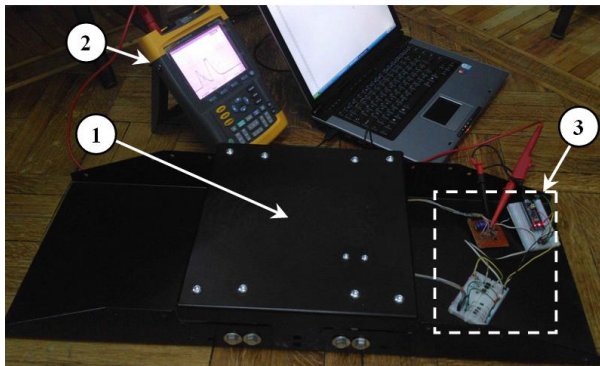


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд дослідного зразку енергогенеруючої плитки:

1 – натискна кришка енергогенеруючої плитки; 2 – осцилограф; 3 – система управління

Рис. 1. Дослідний зразок енергогенеруючої плитки



**Висновки.** Аналіз проведених експериментальних досліджень та їх обробка показують, що підключення двох КД до електромашинного вузлу енергогенеруючої плитки дає змогу підвищити значення згенерованої електроенергії приблизно в 3,9 рази. Отриманий результат цілком відповідає принципам протікання електромеханічних процесів, що описує теорія електроприводу та базові закони теоретичних основ електротехніки.

Один крок на енергогенеруючу плитку може в середньому згенерувати близько 1,16 Вт електроенергії. Значення згенерованої енергії від одного кроку на енергогенеруючу плитку в більшій мірі залежить не від ваги людини, а від того, як швидко (різко) робиться крок. Чим швидше темп ходьби та більш різко виконуються кроки, тим більше енергії генерується.

#### **Список використаних джерел:**

1. Erik Ela, Congcong Wang, Sai Moorty, Kenneth Ragsdale, Jon O'Sullivan, Mark Rothleder, Ben Hobbs. Electricity Markets and Renewables: A Survey of Potential Design Changes and Their Consequences. IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 15, Issue: 6, Nov.-Dec. 2017). 2017. С. 70–82. DOI: 10.1109/MPE.2017.2730827.
2. Гнатов А. В., Аргун І. В. Властивості та способи застосування п'єзоелектричних елементів, як генераторів електроенергії. Автомобильный транспорт. Харків: ХНАДУ. 2017. Вип. 41. С. 178–187.
3. Xiaofeng Li, Strezov V. Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building. Energy Conversion and Management. 2014. С. 435–442. doi:10.1016/j.enconman.2014.05.096.
4. Пат. 121490 України, Н02К. Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з мультиплікатором / Гнатов А. В., Аргун І. В., Дзюбенко О. А.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатов А. В. – № у 2017 05464; заявл. 02.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23.

УДК 621.31

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ И СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНОСТЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

**Барбашов И.В., Обухов В.Р.**

*Национальный технический университет  
«Харковский политехнический институт», Украина, г. Харьков*

В общем случае уточненный расчет электрических сетей требует учета нелинейности характеристик элементов сети и статических характеристик мощностей по напряжению источников питания и потребителей.

Нелинейные элементы электрических систем и сетей (статические характеристики источников питания, нагрузок потребителей, ветвей намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов, шунтирующих реакторов, поперечных элементов схем замещения линий) и их характеристики рассмотрены в [1,2].

Подробная характеристика методов определения параметров установившихся режимов простых замкнутых электрических сетей (кольцевой электрической сети и сети с двухсторонним питанием) для различных случаев задания нагрузок узлов и характеристик участков замкнутых электрических сетей рассматривается в [1].

В подразделах 1.1 и 1.2 [3] для определения параметров установившихся режимов простых замкнутых электрических сетей использовались «классические» методы контурных уравнений, наложения, размыкания по точкам поточкораздела и т. п. Так, поточкораспределение в кольцевой электрической сети и сети с двухсторонним питанием находится при принятых допущениях об отсутствии потерь и равенстве напряжений во всех узлах. Это поточкораспределение является приближенным; оно может рассматриваться лишь как первое приближение и должно быть уточнено.

Кроме того, в случае сети с двухсторонним питанием полученное на начальном этапе поточкораспределение уточняется *наложением* на потоки мощности, рассчитанные в кольцевой электрической сети (при  $U_A = U_B$ ), уравнивающей мощности, направленной от источника питания с большим напряжением в сторону источника питания с меньшим напряжением. На втором этапе расчета кольцевой электрической сети и сети с двухсторонним питанием уточняются потоки на участках сети путем учета потерь мощности.

При этом кольцевая сеть рассматривается как совокупность двух разомкнутых сетей, связанных в точке поточкораздела. Третий завершающий этап расчета заключается в определении напряжений в нагрузочных точках сети. Исходными данными для него служат напряжения на шинах ИП ( $U_A$  и  $U_B$ ) и найденные на предыдущем этапе расчета уточненные значения мощности на участках сети.

Анализ первого и второго подходов к определению параметров установившихся режимов простых замкнутых электрических сетей (кольцевой электрической сети и сети с двухсторонним питанием) позволяет признать, что учет нелинейности характеристик элементов сети и статических характеристик мощностей по напряжению источников питания и потребителей при расчете простых замкнутых электрических сетей (кольцевой электрической сети и сети с двухсторонним питанием) на основе контурных уравнений в три этапа практически не выполним.

Такой же вывод следует сделать относительно применения метода систематизированного подбора для расчета простых замкнутых электрических сетей. Согласно примеру 1.5, рассмотренному в [3], метод систематизированного подбора громоздок и дает весьма приближенный результат.

Предпочтительным для расчета простых замкнутых электрических сетей

(кольцевой электрической сети и сети с двухсторонним питанием) с учетом нелинейных характеристик элементов схем замещения электрических сетей и статических характеристик мощностей по напряжению источников питания и потребителей является использование метода подбора с коррекцией по уравнительной мощности без разрезания сети по точкам потокоузла.

Расчет электрических сетей любой конфигурации с учетом нелинейности характеристик элементов схем замещения электрических сетей и статических характеристик мощностей по напряжению источников питания и потребителей начинается с определения приведенных к стороне ВН нагрузок узлов для условий всех рассматриваемых установившихся режимов с учетом требований встречного регулирования напряжений на вторичной стороне ПС и всего диапазона изменений коэффициентов трансформации трансформаторов, снабженных устройствами РПН.

Исходными данными для расчета являются предварительно принятое значение мощности на головном участке сети и заданное значение напряжения источника питания. При расчете для каждой узловой точки используется приведенная мощность, соответствующая напряжению, найденному для данного узла. Расчет ведется вплоть до получения напряжения на противоположном конце замкнутой электрической сети. Обычно это напряжение не равно заданному, что свидетельствует о несоответствии полученного расчетного режима действительному. Тогда определяется компенсационная мощность, протекание которой по сети приводит к сближению значений напряжений по концам замкнутой электрической сети с заданными.

Дальнейший расчет основан на повторении аналогичных вычислений, пока не будет достигнута желаемая точность расчета. Учет характеристик нелинейных элементов при анализе режимов электрических сетей требует большого объема вычислений и реализуется в виде компьютерных программ.

#### **Список использованных источников:**

1. Электрические системы. Электрические сети / В. А. Веников, А. А. Глазунов, Л. А. Жуков и др.; под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – М. : Высш. шк., 1998. – 511 с.
2. Барбашов И.В. Общая характеристика и основы анализа установившихся режимов современных электрических систем и сетей : текст лекций / И.В. Барбашов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 240 с.
3. Барбашов И.В. Расчет установившихся режимов замкнутых электрических сетей в примерах и задачах : учеб. пособ. / И.В. Барбашов, Г.В. Омеляненко – Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. – 144 с

УДК 621.31

## СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКИХ НОМИНАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Барбашов И.В., Риморов Д.С.

*Национальный технический университет  
«Харковский политехнический институт», Украина, г. Харьков*

При анализе работы линий напряжением до 330 кВ включительно и длиной 200–300 км в большинстве случаев можно не учитывать волновой характер передачи электроэнергии. Как правило, режим работы таких линий рассчитывается на основе их схем замещения с сосредоточенными параметрами  $R_{л} = r_0 l$ ,  $X_{л} = x_0 l$ ,  $G_{л} = g_0 l$  и  $B_{л} = b_0 l$ .

В линиях сверхвысоких напряжений (от 330 кВ и выше) появляется необходимость в той или иной мере учитывать волновой характер передачи электроэнергии. Анализ режимов работы подобных линий основывается на представлении их как цепи с распределенными параметрами, где каждый малый элемент линии длиной  $dl$  обладает активным  $r_0 dl$  и индуктивным  $x_0 dl$  сопротивлениями, активной  $g_0 dl$  и емкостной  $b_0 dl$  проводимостями. При этом считается, что параметры линии ( $r_0 dl$ ,  $x_0 dl$ ,  $g_0 dl$  и  $b_0 dl$ ) равномерно распределены вдоль её длины. Такое представление о линии связано с некоторой идеализацией, поскольку ряд факторов, например наличие провеса проводов в пролете, изменяет равномерность распределения индуктивности и емкости проводов; также не постоянна интенсивность коронного разряда по длине провода.

Современные линии сверхвысоких напряжений имеют диапазон номинальных напряжений от 330 до 1150 кВ, а их длины варьируются в пределах 250–1000 км и будут, бесспорно, в дальнейшем достигать больших значений. Поэтому рассмотрение схем замещения таких электропередач имеет практическое значение.

Параметры продольных и поперечных элементов П-образной симметричной схемы замещения линий электропередачи могут быть определены с разной степенью точности в зависимости от требований к учету распределенности их параметров по длине [1].

Основные соотношения, связывающие напряжения  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$  и токи  $\underline{I}_1$ ,  $\underline{I}_2$  по концам протяженной линии (уравнение длинной линии) с её параметрами  $\underline{Z}_{вол}$ ,  $\underline{\gamma}_0$ ,  $l$  имеют вид:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_2 \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_0 l) + \sqrt{3} \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_{вол} \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_0 l); \\ \underline{I}_1 &= (1 / \sqrt{3}) (\underline{U}_2 / \underline{Z}_{вол}) \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_0 l) + \underline{I}_2 \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_0 l), \end{aligned}$$

где  $\underline{Z}_{\text{вол}}$  – волновое сопротивление линии, Ом;  $\gamma_0 = \beta_0 + j\alpha_0$  – коэффициент распространения волны на единицу длины, 1/км.

Волновое сопротивление  $\underline{Z}_{\text{вол}}$  и коэффициент распространения волны  $\gamma_0$  определяются через её удельные параметры по выражениям

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{\text{вол}} &= \sqrt{(z_0 / y_0)} = \sqrt{[(r_0 + jx_0) / (g_0 + jb_0)]} = \underline{Z}_{\text{вол}} \angle \xi; \\ \gamma_0 &= \sqrt{(z_0 y_0)} = \sqrt{[(r_0 + jx_0) (g_0 + jb_0)]} = \gamma_0 \angle \zeta = \beta_0 + j\alpha_0, \end{aligned}$$

где  $\beta_0$  – коэффициент затухания;  $\alpha_0$  – коэффициент изменения фазы.

В свою очередь, параметры П-образных схем замещения линий сверхвысоких номинальных напряжений  $\underline{Z}_л$  и  $\underline{Y}_л$  могут быть получены как

$$\begin{aligned} \underline{Z}_л &= \underline{B} = \underline{Z}_{\text{вол}} \operatorname{sh}(\gamma_0 l), \\ \underline{Y}_л &= (\underline{A} - 1) / \underline{B} = [\operatorname{ch}(\gamma_0 l) - 1] / [\underline{Z}_{\text{вол}} \operatorname{sh}(\gamma_0 l)] = (2 / \underline{Z}_{\text{вол}}) \operatorname{th}(\gamma_0 l / 2). \end{aligned}$$

Линии сверхвысоких номинальных напряжений в расчетах могут представляться пассивными четырехполюсниками с комплексными постоянными  $\underline{A}$ ,  $\underline{B}$ ,  $\underline{C}$  и  $\underline{D}$ . Эти постоянные определяются по параметрам линии  $\underline{Z}_л$  и  $\underline{Y}_л$

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + (\underline{Z}_л \underline{Y}_л) / 2, \quad \underline{B} = \underline{Z}_л, \quad \underline{C} = \underline{Y}_л [1 + (\underline{Z}_л \underline{Y}_л) / 4],$$

либо по коэффициентам, входящим в уравнение длинной линии,

$$\underline{A} = \underline{D} = \operatorname{ch}(\gamma_0 l), \quad \underline{B} = \underline{Z}_{\text{вол}} \operatorname{sh}(\gamma_0 l), \quad \underline{C} = (1 / \underline{Z}_{\text{вол}}) \operatorname{sh}(\gamma_0 l).$$

На практике более наглядно и удобно определять параметры П-образной схемы замещения линии через удельное сопротивление  $z_0$ , проводимость  $y_0$  и поправочные коэффициенты  $\underline{K}_Z$  и  $\underline{K}_Y$ , учитывающие распределенность параметров по длине, т. е. по формулам

$$\underline{Z}_л = (z_0 l) \underline{K}_Z; \quad \underline{Y}_л = (y_0 l) \underline{K}_Y,$$

где  $\underline{K}_Z = \operatorname{sh}(\gamma_0 l) / (\gamma_0 l)$ ;  $\underline{K}_Y = \operatorname{th}(\gamma_0 l / 2) / (\gamma_0 l / 2)$ .

Так как для определения  $\underline{K}_Z$  и  $\underline{K}_Y$  требуется вычисление гиперболических функций, в качестве первого приближения используют разложение правой части  $\underline{K}_Z$  и  $\underline{K}_Y$  в ряд и ограничиваются его первыми двумя членами.

Тогда  $\underline{K}_Z \approx \underline{K}_Z' = 1 + (\gamma_0 l)^2 / 6$ ;  $\underline{K}_Y \approx \underline{K}_Y' = 1 - (\gamma_0 l)^2 / 12$ .

Поскольку  $\underline{K}_Z$  и  $\underline{K}_Y$  – комплексные величины, более удобно использовать действительные поправочные коэффициенты непосредственно для каждого из сопротивлений и проводимостей схемы замещения, т. е. определение её параметров в виде

$$R_л = (r_0 l) k_R; \quad X_л = (x_0 l) k_X; \quad G_л = (g_0 l) k_G; \quad B_л = (b_0 l) k_B,$$

$$\begin{aligned} \text{где } k_R &= (1 - x_0 b_0 l^2 / 3) + [1 - (x_0 / r_0)^2] r_0 g_0 l^2 / 6; \\ k_X &= 1 - (x_0 b_0 l^2 / 6) [(1 - (r_0 / x_0)^2) + r_0 g_0 l^2 / 3]; \\ k_G &= (1 + x_0 b_0 l^2 / 6) + [(b_0 / g_0)^2 - 1] r_0 g_0 l^2 / 12; \\ k_B &= (1 + x_0 b_0 l^2 / 12) - [2 + g_0 x_0 / (b_0 r_0)] r_0 g_0 l^2 / 12. \end{aligned}$$

Анализ выражений для  $k_R$ ,  $k_X$  и  $k_B$  показывает, что их значения в основном определяются первыми слагаемыми, которые не зависят от  $G_{л} = g_0 l$ .

Тогда  $k_R' = 1 - x_0 b_0 l^2 / 3$ ;  $k_X' = 1 - (x_0 b_0 l^2 / 6) [(1 - (r_0 / x_0)^2)]$ ;  $k_B' = 1 + x_0 b_0 l^2 / 12$ . Обычно эти выражения используются при определении  $R_{л}$ ,  $X_{л}$  и  $B_{л}$ , когда при расчетах пренебрегают потерями активной мощности на корону, принимая  $g_0 = 0$ .

При рассмотрении идеализированной линии (линии без потерь, в которой  $r_0$  и  $g_0$  равны нулю) её реактивные параметры определяются с помощью коэффициентов:  $k_X'' = 1 - x_0 b_0 l^2 / 6$ ;  $k_B'' = 1 + x_0 b_0 l^2 / 12$ .

#### **Список использованных источников:**

1. Барбашов И. В. Общая характеристика и основы анализа установившихся режимов современных электрических систем и сетей : текст лекций / И. В. Барбашов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 240 с

УДК 621.31

## **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Березка С.К., Стасюк И.В., Хоменко И.В.**

*Национальный технический университет  
"Харьковский политехнический институт", Украина, г. Харьков*

В Украине в эксплуатации находится около 135 высоковольтных подстанций. Их суммарная установленная мощность составляет 78,2 тыс. МВА. В параллельной работе могут находиться до четырех трансформаторов на одной подстанции. Поэтому любые экономически целесообразные режимы работы трансформаторов на подстанциях относятся к эффективным мероприятиям по снижению потерь электроэнергии.

Проведен критический анализ различных критериев оптимизации силовых трансформаторов при их параллельной работе.

Выбор критерия для оптимизации режимов работы неоднозначная задача. В качестве наглядного средства решения обычно использовались графоаналитические методы. В то же время использование компьютерного моделирования обеспечивает больший диапазон перебора вариантов и лучшую точность вычислений.

В качестве самого простого и достаточно эффективного можно предложить критерий минимизации активных потерь мощности.

Но его использование в условиях эксплуатации требует существенных дополнений. Предлагается рассмотреть критерий оптимизации с учетом потоков реактивных мощностей.

Это повысит точность расчетов, приблизит теоретические выкладки к полученным результатам в условиях эксплуатации.

Проведены расчеты для одностипных и разностипных трансформаторов и автотрансформаторов, с учетом и без учета потоков реактивной мощности. Установлены области оптимизации трансформаторного оборудования подстанции при их параллельной работе. Определена максимальная погрешность, обусловленная различием каталожных и паспортных данных для рассмотренных случаев, а также максимальная погрешность, вызванная не учетом потоков реактивной мощности в расчетах. Предложенный критерий оптимизации включает параметры, учитывающие изменение основных характеристик трансформатора в процессе эксплуатации.

УДК 621.316

## ЗНАЧЕННЯ РИНКУ ДОПОМІЖНИХ ПОСЛУГ У СТРУКТУРІ НОВОЇ МОДЕЛІ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

**Бондаренко Р.В., Довгалюк О.М., Мірошник К.А.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

На сьогоднішній день український енергоринок перебуває у перехідному етапі від застарілої моделі оптового ринку (пулу) до нової моделі двосторонніх договорів та балансуючого ринку. Відтак, з плином часу, будуть пройдені певні етапи підготовки з поступовим впровадженням та тестуванням змін у функціонуванні ринку електроенергії та в усіх режимах об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України в цілому.

Новий ринок електроенергії спрямований на припинення існуючої моделі «єдиного покупця» та впровадження шести нових ринків, а саме:

- ринку двосторонніх договорів (РДД) – ринку двостороннього продажу та купівлі електроенергії між виробниками та постачальниками (споживачами) електроенергії;
- балансуючого ринку (БР) – ринку для продажу та купівлі необхідних об'ємів електричної енергії оператором системи передачі для балансування щоденних обсягів електропостачання та регулювання небалансів;

- ринку «на добу вперед» (РДВ) – ринку електричної енергії та її постачання на наступний день на умовах, погоджених торговим днем раніше;
- внутрішньодобового ринку (ВДР) – ринку торгівлі електроенергією протягом дня після торгів «на добу вперед»;
- роздрібного ринку (РР) – ринку для кінцевих споживачів, які купують електроенергію безпосередньо у постачальників електроенергії та інших учасників ринку, що надають послуги, пов'язані з енергопостачанням, на підставі договорів, укладених на вибір споживачів;
- ринку допоміжних послуг (РДП) – ринку, на якому оператор системи передач може придбати численні допоміжні послуги для забезпечення стабільного та якісного енергопостачання.

Найбільшу зацікавленість викликає саме останній з перерахованих ринків, бо досі нема чіткої відповіді як саме він буде функціонувати і чи не вплинуть його економічні фактори на перетоки потужностей у системі.

Річ в тім, що саме РДП опосередковано забезпечує безпеку електроенергетичних систем та якість електроенергії за рахунок функцій, які в нього включені, а саме: автоматичний резерв відновлення частоти (АРВЧ); резерв підтримання частоти (РПЧ); ручний резерв відновлення частоти (РРВЧ); резерв заміщення (РЗ); відновлення ОЕС після аварії; регулювання напруги.

У проєкті нової моделі ринку електричної енергії зазначено, що перші чотири функції є конкурентними, тобто за право їх надання може вестись змагання (аукціон), а останні два – не конкурентні.

Функціонування РДП не є допустимим, якщо не будуть урегульовані усі питання, що стосуються безпеки, оскільки частота в системі на необхідному рівні повинна підтримуватись завжди і оператор системи передачі, а саме ДП НЕК «Укренерго», повинен завжди мати на поготові необхідні ресурси та резерви для керування небалансами, напругою, частотою та аварійними режимами. Створення конкурентних умов на цьому ринку може призвести до корупційних зговорів або монополії, коли оператор буде вимушений придбати необхідні резерви електроенергії за високими цінами. Або може виникнути ще гірша ситуація, якщо оператор системи передачі не зможе закупити резерви в необхідній кількості, що призведе до системних аварій та відключень електроспоживачів.

Участь у РДП можуть приймати суб'єкти, що здійснюють управління кваліфікованими генеруючими одиницями, або блоками ТЕЦ, або одиницями відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), або диспетчеризованим навантаженням, які набули статус учасника РДП, тобто успішно пройшли процедуру реєстрації на РДП, у тому числі пройшли процедуру кваліфікації постачальників допоміжних послуг (ДП) відповідно до Кодексу системи передачі [1] і, таким чином, підтвердили відповідність характеристик ДП, які надаватимуться ними, на відповідність вимогам Кодексу системи передачі.

ДП можуть надаватися як на обов'язкових, так і на добровільних засадах. Для користувачів системи передачі або системи розподілу, які є споживачами



електроенергії, усі ДП надаються на добровільних засадах.

З метою упередження створення штучного дефіциту ДП, усі енергогенеруючі компанії повинні подавати пропозиції оператору системи передачі щодо надання ДП у відношенні своїх сертифікованих генеруючих одиниць.

Надання пропозицій ДП для забезпечення регулювання напруги та реактивної потужності, а також із забезпечення відновлення функціонування ОЕС України після системної аварії є обов'язковим для всіх ГЕС, які згідно з вимогами Кодексу системи передачі зобов'язані мати таку технічну спроможність [2].

Зважаючи на усі протиріччя та гарантії, які прописані у проекті функціонування нового ринку електричної енергії, можна дійти висновку, що питання створення надійної та безпечної роботи ОЕС України є важливим і воно повністю враховане і закріплене відповідними правилами та нормами. Головним завданням на перехідному етапі до нової моделі ринку буде саме виконання встановлених нормативів.

#### **Список використаних джерел:**

1. Постанова НКРЕКП № 309 від 14.03.2018 «Про затвердження Кодексу системи передачі». Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18>
2. Затверджено Постановою НКРЕКП № 307 від 14.03.2018 «Правила ринку». Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18>

### **УДК 656.3**

## **АНАЛИЗ АСПЕКТОВ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПОСТОЯННЫМ И ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ**

**Бондаренко В.Е., Пономаренко С. Г.**

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина, г. Харьков*

В Украине и странах СНГ принято 2 системы: постоянного тока (напряжение 3 кВ); однофазного переменного тока частотой 50 Гц (напряжение 25 кВ). В качестве преобразователей переменного тока в постоянный на подстанциях используют экономичные и надежные в эксплуатации полупроводниковые преобразователи.

Проведенный анализ показал, что к достоинствам системы постоянного тока можно отнести: возможность применения и непосредственного подключения к тяговой сети тяговых двигателей постоянного тока; использование двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением.

Недостатками системы постоянного тока являются: сравнительно низкое напряжение в тяговой сети, что ограничивает расстояние между тяговыми под-

станціями 15-18 км.; площа сечення проводів контактної мережі (КС) в медному еквіваленті може досягати 400 – 600 мм<sup>2</sup> на один шлях, тому опори КС постійного струму отримують важкими і дорогими; підвищені втрати енергії і напруги в тяговій системі; наявність електрокорозії підземних металевих споруд, викликаній протіканням в землю блуждаючих струмів, вимагає спеціальної захисту для її зменшення; необхідність перетворення змінного струму в постійний.

Серед достоїнств системи змінного струму слід відзначити: висока напруга в тяговій мережі дає можливість збільшувати відстань між підстанціями 30-40 км.; КС має малу площу сечення проводів (150 мм<sup>2</sup> в медному еквіваленті), тому опори отримують легкими і дешевими; втрати напруги в мережі змінного струму в 3,3 рази менше порівняно з системою постійного струму, а втрати електроенергії – в 11 раз менше.

К основним недолікам системи змінного струму можна віднести: наявність однофазної навантаження тяги, яка є джерелом несиметрії в мережі; однофазна навантаження тяги викликає електромагнітний вплив на лінії зв'язу і інші металеві споруди і комунікації, розташовані вздовж залізничної дороги.

Таким чином, виконаний аналіз показав, що для тягової системи залізничних доріг України перспективним напрямком розвитку є система змінного струму.

## УДК 621.316

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЯХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ**

**Борзенков І.І., Данильченко Д.О., Шевченко С.Ю.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

На даний час відкритою темою стоїть питання визначення технологічних втрат енергії при передачі електричної енергії на ізоляційних конструкціях повітряних ліній електропередавання. Згідно СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-82:2013 «Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання», втрати електроенергії в ізоляції повітряних ліній електропередавання (ПЛ) з урахуванням ступеня забруднення атмосфери визначаються за наступною формулою:

$$\Delta W_{\text{із}}^{(P)} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{3 \cdot R_{\text{із}} \cdot N_{\text{із}}} \cdot T_{\text{вол}} \cdot N_{\text{гір}}, \quad (1)$$

де  $U_{ном}$  – номінальна напруга ПЛ, кВ;  $N_{із}$  – кількість ізоляторів у фазі ПЛ;  $N_{зир}$  – кількість гірлянд ізоляторів, яку приймають згідно з проектом ПЛ;  $T_{вол}$  – тривалість у розрахунковому періоді вологої погоди (туман, роса, дощ, мокрий сніг, паморозь), годин;  $R_{із}$  – електричний опір одного ізолятора, кОм, який визначають за формулою:

$$R_{із} = 1345 - 215 \cdot (N_p - 1), \quad (2)$$

де  $N_p$  – номер рівня ступеня забруднення атмосфери, визначається у відповідності до ГКД 34.51.101.

Проте, наведена у нормативному документі методика не враховує такі параметри як опір витoku по поверхні ізолятора з точки зору оберненої величини опору витoku. Тобто, не враховується зміна струму витoku через поверхню забрудненої ізоляції від провідності слою забруднення в залежності від впливу погодних умов. Не має методики розрахунків цих параметрів.

Відсутність повної інформації не дає можливості давати достовірну оцінку у визначенні втрат електроенергії в ізоляції ПЛ розрахунковим методом. Тому запропоновано розробити методику, для визначення втрат електричної енергії в ізоляційних конструкціях ПЛ з розрахунком провідності забрудненого слою на поверхні ізолятора в залежності від ступеня забруднення атмосфери та впливом погодних умов з наступним розрахунком струму витoku через поверхню ізолятора.

УДК 621.321.

## КОНТРОЛЬ НАПРУГИ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Босий Д.О., Громова Ю.М., Косарєв Є.М., Пулін М.М., Сиченко В.Г.**

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
ім. ак. В. Лазаряна, Львівська залізниця, Україна, м.Львів*

Визначення режиму напруги в системі тягового електропостачання і оцінка його впливу на роботу електрорухомого складу і пристроїв електропостачання є одним з найбільш важливих завдань при побудові сучасної системи електроживлення залізничного транспорту. Від режиму напруги залежать такі параметри, як швидкість руху поїзда, зміна струму і тягового зусилля електровоза, можливість подолання інерційних підйомів, навантаження і робота окремих пристроїв електропостачання. Режим напруги залежить від великої кількості взаємопов'язаних і взаємовпливаючих факторів. Насамперед, це якість напруги, режими роботи системи зовнішнього електропостачання, кількість елек-

трорухомого складу на фідерній зоні, параметри системи тягового електропостачання та режим ведення кожного електровоза.

При побудові розподіленої системи тягового електропостачання важливими задачами є оптимальне розміщення підсилюючих пунктів та визначення їх потужності. Визначення місця встановлення підсилюючого пункту виконується за допомогою методу сенсорних вузлів. При цьому в системі розподіленого електропостачання необхідно контролювати рівні напруги у заданому діапазоні на струмоприймачах електрорухомого складу при русі міжпідстанційною зоною будь-якої кількості поїздів.

Для цього на кафедрі ІСЕ ДНУЗТ розроблено спосіб контролю рівнів напруги в контактній мережі безпосередньо на струмоприймачах електрорухомого складу незалежно від кількості поїздів на міжпідстанційній зоні. Суть даного способу полягає в тому, що для визначення напруги в контактній мережі електрифікованої ділянки постійного струму вимірюють напругу на шинах суміжних тягових підстанціях та посту секціонування всередині міжпідстанційної зони. При цьому додатково вимірюють розподіл напруги уздовж міжпідстанційної зони за допомогою пристроїв вимірювання напруги в мережі постійного струму з бездротовою передачею даних через відстань в межах 1–3 км, після чого обчислюють необхідну потужність та регулюють величину її генерації системою управління, враховуючи кількість підсилюючих пунктів, які розподілені уздовж електрифікованої залізничі постійного струму. В процесі синтезу розподіленої системи тягового електропостачання виникла необхідність оптимізації кількості встановлюваних на міжпідстанцій зоні датчиків напруги. В доповіді розглядається результати реалізації вказаної системи з застосуванням методу Френеля.

УДК 621.331

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РЕЖИМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РОЗГАЛУЖЕНИХ СИСТЕМ З НЕЛІНІЙНИМИ ТА НЕСИМЕТРИЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

**Босий Д.О., Земський Д.Р.**

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені  
академіка В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Підвищення ефективності передачі електричної енергії є задачею, яку визначає стратегія розвитку Енергетики України до 2030 року. Відповідно до статистичних даних Міністерства енергетики та вугільної промисловості України за перший квартал 2018 р. величина загальних втрат електроенергії на її транспортування електричними мережами становила 12,3% (4,9 млрд. кВт·год) від загального

відпуску електроенергії в мережу. Для порівняння, у державах Євросоюзу прийнятним вважають втрати на рівні 6-8%. Передбачається зменшення цих втрат у 2030 р. до 9% через модернізацію розподільчих і магістральних мереж.

Розгалужена система електропостачання у поєднанні із споживачами, що відрізняються різними режимами, умовами роботи та характером навантаження, утворює складний енергетичний комплекс із взаємним, багатofакторним електромагнітним впливом, внаслідок дії якого спостерігається погіршення якості електричної енергії, транзитні перетоки активної та реактивної потужності. Виникнення негативних явищ у електричних мережах призводить до істотного зменшення економічних показників роботи системи електропостачання та збільшує ризик зникнення електроживлення у споживачів. Впровадження системи автономного управління електричними мережами Smart Grid потребує пристосування останньої до раптових змін кількості споживачів, різкозмінного навантаження, розподіленої генерації енергії через розвиток децентралізації систем електропостачання, використання накопичувачів та пристроїв компенсації реактивної потужності, їх поведінки під час виникнення несинусоїдних та несиметричних режимів роботи.

ПАТ «Укрзалізниця» на одному рівні з великими регіональними енергетичними компаніями може здійснювати ліцензовану діяльність із розподілу або постачання електроенергії у побутовому та промисловому секторі. Споживачі, що розташовані поряд з електрифікованими на змінному струмі залізничними лініями, отримують живлення від трифазної мережі напругою 25 кВ, виконаної за системою «два проводи-рейка» (ЛЕП ДПР). До причин виникнення проблеми електромагнітної сумісності між споживачем та лінією ДПР відноситься гальванічний зв'язок останньої через рейки та шини тягової підстанції із системою тягового електропостачання, близьке розташування контактної мережі та неоднорідність параметрів самої лінії живлення нетягових споживачів. Магнітне поле, створене унаслідок специфіки параметрів тягової мережі та роботи перетворювача електро-возів несинусоїдним тяговим струмом, індукуює у фазах ДПР вищі гармоніки частотою кратною 50 Гц. Наявність заземленої фази призводить до того, що потенціал рейки відносно землі, на відміну від потенціалу двох розміщених на опорі проводів, залишається практично незмінним уздовж всієї довжини зближення контактної мережі та лінії ДПР. Результатом цього є зміщення трикутника лінійних напруг у споживача по відношенню до трикутника напруг на шинах підстанції, що проявляється у вигляді несиметрії напруги. Якість електричної енергії на шинах підстанції 27,5 кВ, від яких отримує живлення тягова мережа та відходять фідери лінії ДПР, може бути значно погіршена через нерівномірне завантаження тягового трансформатора, вищі гармоніки струму електрорухомого складу та вплив системи зовнішнього електропостачання.

Загалом ступінь негативного впливу тягової мережі на якість електроенергії залежить від інтенсивності руху поїздів, кількості колій на ділянці, схеми та режиму роботи системи електропостачання і розташування проводів лінії ДПР

у просторі.

Зазначенні вище чинники є основними причинами погіршення якості напруги у місці приєднання КТП до ліній ДПР, що у свою чергу збільшує втрати потужності під час передачі, перетворення та споживання електроенергії, порушує умови роботи електричних машин, компенсуючих та електронних пристроїв, зокрема випрямлячів, викликаючи появу неканонічних гармонік у спектрі випрямленого струму та напруги.

Варто зазначити, що унаслідок почергового підключення найменш завантаженої фази тягового трансформатора у групі підстанцій до різнойменних фаз системи зовнішнього електропостачання, неможливо реалізувати двостороннє живлення ліній ДПР, яке з позиції надійності електропостачання та втрат в системі має беззаперечні переваги.

У доповіді презентуються результати досліджень показників якості електричної енергії на приєднанні у споживача, який живиться від лінії ДПР та постраждав на невідповідну якість електроенергії.

За результатами представлених у доповіді експериментальних досліджень та аналізу отриманих даних можна зробити висновок, що якість електричної енергії у споживача, обладнання якого отримує живлення від лінії ДПР, не відповідає встановленим вимогам. Причиною цього є конструкція та умови роботи живлячої лінії, що перебуває під впливом електромагнітного поля контактної мережі. Таким чином, виникає задача приведення якості електроенергії до належного стану. Можливі заходи з цього приводу можуть полягати як у ліквідації ліній ДПР так і їх віднесенні від залізничної колії чи їх реконструкції у звичайні трифазні. Можливим перспективним рішенням для покращення якості електроенергії є забезпечення двостороннього живлення ліній ДПР. Робота у цьому напрямі дозволить збільшити ефективність передачі електроенергії та надійність електропостачання нетягових сторонніх та залізничних споживачів.

УДК 621.311

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТИ В ОЕС УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ENTSO-E

Вайнфельд Е.Й.<sup>1</sup>, Довгалюк О.М.<sup>2</sup>, Шкребела А.В.<sup>2</sup>, Привалов Ю.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ТОВ «БІП Україна», Україна, м. Одеса

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків

Забезпечення стабільної та надійної роботи енергосистеми безпосередньо залежить від показників якості електричної енергії, одним з яких є відхилення

частоти. Рівень частоти впливає на продуктивність роботи споживачів електричної енергії, а також на роботу генераторів електричних станцій, це призводить до необхідності підтримки відхилень частоти в допустимих межах. Для енергосистеми України допустимі відхилення частоти від номінальної регламентуються [1, 2] і їх нормально допустимі значення становлять  $\pm 0,2$  Гц, а гранично допустимі  $\pm 0,4$  Гц. Для забезпечення заданого діапазону зміни частоти в енергосистемах використовуються системи автоматичного регулювання, які реалізують первинне, вторинне та третинне регулювання.

На сьогоднішній день вимоги щодо регулювання частоти і потужності досить різні для енергосистем [3, 4], оскільки вони враховують структуру та особливості функціонування енергосистем, величину наявних маневрених резервів потужності, які можуть бути задіяні у вторинному та третинному регулюванні частоти.

У зв'язку з реструктуризацією оптового енергоринку України та перспективою інтеграції об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України з європейським об'єднанням системних операторів з передачі електроенергії (ENTSO-E), в даний час важливим є дослідження регулювання частоти як в ізольованому режимі роботи української енергосистеми, так і при об'єднаній роботі з європейською енергосистемою. Для проведення таких досліджень необхідно проаналізувати перехідні процеси при виникненні в ОЕС України збурень, що призводять до відхилення частоти, та наявність відповідних резервів потужності для забезпечення первинного та вторинного регулювання частоти. Специфікою таких досліджень є неможливість проведення натурних експериментів та необхідність застосування для цього моделювання режимів енергосистем.

Для аналізу регулювання частоти в середовищі MatLab Simulink була побудована модель енергооб'єднання ОЕС України з ENTSO-E (рис. 1), яка враховує особливості будови та режимів роботи електростанцій, для чого теплові (ТЕС), атомні (АЕС), гідроелектростанції (ГЕС) представлені окремими блоками. Крім того модель враховує основні параметри, які впливають на режим роботи енергооб'єднання, а саме: генеруюча потужність, потужність навантаження, особливості характеристик автоматичних регуляторів, які застосовуються для забезпечення режиму, стала механічної інерції, статизм енергосистеми тощо. З використанням розробленої моделі проведений комплекс розрахунків перехідних процесів при автономній роботі енергосистем та при їх об'єднанні на паралельну роботу.

Аналіз результатів моделювання показує, що при втраті генеруючого агрегату потужністю 1 ГВт в ОЕС України при автономній роботі буде відбуватися спад частоти в межах до 0,2 Гц, що свідчить про те, що засоби первинного регулювання не будуть задіяні.

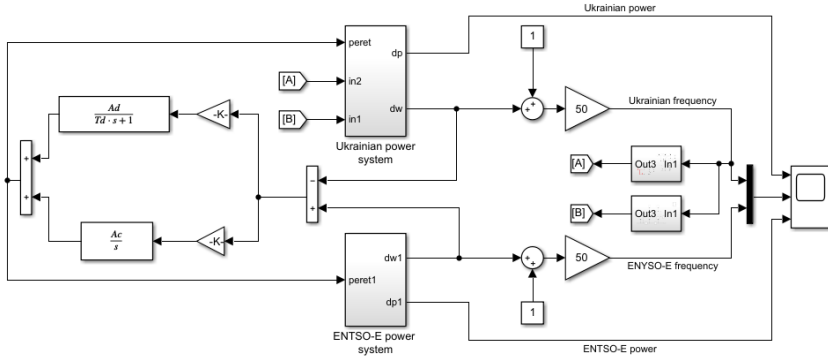


Рисунок 1 – Модель енергооб'єднання ОЕС України з ENTSO-E

Стосовно відновлення потужності засобами вторинного регулювання слід зазначити, що резерву потужності ОЕС України в 480 МВт не вистачить для повернення частоти до номінального значення 50 Гц. З цього випливає, що при такому небалансі в ОЕС України відбудеться відхилення частоти в межах  $\pm 0,2$  Гц, згідно з нормативною документацією [3] ці межі є допустимими та ці коливання можуть продовжуватися не більше 15 хв. В енергооб'єднанні ENTSO-E при такому збуренні за умови автономної роботи відхилення частоти буде в межах  $\pm 0,05$  Гц, що свідчить про нормальний рівень відхилення частоти.

При паралельній роботі енергосистем у разі виникнення такого небалансу потужності відхилення частоти буде в допустимих межах, але виникає низка питань щодо забезпечення пропускної здатності ліній, забезпечення статичної стійкості та показників якості електричної енергії, що потребує проведення додаткових досліджень.

### Список використаних джерел:

1. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. [Чинний від 01.01.2000]. - К.: Изд-во стандартов, 1999. - 31 с.
2. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT): ДСТУ EN 50160:2014. [Чинний від 01.10.2014]. - К.: Мінекономрозвитку України 2014. - 27 с.
3. Вимоги до регулювання частоти і потужності в ОЕС України: СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009. [Чинний від 23.05.2009]. - К.: Мінпаліверенерго, 2009. - 54 с.
4. Load-Frequency Control and Performance [E]. A1 – Appendix1. [Чинний від 01.03.2004]. - UCTE OpHB [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.pseoperator.pl/uploads/kontener/UCTE\\_Operatio\\_n\\_Handbook\\_Appendix1.pdf](http://www.pseoperator.pl/uploads/kontener/UCTE_Operatio_n_Handbook_Appendix1.pdf).



УДК 621.311

## ОДНОФАЗНІ ЗАМИКАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Воропай В.Г., Дьяков Є.Д.

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Однофазні замикання на землю (ОЗЗ) є одним з поширених видів пошкоджень ліній електропередач. Можна виділити два основних види однофазних замикань на землю: металеві та дугові. При виникненні дугового замикання на землю спостерігаються кидки струму, які можуть досягати 4-8 кратної величини струму основної гармоніки. Напруга набуває характерну форму. Дуга не завжди горить стабільно. Можливі зміни частоти перезапалення дуги.

Час горіння дуги в залежності від параметрів електричного кола і зовнішніх факторів може істотно різнитися. Найбільшу небезпеку становлять режими, коли дуга горить тривалий час. Для вивчення аварійних режимів, що мають місце при виникненні дугових КЗ, доцільно розглянути умови, при яких дугового розряду може існувати тривалий час.

Властивості електричної дуги, що розглядається як елемент електричного кола визначаються її вольтамперною характеристикою (ВАХ). Електрична дуга, що виникає при коротких замиканнях має падаючу нелінійну статичну ВАХ. Нахил дотичної до цієї кривої, буде різним у різних точках. Для всіх точок цієї характеристики величина  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{dU}{dI} < 0$ , що є відмінною рисою падаючої ВАХ. Для стійкого горіння дуги необхідно певне поєднання параметрів електричної мережі та дугового розряду. Розглянемо умови стійкого горіння дугового розряду, що живиться генератором постійного струму з ЕРС  $E$  і внутрішнім опором  $r_g$ . Послідовно з дугою включено активний опір  $r$ . При величині струму  $I$ , на дузі встановлюється напруга  $U_d$ . Першою умовою сталого режиму горіння дуги є виконання закону Кірхгофа для замкненого кола, тобто

$$E - I \cdot r_g = U_d - I \cdot r \quad (1)$$

Якщо зовнішній опір  $r$  багато більший внутрішнього опору генератора  $r_g$ , то при постійній  $E$ , напруга на зажимах генератора

$$U_g = E - I \cdot r_g \quad (2)$$

буде мало змінюватися при зміні струму в колі його можна вважати постійним. Тому першу умову стійкого горіння дуги можна записати у вигляді

$$U_r = U_d - I \cdot r . \quad (3)$$

Однак, даної умови стійкості горіння недостатньо, оскільки при падаючій характеристиці дугового розряду і незмінній величині  $r$  вона виконується не для всіх точок ВАХ. Незначні зміни величини розрядного струму можуть призводити до порушення стійкого режиму. Припустимо, що струм дугового розряду змінився від величини  $I$  на  $\Delta I$ . Цій зміні струму буде відповідати зміна напруги на ділянці дугового розряду:

$$\Delta U_d = \frac{dU_d}{dI} \cdot \Delta I . \quad (4)$$

В результаті в колі виникає ЕРС самоіндукції

$$e = -L \frac{d\Delta I}{dt} , \quad (5)$$

де  $L$  – індуктивність кола, в якому виник дуговий розряд.

Для цього моменту (зміни струму) справедливо рівняння Кірхгофа у вигляді:

$$U_r - U_d - \Delta U_d - L \frac{d\Delta I}{dt} = (I + \Delta I)r \quad (6)$$

провівши перетворення отримуємо

$$\frac{d\Delta I}{dt} = -\frac{1}{L} \left( r + \frac{dU_d}{dI} \right) dt . \quad (7)$$

Інтегруючи рівняння 7 в межах від  $t = 0$  до  $t$  і від  $\Delta I_0$  до  $\Delta I$  отримуємо

$$\Delta I = \Delta I_0 e^{-\frac{t(r + \frac{dU_d}{dI})}{L}} , \quad (8)$$

де  $\Delta I_0$  – зміна струму, що відповідає моменту часу  $t = 0$ .

З рівняння 8 випливає, що якщо  $r + \frac{dU_d}{dI} < 0$ , то всяка зміна струму  $\Delta I_0$ , що має місце в момент часу  $t = 0$ , буде зростати з плином часу і, навпаки, якщо  $r + \frac{dU_d}{dI} > 0$ , то початкове зміна струму  $\Delta I_0$  з плином часу буде зменшуватися до нуля.

У першому випадку горіння дуги буде нестійким. Дуга буде горіти стійко, якщо сума всіх позитивних опорів кола і диференціального опору розряду матиме позитивне значення. Ця умова і є критерієм стійкості розряду.

УДК 620.92

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НЕВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ ДОМОГОСПОДАРСТВ

Галько С.В., Новах Б.С.

*Таврійський державний агротехнологічний університет,  
Україна, м. Мелітополь*

Використовування вітроенергетичних установок (ВЕУ) малої потужності (від декількох десятків ватів до 20...100 кВт) економічно виправдане для енергопостачання автономних споживачів, віддалених від ліній електропередач, невеликих домогосподарств, в сільському господарстві для механізації трудомістких робіт, водопідйому, зрошування, механізації, освітлення і опалювання різних виробничих і житлових приміщень. Розробкою і виробництвом ВЕУ малої потужності займається досить велика чисельність закордонних фірм і вони характеризуються різноманіттям конструкторських рішень, проте, в цілому, зусилля розробників, направлені на рішення проблем ефективності, безпеки, надійності і економічності. Важливими аспектами їх розробок є простота конструкції і системи управління.

Найбільше розповсюдження до недавнього часу мали ВЕУ горизонтально-пропелерного типу, проте ВЕУ вертикально-осьового типу починають знаходити все більше застосування, і багато фірм направляють свої зусилля на дослідження і розробку саме таких машин. Великий внесок у створення вертикальних ВЕУ внесли дослідники національної лабораторії Sandia (США, Нью-Мексіко), України, Росії, Казахстану, Молдови.

Відомо, що для ВЕУ малої потужності найбільш перспективним є використання багатополосних синхронних генераторів (СГ) з постійними магнітами [1, с. 312...314]. Їх перевагою є простота конструкції, відсутність контакту ковзання, високий ККД і менше нагрівання із-за відсутності втрат в обмотці збудження і в контактні ковзання [2].

Нами розроблено і запатентовано вітроелектрогенератор (ВЕГ) плоскої конструкції (рис. 1) для ВЕУ невеликої потужності, що використовуються у домогосподарствах. В основу розробки покладено використання аксіального магнітного поля, що створюється неодимовими магнітами розміром 30x10 мм №48 (пат. №116576) [3]. В даний час масове виробництво неодимових магнітів є однією з найбільш розвинених, затребуваних і перспективних галузей. Головним виробником цих унікальних магнітів сьогодні є Китай [4].

Існуючі відомі пристрої подібних СГ мають низький ККД, обумовлений втратами у сталюму магнітопроводі статора із-за його перемагнічування, а та-

кож низьку надійність, обумовлену складністю виводів кінців обмоток через нерухомий вал та приєднання їх до електроспоживача.

Розроблена модель належить до СГ і усунення вищевказаних недоліків вирішується за рахунок конструктивного виконання генератора, який містить корпус 1, що може бути встановлений як вертикально, так і горизонтально, вал 2, закріплений у підшипникових щитах 3. На валу 2 розташований тридисковий ротор. На двох зовнішніх сталевих дисках 4 рівномірно по колу закріплені постійні неодимові магніти 5 з дзеркально розташованими один до одного однойменними полюсами та чергуванням полюсів по колу. Третій роторний диск 6, виконаний із сталі і розташований між статорними дисками 7 з котушками 8 трапецевидної форми без осердя. Якірні котушки 8 без осердя з'єднані згідно з трифазною системою генератора і встановлені у площині статора перпендикулярно осі вихідного вала 2 та залиті компаундом. Шпильками 9 статор 7 з якірними обмотками 8 жорстко закріплений у нерухомому корпусі 1. Вал електрогенератора 2 кінематично з'єднаний з вихідним валом вітрогенератора (не показано).

Відома методика розрахунку СГ з постійними магнітами з урахуванням втрат у магнітопроводі [5] має такі недоліки: складність розрахунків, генератор з статорним магнітопроводом буде мати значне залипання ротора, а виконання пазів під кутом, для зменшення залипання, збільшать втрати в самому генераторі; виконання обмоток з укороченим кроком, для зменшення паразитних впливів гармонік, призведе до збільшення масо-габаритних розмірів генератора. Отже розглянута методика [5] не прийнятна для проектування присадібних ВЕГ. Тому нами запропонована методика розрахунку ВЕГ на неодимових магнітах.

### **Список використаних джерел:**

1. Jon Twidell and Tony Weir. Renewable Energy Resources. - London and New York: Taylor & Francis, 2006.- 601 p.
2. Пат. 201403035Y CN. МПК H02K16/02, H02K15/02, H02K3/28, H02K1/22. Вітроелектрогенератор; Опубл. 10.02.2010.
3. Пат. 116576 UA. МПК H02K16/00, H02K16/04, H02K21/00, H02K21/44. Електричний генератор плоскої конструкції / С.В. Галько, Б.С. Новах, А.В. Жарков. - u201612745.- Заявл. 14.12.2016; Опубл. 25.05.2017, Бюл. №10.
4. Жарков А. В. Когенерационный ветропарк для крестьянского хозяйства / А. В. Жарков // Вестник аграрной науки Дона.– 2017.– № 4(40).– С.52-60.
5. Расчет и проектирование ветроэлектрических установок с горизонтально-осевой ветротурбиной и синхронным генератором на постоянных магнитах / Яковлев А.И. и др. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – 125 с.

УДК 681.5

## ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ КОМУНАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Гаряжа В. М., Кравченко Ю. П.

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Характер комунального електропостачання значною мірою впливає на умови спорудження, розвитку і експлуатації електричних мереж. Частіше за все постачальник електроенергії не може відмовити споживачеві в приєднанні, тільки може змусити погодитися з величиною напруги, при якій буде здійснене електропостачання, і призначити ціну підключення й поставки енергії.

Як і в будь-якій комунальній галузі, держава контролює поставки електричної енергії, накладаючи на постачальника різні обмеження, закладені в технічні умови, наприклад діапазони можливих напруг; умови приєднання; якість електропостачання, зокрема забезпечення частоти й напруги; вартість постачання електроенергії; надійність мереж та їх відповідність екологічним і архітектурним вимогам. Ці вимоги відбиваються не тільки на техніці, але й на організації комунального електропостачання, яке постійно балансує між інтересами виробника електроенергії й інтересами споживачів. Такий баланс інколи змушує застосовувати методи керування, за яких виробники енергії не отримують персональної вигоди, оскільки критерій тут перебуває на рівні показників, що стосуються всієї нації.

Цим пояснюється помітна у ряді країн тенденція до націоналізації енергетики. Особливо яскравою тенденція стає тоді, коли значні капіталовкладення у виробництво, передачу й розподіл електроенергії здійснюються із суспільних фондів, що перебувають у розпорядженні держави. На погляд авторів, в Україні невиправдано велика увага приділяється приватизації об'єктів енергетики, що тільки загострить проблеми і зменшить перспективи модернізації всієї енергетичної сфери.

Специфіка міських мереж проявляється на всіх рівнях напруг. Мережі низької напруги в містах найчастіше прокладаються підземними кабелями. В той же час, значна кількість мереж виконана повітряними лініями з неізольованими проводами. (Наприклад, навіть у такому великому місті, як Харків при загальній довжині мереж 0,4 кВ близько 3250 км, повітряних – близько 1150 км). Застосування самоутримних ізольованих проводів, ставить повітряні лінії навіть вище кабельних внаслідок спрощення експлуатації. Низьковольтні мережі більшості міст України мають радіальну і радіально-магістральну структуру, що обмежує можливості резервування. Світова практика виконання низьковольтних мереж передбачає можливість їх перетворення в замкнуті. Це може бути

запроваджене з відносно невеликими витратами і в мережах України. Найслабшим місцем низьковольтних мереж є розподільні мережі («стояки») в будинках, особливо в старих, де вони можуть передавати тільки відносно невелику потужність. Збільшення потужності вимагає заміни стояків, що є дорогою операцією, джерело фінансування якої і відповідальних за це в Україні на сьогодні визначити неможливо, тому проблеми в експлуатації тільки зростатимуть.

Зі збільшенням поверховості будинків труднощі в розподілі електроенергії тільки на низькій напрузі також будуть загострюватися, головним чином через значні перерізи вводів у будинки. Досягнути вирішення проблеми можливо за рахунок поділу стояків на окремі ділянки, які живляться від трансформаторів, установлених на окремих поверхах. Незаслужено забута в Україні практика застосування вбудованих і прибудованих до житлових будівель підстанцій, яка зменшує протяжність низьковольтних мереж (в центральній частині Харкова ще є декілька таких підстанцій).

Для мереж середньої напруги основними проблемами є вибір напруги й вибір структури мережі. Такі мережі міст в основному підземні, а лінії, що відходять від підстанцій досить короткі. Звідси розповсюдження напруг 6 кВ або 10 кВ; зазначені напруги навряд чи скоро зміняться, оскільки зміна напруги підземної мережі є досить складною справою в порівнянні з повітряною. Проголошене пріоритетним застосування напруги 20 кВ нереальне для більшості міст України. Більш можливим варіантом підвищення пропускну здатності ліній середньої напруги в містах є перевід мереж 6 кВ на 10 кВ при одночасному збереженні тих же самих кабелів, хоча, враховуючи стан мереж цієї напруги в Україні, це також малоімовірно. Перспективним слід визнати застосування одножилевих кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену, які при достатній гнучкості можуть мати великий переріз.

Топологічна структура міських мереж визначає умови безперервності електропостачання споживачів, але на сьогодні мережі, виконані у вигляді "простого дерева" і дозволяють виконувати тільки часткові переноси навантажень із однієї лінії на іншу, як правило, вручну, а отже, досить повільно. У міських мережах переноси навантажень повинні здійснюватися автоматично.

Поліпшення характеристик мереж, що базуються на радіальній структурі, можливо за рахунок автоматичного введення резерву при аварії та на застосуванні розгалуженої структури. Мережа при цьому складатиметься з основних магістральних ліній, які йдуть різними шляхами від однієї з підстанцій до сусідньої і, в разі перерви живлення навантаження, автоматично перемикаються на сусідні підстанції. Якщо аварія відбувається на магістралі, то вона повинна бути розділена на окремі ділянки, які живляться з одного зі своїх кінців (необхідна поступова автоматизація централізованого керування мережами). Можливі також переноси навантажень із однієї магістралі на іншу. Не виключена необхідність спорудження нових магістралей (між уже існуючими), або нових підстанцій у місцях де щільність навантажень і кількість ліній велика й де досить прокласти

лінії невеликої довжини для приєднання нової підстанції.

Слід зауважити, що застосування розгалужених структур мереж (особливо низької напруги) є досить проблематичним, оскільки при аварії в мережі складно контролювати перетікання потужності й можуть з'явитися небезпечні перевантаження в деяких точках мережі, якщо вона не розбита на складові частини.

Підсилення таких мереж може здійснюватися прокладкою додаткових ліній уздовж існуючих для усунення перевантаження кабелів; підстанції СН/НН при цьому розташовуються уздовж живильних магістралей так, щоб щонайкраще розподілити навантаження.

**УДК 621.315**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОВОДА ЛЕП**

**Горайнова К.А., Рой В.Ф.**

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Актуальність роботи полягає в необхідності вирішення проблеми забезпечення надійної роботи повітряних високовольтних ліній електропередач (ЛЕП) в умовах впливу небезпечних атмосферних факторів, які вкрай негативно впливають на їх роботу.

Метою даної роботи є дослідження та аналіз причин пошкодження і відмов елементів повітряних ЛЕП під дією різноманітних факторів зовнішнього середовища, удосконаленню методики визначення поточного стану конструкцій і елементів ЛЕП з урахуванням різних типів пошкоджень, насамперед виникаючих під дією статичних і динамічних навантажень, з метою запобігання аварійних відключень систем електропостачання, що призводять до великих народногосподарських втрат, обумовлених простоями технологічного устаткування і робочої сили, псуванням сировини і матеріалів, недовипуском продукції.

Об'єктом дослідження є динамічні процеси, що відбуваються в проводах ліній електропередач, під дією ожеледно-вітрових навантажень, паморозі та коливань температури зовнішнього середовища.

Предметом дослідження є високовольтні ЛЕП напругою 110-750 кВ, що розташовані в шести кліматичних зонах України і підлягають дії небезпечних факторів зовнішнього середовища.

Наукова новизна полягає у тому, що на основі обробки числових даних щодо відмов систем електропостачання, отриманих за великий проміжок часу на

ЛЕП різних класів напруг, що знаходяться в різних кліматичних зонах, запропоновані аналітичні вирази, за допомогою яких можна розрахувати необхідні заходи найбільш ефективного застосування пристроїв для запобігання негативній дії факторів зовнішнього середовища на системи електропостачання. Особливу увагу в роботі приділено дослідженню явищ «пляски» проводів, що спричиняє серйозні ушкодження та аварії ЛЕП. Найвні дані свідчать, що до 90% випадків «пляски» призводить до порушень режиму роботи ЛЕП або ушкоджень їх елементів, при чому тільки 30% порушень обмежуються короткочасними відключеннями і не супроводжуються перебоями в роботі ліній тривалістю від декількох годин до декількох діб. у більшості випадків ремонтно-відновлювальні роботи вимагають значних витрат і тривалого відключення ліній.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропонована методика експертної оцінки вірогідності виникнення «пляски» проводів, яка враховує всі фактори, що можуть зруйнувати конкретну ділянку ЛЕП. За відсутності об'єктивних даних про «пляску» чинники, що здійснюють найбільш суттєвий вплив на частоту, повторюваність і інтенсивність, кількісно можуть бути визначені за експертною оцінкою шляхом перемножування величин окремих чинників «пляски»: чинник вітрової активності  $R_1$  – визначається середньомісячною тривалістю дії вітрів швидкістю 6÷20 м/с, спрямованих під кутами від 30° до 45° до траси передбачуваної ЛЕП;  $R_2$  –інтенсивність ожеледоутворення впродовж сезону ожеледі та ін.

Результатом досліджень стали також аналітичні вирази, що дають змогу розрахувати необхідні параметри та місця розміщення пристроїв для запобігання цього та інших руйнівних явищ. Зокрема визначені відповідні коефіцієнти та формули для розрахунку параметрів ЛЕП з метою підвищення їх надійності при капітальному ремонті або реконструкції, які повинні виконуватись, щоб запобігти виникненню «пляски» проводів і подальшим їх негативним наслідкам для надійної роботи високовольтних ЛЕП.

**УДК 669.017**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTI ПАРOPPOBODIB TEPЛOBИX EЛEKTPOCTAHCII**

**Глушко А.В.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Теплові електростанції є основою для резервування та маневрування у енергетичній системі України. Маневрений режим роботи теплових електрос-



танцій призводить до руйнування металу зварних з'єднань паропроводів. Доцільним є дослідження пошкоджуваності металу зварних з'єднань паропроводів теплових електростанцій України для підвищення їх надійності та збільшення ресурсу експлуатації.

В умовах експлуатації зварних з'єднань паропроводів в їх металі зароджуються та розвиваються пори та тріщини повзучості. Пори повзучості, внаслідок коалесценції, перетворюються в тріщини повзучості. Пори утворюються в зв'язку з руйнуванням поверхні розділу виділень з зернами  $\alpha$ -фази, або внаслідок руйнування самих виділень, які розташовані впродовж границь зерен. Також пори утворюються внаслідок порушення зв'язку між контактуючими зернами через присутність міжзеренних сегрегацій.

Встановили, що тріщини повзучості (рис.1) найбільше утворюються на ділянках неповної перекристалізації зони термічного впливу (ЗТВ), близько 75% і сплавлення, приблизно 15%. Решта - на інших ділянках ЗТВ, а також в області металу шва і в області основного металу. Тріщини повзучості утворюються в зоні металу зварних з'єднань, яка контактує з поверхнею паропроводів, а потім поширюються переважно по границям зерен в глибину їх металу.



Рисунок 1 – Міжзеренний характер тріщини повзучості, що розвивається по крихкому механізму в ЗТВ. Зварне з'єднання зі сталі 12Х1М1Ф. Напрацювання 290000 год.  $\times 200$

Доцільно уточнити особливості пошкоджуваності зварних з'єднань паропроводів, які експлуатуються в маневреному режимі роботи, від їх структурного стану, що дозволить зменшити інтенсивність пошкоджуваності зварних з'єднань і збільшити ресурс їх експлуатації.

УДК 620.9

## МАЙБУТНЄ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ - ПЕРЕХІД ДО ЄДИНОГО ЦИФРОВОГО СЕРЕДОВИЩА ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Гриб О. Г., Карпалюк І. Т., Швець С. В.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Сучасні тенденції розвитку енергетики визначені низкою напрямків, одне з яких потреба в доступі до електроенергії в місцях з видаленням від електричних мереж, що визначило зростання ринку малої генерації, лівову частку якої займають поршневі двигуни внутрішнього згоряння. Інший напрямок визначено сильним впливом міжнародних інститутів, наприклад, задають тон в області зниження викидів CO<sub>2</sub>, що створило умови для розвитку ринку зеленої енергетики – це енергетика побудована на поновлюваних джерелах (сонячна, вітрова, біогаз та ін.) [1]. Ну і третій фактор впливає на розвиток енергетики – це безумовно джерела генерація яких є спробою знизити ціну кіловат години і досягти кращих показників по вартості

Об'єднує всі ці напрямки одне – для можливості продажу електричної енергії необхідно використовувати мають електричні мережі, тобто наявний розвинений енергетичний ринок. За останні роки цей ринок посилюється технічно: топологія мереж продовжує розвиватися, з'явилися більш жорсткі стандарти на якість електричної енергії, з'явилося і більше число учасників цього ринку. Слід зазначити, що тепер бажають підключитися в єдину мережу значна кількість малих генеруючих компаній або приватних осіб, що мають генерацію і бажаючих продати надлишок електричної енергії в мережу. Ринок вироблення має стійку тенденцію до зростання [2].

Очевидно, що узгодження джерел, що мають різні параметри не просте завдання. Проблема полягає ще і в складності сполучення різних за віком систем, що характерно для парку обладнання енергетичних компаній України.

Якщо врахувати, що особливість будь електроенергетичної системи полягає в тому, що виробництво електроенергії, її розподіл і перетворення в інші види енергії здійснюються практично в один і той же момент часу. А саме споживач і задає обсяги і графіки споживання. В реаліях України сучасний споживач це в більшості населення, яке використовує споживчі електроприлади потужністю часом більшою ніж визначена потужність по проекту підключення споживача. Тому і графік споживання рясніє піковими сплесками. Що призводить до зниження якості електричної енергії [4].

Поставлена проблема збільшення різномірних систем генерації з одного боку і зміни характеру споживання з іншого за умови використання єдиної ме-

режі повинна мати рішення.

Перше очевидне рішення полягає у використанні сучасних автоматизованих систем управління (АСУ). До завдань таких систем входить збір первинної інформації за всіма параметрами технологічного процесу енергетичної системи. Також на до завдань АСУ необхідно включити завдання вимірювання, тобто метрологічне забезпечення, і завдання управління обладнанням. Дані, які зібрані системою автоматизованого управління є важливою статистичною інформацією для верхньої ланки управлінських структур енергомереж. Тобто такі системи вже існують.

Очевидно, що така система може виконувати покладені на неї завдання зараз. А ось чи впорається вона з наростаючим обсягом учасників мережі?

Нові технології в електроенергетиці пов'язані перш за все з використанням цифрових систем. Впровадження цифрових підстанцій дозволяє отримати цілий ряд переваг в порівнянні з традиційними підстанціями. Для виконання різних функцій на цифровій підстанції використовуються одні й ті ж джерела інформації, що призводить до зменшення загальної кількості обладнання на ній. Доступ до всієї інформації на цифровій підстанції здійснюється за допомогою уніфікованих типів даних і методів доступу, зведених у єдиний комунікаційний стандарт. Підсистеми захисту, вимірювання, управління, моніторингу стану обладнання, обліку та контролю якості електроенергії – всі вони при виконанні своїх функцій використовують одну і ту ж комунікаційну мережу, за якою отримують дані про значеннях струмів, напруг, положення комутаційних апаратів, приймають або передають керуючі команди. Немає необхідності в наявності індивідуальних пристроїв вимірювання, комунікації та обробки інформації для кожної з перерахованих підсистем [5].

Виходить, що пристрої автоматизації перетворюються просто в комп'ютери зі спеціалізованим ПО, а система захисту і управління цифровою підстанцією стає набором логічних програмних модулів з різним функціоналом і захищеності. В результаті віртуалізації підстанція може фізично знаходитися в одному місці, а її система управління буде розміщуватися на сервері і буде складатися з програмних модулів, які будуть відповідати за релейний захист, ПА, РАС, АСКОВЕ та ін.

При використанні такої віртуальної станції в одиночному варіанті отримання переваг не так помітні, як використання декількох таких станцій об'єднаних єдиною мережею. Отже в разі значної розвиненості такої мережі обов'язково виникне синергетичний ефект. Аналогічно як використання серії генеруючих станцій, не об'єднаних в єдину мережу і така ж група станцій, об'єднана єдиною мережею. Дві такі структури будуть мати різні якісні та економічні характеристики.

Бурхливе зростання технологій малої генерації, (а це і альтернативна енергетика та традиційні джерела, які в силу різних причин стали широко поширені), призводить до проблем підключення до єдиних енергетичних мереж і підт-

римки в цих мережах відповідних параметрів. Як вихід з запропонованої ситуації в енергетичних мережах в даний час пропонується використовувати цифрові технології. Поки вони проявляються в технології цифрової підстанції але автори вважають, що об'єднання кількох таких підстанцій в єдину цифрову структуру призведе до якісного стрибка і можливо відкриє шлях до глибшого цифрового перетворення енергетики.

### Список використаних джерел:

1. The Kyoto Protocol - Status of Ratification режим доступу <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification>
2. Energy from renewable sources режим доступу <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
3. Сучасні та альтернативні енергетичні установки Навчальний посібник. О.Г. Гриб, В.А. Маляренко, В.П. Морозов, О.Д. Супрун, А.В. Хитров. - Харків: ХНАМГ, 2008
4. Качество электрической энергии. Том2. «Контроль качества электрической энергии» Под ред. Гриба О.Г. – Харьков: Монография ПП«Граф-Ікс», 2014. – 244 с.
5. VASILCHENKO, V. I. et al. ЦИФРОВА ПІДСТАНЦІЯ СКЛАДОВА СИСТЕМИ "SMART GRID". Електротехніка і Електромеханіка, [S.l.], n. 6, p. 72-76, dec. 2014. ISSN 2309-3404. Доступно за адресою: <<http://eie.khpi.edu.ua/article/view/2074-272X.2014.6.13>>. Дата доступу: 27 Nov. 2018 doi:<http://dx.doi.org/10.20998/2074-272X.2014.6.13>.

УДК 621.311: 621.314

## ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ДОСЛІДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АЧХ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПІД ЧАС ЙОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ З МЕТОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ

Гришук М.О.<sup>1</sup>, Дмуховський В. П.<sup>1</sup>, Лабзун М. П.<sup>2</sup>, Рубаненко О. Є.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет, Україна, м.Вінниця

<sup>2</sup>ВП «Південно-Західна електроенергетична система», ДП «НЕК «Укренерго»

У сучасних електроенергетичних системах (ЕЕС) Силові трансформатори (СТ) одним із важливих компонентів, для надійної роботи електричних мереж. Вихід з ладу СТ під час експлуатації значно погіршує параметри надійності та економічні показники роботи енергетичного підприємства, оскільки вони є дорогими в робочому режимі електроенергетичної мережі їх важко замінити новими. Незважаючи на велику кількість існуючих методів та засобів діагностування СТ, результати аналізу пошкоджуваності трансформаторного обладнання свідчать про необхідність вдосконалення існуючих, розробки та впровадження нових методів та засобів діагностування трансформаторного обладнання (ТО).

Аналіз частотних характеристик (FRA) СТ – це потужний діагностичний метод для виявлення пошкоджень, навіть на ранній стадії їх розвитку. Проте, метод вимагає виведення обладнання з експлуатації, та накопичення бази характеристик, яка дасть змогу виявити пошкодження СТ.

З метою накопичення бази АЧХ для визначення найбільш інформативних меж частот в яких виявляються дефекти за допомогою приладу FRAnalyzer було проведено експерименти (рис. 1).

Найбільш широко використовуваний метод виявлення дефектів обмоток та магнітопроводу силового трансформатора під час його діагностування передбачає створення початкової бази АЧХ для всього парку трансформаторів електроенергетичної системи. Такі заходи проводяться на відключеному обладнанні і займають багато років. Увесь цей час вартісне діагностичне обладнання (FRAnalyzer) не використовується.

Отже потрібно розробити метод та математичні засоби, які дозволять використовувати результати поточного контролю для прийняття рішення про стан трансформатора.



Рисунок 1 – Процес проведення дослідження СТ

Однак, під час планування експерименту виникало питання, скільки потрібно провести вимірів для інформативної інтерпретації результатів вимірювань.

Для вирішення цієї задачі було проведено розрахунок за алгоритмом D-оптимальних експериментальних планів, що дало змогу мінімізувати об'єм довірчого еліпсоїда, та визначити необхідну кількість проведених досліджень.

Отже, з врахуванням алгоритму D-оптимальних експериментальних планів, було визначено необхідну кількість проведення вимірювань, що дало змогу зняти АЧХ, які дозволяють дати необхідну інтерпретацію стану силового обладнання.

### Список використаних джерел:

1. Рубаненко, О. Є. Обґрунтування можливості виявлення дефектів деформації обмоток силового трансформатора за результатами вимірювань FRA. [Текст] / Рубаненко, О. Є., Лабзун, М. П., Гришук, М. О. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2017. – № 186. – С 103–106.
2. Рубаненко, О. Є. Визначення дефектів трансформаторного обладнання з використанням частотних діагностичних параметрів [Текст] / О. Є. Рубаненко, М. П. Лабзун, М. О. Гришук // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 41-46. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.07.

УДК 621.321.

## СТІЙКІСТЬ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Губський П.В., Коваленко І.В., Кузнецов В.Г., Ляшук В.М., Пулін М.М.

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
ім. ак. В. Лазаряна, Львівська залізниця, Україна, м.Львів*

Застосування розподілених систем тягового електропостачання при впровадженні швидкісного руху є найбільш досконалим заходом підсилення тягової мережі для забезпечення необхідних енергетичних характеристик. На сьогоднішній день опрацьована значна кількість схемотехнічних рішень вказаних систем та енергетичних каналів для їх живлення. Необхідно вказати, що при синтезі таких систем необхідно вирішувати цілу низку завдань, пов'язаних із вибором потужності підсилюючих пунктів, елементної бази та схемотехніки, а також із знаходженням оптимального способу розрахунку цієї системи та її елементів. Задача структурно-параметричного синтезу системи електропостачання залізниці розподіленого типу включає в себе декілька етапів, серед яких найважливішими є вибір кількості пунктів живлення, місць їх встановлення, вибір потужності, їх елементної бази та схемотехніки. Насамкінець, необхідно виконати оцінку стійкості розробленої системи.

Оцінка стійкості по напрузі є основним питанням при аналізах стійкості енергетичних систем. Варто зазначити, що проблемам стійкості в енергосистемах приділялося значно більше уваги, ніж в системах тягового електропостачання. При впровадженні швидкісного руху система тягового електропостачання має забезпечувати не тільки необхідний режим напруги, а й необхідний рівень питомої потужності для забезпечення завданої швидкості руху. Точне вирішення завдання оцінки стійкості надзвичайно ускладнене необхідністю роз-



рахунку нелінійних залежностей, котрі визначають режими роботи системи тягового електропостачання і електрорухомого складу.

В результаті застосування кількісного підходу до розрахунку статичної стійкості системи тягового електропостачання згідно СОУ-Н-МЄВ 40.1-00100227-68:2012 було встановлено, що в процесі руху поїзда по реальній ділянці мають місце зони відсутності стійкості по напрузі. При застосуванні централізованого живлення забезпечення стійкості може бути досягнуте схемами несиметричного підсилення тягової мережі. В системі розподіленого живлення підвищення рівня вихідної напруги, як показують варіантні розрахунки, не дозволяє забезпечити в деяких випадках забезпечити необхідну стійкість системи. Звідси, обґрунтованим є застосування активних випрямлячів-регуляторів з нелінійним законом керування режимом напруги.

**УДК 621.316.9**

## **НАВЕДЕНІ БЛИСКАВКОЮ ПЕРЕНАПРУГИ НА ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ 6-35 кВ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ПРОВОДІВ**

**Данильченко Д.О., Дривецький С.І., Шевченко С.Ю.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Аварійні відключення повітряних ліній (ПЛ) електропередавання 6-35 кВ через грозові перенапруги складають до 40% від загального числа їх відключень. Через низьку імпульсну міцність ізоляції розподільних мереж схильна до перекриття як від перенапруг при прямих розрядах блискавки, так і від індукованих перенапруг при розряді блискавки поблизу лінії. Останні є основною причиною грозових відключень і пошкоджень обладнання мереж 6-35 кВ, складаючи в деяких випадках до 90%, а при проходженні траси ПЛ по лісовому масиву і до 100% від їх загальної кількості. Таким чином, надійність електропостачання споживачів багато в чому залежить від ефективності грозозахисних заходів.

У той же час, здійснювана в останні роки в нашій країні технічна політика, спрямована на застосування на розподільних ПЛ захищених проводів, істотно сприяла виробленню і прийняттю нових прогресивних технічних рішень в області блискавко захисту.

Захищені проводи вирішують цілу низку проблем притаманних таким лініям, наприклад, одна з найсерйозніших проблем – це мережеві резонанси, котрі пов'язані з дотиками гілок до проводів лінії, в результаті цього може виникнути так званий схемний резонанс.

Основні переваги ПЛ з СП в порівнянні з ПЛ з неізольованими проводами:

- значне зниження часу і витрат при електромонтажі і обслуговуванні, а також витрат на виконання аварійно-відновлювальних електромонтажних робіт;
- спрощене конструктивне виконання опор (відсутність ізоляторів і траверс);
- виключення як міжфазного замикання, так і замикання на «землю»;
- відсутність необхідності при монтажі ПЛ підготовки траси, вирубки дерев і просік;
- нескладне обслуговування ПЛ в процесі експлуатації, істотно підвищує безпеку таких ліній.

Завдяки цим перевагам, ПЛ в даний час широко застосовуються в електромережах розвинених країн світу, в тому числі в електромережах України.

Індуковані перенапруги виникають одночасно на всіх фазах. При розміщенні проводів на одній висоті ймовірність перекриття ізоляції будь-якої з фаз однаково ймовірна, в інших випадках вона ймовірніше перекривається з верхньої фазою. При розрахунку кількості грозових вимкнень повітряних ліній з металевими та залізобетонними опорами слід враховувати індуковані напруги при ударі в землю. Для ПЛ 6 кВ і 35 кВ з ізоляційними траверсами індуковані перенапруги при ударах в землю не можна розглядати. Кількість індуктивних перенапруг залежить від щільності блискавки на землі і довжини повітряної лінії, а також від розподілу їх амплітуди від висоти підвісу проводів і від розподілу ймовірності блискавки. Значення індукованих перенапруг розраховуються для середньої висоти підвісу проводів. ПЛ 6-35 кВ мають дуже низький рівень грозостійкості через низьку електричної міцності штирьових ізоляторів і високу ймовірність появи КЗ після їх імпульсного перекриття. Крім того, досить імовірно, що ізоляція цих ПЛ уражається індуктивними перенапруженнями при ударах блискавки в землю.

При проведенні експериментальних досліджень параметри моделі були наступними:

- Електрод був на висоті 1 м від поверхні «землі»;
- На висотах 0,135м, 0,21м, 0,35 м від поверхні «землі» був підвішений захищений та неізольований провід, підключений до ємкісного дільника напруги 500 кВ з оптичною розв'язкою, до якого був підключений осцилограф;
- Електрод, що імітує блискавку був зрушений на різних відстанях від підвішеного проводу;
- Зарядна напруга ГН становила 55 кВ на поверх, що в загальній сумі склало близько 660 кВ, який був поданий на електрод.

При впливі напруги ГН на електрод що імітує блискавку, відбувся пробій повітряного проміжку «електрод - земля». Це призводило до виникнення на дроті індукованої перенапруги.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що лінії з неізольованими проводами при ударах блискавки поблизу лінії, наводять на своїх фазах індуковані напруги значно більші, ніж лінії з захищеними проводами.



**Список використаних джерел:**

1. Юриков А. П. Защита линий электропередач от грозových перенапряжений / А. П. Юриков - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 88с
2. Базелян Э. М. Физика молнии и молниезащиты / Э. М. Базелян, Ю. П. Райзер. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
3. S. Shevchenko Lightning damage of air lines with protected wires / S. Shevchenko, D. Danylchenko, S. Drivetskyi // Sciences of Europe № 19 (19) vol. 1 2017. pp. 52-57.
4. Шевченко С.Ю., Ермоленко Б.Ф., Данильченко Д.А., Дривецкий С.И. Поражаемость воздушных линий распределительных сетей с защищенными проводами грозowymi разрядами. – Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. - №3 (1175). – С. 101 – 107.
5. Sergey S., Dmitry D. Defeat of overhead lines transmission networks with protected wires from lightning strike //Applied Physics (YSF), 2015 International Young Scientists Forum on. – IEEE, 2015. – pp. 1-4.

**УДК 620.92**

**АВТОНОМНА СОНЯЧНА ТРИГЕНЕРАЦІЙНА ЕНЕРГОУСТАНОВКА**

**Діордієв О.О.<sup>1</sup>, Довгалюк О.М.<sup>2</sup>, Жарков А.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет, Україна, м. Мелітополь*

<sup>2</sup> *Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

<sup>3</sup> *ТОВ "ЮБС - Холод", Україна, м. Харків*

Розроблена корисна модель автономної сонячної тригенераційної енергетичної установки, яка відноситься до відновлювальної енергетики з використанням сонячної енергії для тригенерації.

Найбільш близьким аналогом пристрою, що заявлявся, вибраним в якості прототипу, є автономна когенераційна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми [1], об'єднаними в батарею зі спільним охолоджувальним колектором. Недоліком прототипу є відсутність генерації холоду, що знижує ефективність енергоустановки в літню пору.

В основу корисної моделі поставлена задача розширення функційних можливостей корисної моделі за рахунок уведення абсорбційного холодильника [2]. Поставлена задача вирішується за рахунок того, що автономна сонячна тригенераційна енергоустановка містить гібридні фотоелектричні модулі (ФЕМ), об'єднані в батарею, зі спільним охолоджувальним колектором. Кожен модуль містить дві коаксіально розташовані скляні трубки, з'єднані між собою з утворенням вакуумної колби. Внутрішня трубка покрита фотоелектри-

ними перетворювачами (ФЕП), з'єднаними в послідовний ланцюг з виведеними електричними гермоконтактами, акумулятор, контролер, інвертор.

Послідовні ланцюги із ФЕП кожного гібридного ФЕМ приєднані через контролер до акумулятора. До іншого виходу контролера приєднані споживачі постійного струму безпосередньо, а споживачі змінного струму приєднані через інвертор.

Гібридний ФЕМ містить термосифон у вигляді окремого металевого корпусу, запаяного з обох сторін, наповненого під вакуумом робочим тілом з фазовим переходом і низькою температурою замерзання. Розташований у вакуумній колбі типу посудини Дьюара, герметичний корпус термосифона, виконаний із чистої червоної міді, з конденсатором, контактуючим зі спільним охолоджувальним колектором, наповненим рідким незамерзаючим теплоносієм, бак-акумулятор з теплообмінником, вхідним і вихідним трубопроводами, з термодатчиком на вхідному трубопроводі і вихровим насосом на вихідному трубопроводі.

Згідно з корисною моделлю, автономна сонячна тригенераційна енергоустановка містить абсорбційний холодильник, приєднаний до теплового бака-акумулятора. Наявність термосифона забезпечує транспортування пари робочого тіла до зони конденсації і повернення конденсату назад.

Наявність робочого тіла з низькою температурою кипіння під вакуумом в корпусі термосифона забезпечує зниження температури кипіння до температури 25-30°C, і, відповідно, робочу температуру ФЕП не вище цієї величини.

Розташування конденсаторів в спільному охолоджувальному колекторі забезпечує відбір теплоти фазового переходу «пара-рідина». Рідкий незамерзаючий теплоносій разом з вихровим насосом на вхідному трубопроводі забезпечують транспортування теплоти до теплообмінника; теплообмінник забезпечує передачу тепла в бак-акумулятор. Контролер забезпечує режим «заряд-розряд» акумулятора і вмикання вихрового насоса при появі сигналу від термодатчика.

Увімкнення низькоомних діодів Шоттки послідовно з ланцюгами ФЕП унеможливує розряд акумулятора в нічний час, і виключає ланцюг з пошкодженим ФЕП або з недостатнім освітленням, як навантаження на справні ланцюги ФЕП інших ФЕМ. Вмикання діодів Шоттки зі спільною точкою на вході до контролера скорочує кількість електричних з'єднань і підвищує надійність електросхеми.

Удосконалення енергоустановки призводить до комбінованої генерації електричної енергії, теплоти і холоду, збільшують її загальний ККД і ефективність. Тригенерація є більш вигідною в порівнянні з когенерацією, оскільки дає можливість ефективно використовувати утилізоване тепло не лише взимку для опалення, але і влітку для кондиціонування приміщень або для технологічних потреб. З цією метою можна використовувати абсорбційні бромистолітійові холодильні установки.

Такий підхід дозволяє використовувати генеруючу установку увесь рік,

тим самим не знижуючи високий ККД енергетичної установки в літній період, коли потреба в теплоті, яку виробляє таке устаткування, знижується. Технічним результатом такої установки є збільшення завантаження і продуктивності автономної сонячної енергоустановки за рахунок додаткової генерації холоду.

#### **Список використаних джерел:**

1. Патент 107991 UA. МПК H01L 31/00, H01J 7/00, F024G2/00.- Опубл.24.06.2016, Бюл. №12.

2. Патент по заявці №201808400. МПК H01L31/00, H01J7/00, F24J2/00, F02G 5/00 Автономна сонячна тригенераційна енергоустановка/ Жарков А. В., Тугай Ю.І., Жарков В.Я., Галько С.В., Новак Б. С., Хромишев В.О., Дюрдєв О.О., Довгалюк О.М., Лазуренко О.П.- Заявл. 1.08.18; рішення про видачу патенту №29406/ЗУ/18 від.19.11.2018.

### **УДК 621.311**

## **ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ В ОЕС УКРАЇНИ**

**Довгалюк О.М., Касай О.О., Шкребела А.В.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Регулювання частоти в енергосистемі є однією з найважливіших задач керування режимами, оскільки безпосередньо впливає на умови забезпечення стабільної та надійної роботи енергосистеми. При регулюванні частоти важливим є забезпечення нормативних умов щодо якості електричної енергії, які для Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України регламентуються [1] і для частоти електричного струму в електричних мережах встановлюють такі межі:

1) для систем, які синхронно приєднані до ОЕС України - 50 Гц  $\pm$  1 % протягом 99,5 % часу за рік та 50 Гц + 4 % (- 6 %) протягом 100 % часу;

2) для систем без синхронного приєднання до ОЕС України - 50 Гц  $\pm$  2 % протягом 99,5 % часу за рік та 50 Гц  $\pm$  15 % протягом 100 % часу.

Відхилення частоти негативно впливає на роботу електроприймачів: зниження частоти в енергосистемі призводить до зменшення швидкості обертання всіх працюючих електродвигунів, при цьому знижується продуктивність з'єднаних з ними механізмів, що в свою чергу погіршує економічні показники їх роботи; підвищення частоти в енергосистемі, призводить до зниження терміну служби і може викликати пошкодження електрообладнання.

Технічні вимоги щодо організації регулювання частоти та перетоків потужності з метою забезпечення нормального режиму роботи ОЕС України сформульовані в нормативному документі [2], відповідно до якого передбачається здійснення первинного, вторинного, третинного регулювання частоти та конт-

ролю і регулювання у разі потреби синхронного часу. Норми участі в цих видах регулювання учасників паралельної роботи в межах своєї області регулювання встановлює Національна енергетична компанія «Укренерго».

Первинне регулювання розпочинається протягом декількох секунд як спільна дія всіх учасників паралельної роботи і здійснюється за допомогою автоматичного регулювання швидкості обертання турбіни.

Вторинне регулювання вводиться в дію централізовано в області регулювання протягом декількох десятків секунд, вивільняє первинне регулювання, відновлює нормальні параметри частоти та сальдо зовнішніх перетоків. Здійснюється вторинне регулювання за допомогою зміни потужності енергоблоків, які беруть участь у автоматичному регулюванні частоти в межах заданого вторинного резерву.

Третинне регулювання вводиться в дію в області регулювання і вивільняє вторинне регулювання централізованим переплануванням генерації або зовнішніх перетоків чи споживання. Третинне регулювання забезпечує наявність первинних та вторинних резервів і здійснюється за допомогою швидкого пуску або зупинки агрегатів маневрених гідроелектростанцій (ГЕС) та теплових електростанцій (ТЕС) для оперативного коригування режиму.

Відповідно до інформації Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, (НКРЕКП) у складі ОЕС України діють 413 ліцензіатів з виробництва електричної енергії, з яких 7 потужних енергогенеруючих компаній забезпечують близько 90 % всього виробництва [3]. На сьогоднішній день ОЕС України працює в паралельному режимі з електроенергетичними об'єднаннями Республіки Білорусь, Республіки Молдови, Російської Федерації (ОЕС Центра, ОЕС Півдня), а також з Європейською мережею системних операторів з передачі електроенергії (ENTSO-E) через так званий «острів Бурштинської електростанції», який включає Бурштинську ТЕС, Калуську ТЕЦ та Теребле-Рікську ГЕС і який синхронізований з ENTSO-E. Електричні зв'язки між ОЕС України та суміжними енергосистемами здійснюються по мережах 110-750 кВ.

За таких умов роботи згідно з нормами [2] регулювання частоти нормується величиною та часом готовності до використання резервів потужності, коефіцієнтами статизму і зоною нечуливості систем автоматичного регулювання агрегатів, а також допустимим відхиленням частоти. Забезпечується регулювання частоти в ОЕС України сумісною роботою багатьох систем автоматичного керування, серед основних з яких є: автоматичне регулювання частоти обертання турбін, автоматичне регулювання частоти та активної потужності, автоматичне обмеження зниження та підвищення частоти; автоматичне частотне розвантаження, частотне автоматичне повторне включення, частотна ділильна автоматика та інші.

Аналіз сучасного стану регулювання частоти в ОЕС України показує, що в умовах фізичного зношення і морального старіння більшої частини обладнання, неоптимальної структури генерувальних потужностей, дефіциту маневре-

них (9,1% за оптимального рівня не нижче 15%) і регулюючих потужностей (17% за необхідних 30 – 35%) в енергосистемі, недостатньої забезпеченості мобільним резервом на ГЕС та ТЕС, при активному впровадженні поновлюваних джерел енергії, що мають стохастичний режим роботи, недостатнього рівня статичної і динамічної стійкості окремих вузлів енергосистеми вимоги щодо регулювання частоти та забезпечення стабільної роботи ОЕС України в робочих режимах виконуються у відповідності до всіх діючих норм.

Приймаючи до уваги угоду про майбутнє об'єднання енергосистем України та Молдови з енергосистемою континентальної Європи, слід зазначити, що найближчим часом перед ОЕС України постане ряд важливих завдань із забезпечення статичної стійкості на рівні вимог ENTSO-E.

### **Список використаних джерел:**

1. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT): ДСТУ EN 50160:2014. [Чинний від 01.10.2014]. - К.: Мінекономрозвитку України 2014. – 27 с.
2. Вимоги до регулювання частоти і потужності в ОЕС України: СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009. [Чинний від 23.05.2009]. – К.: Мінпаливенерго, 2009. – 54 с.
3. Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Офіційний Веб-сайт. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=19644>

**УДК 621.311**

## **ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ**

**Довгалюк О.М., Лазуренко О.П., Саїдов Ш.Н., Яковенко І.С.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Останнім часом у світі спостерігається стійка тенденція збільшення кількості та потужності відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), які використовуються як для автономного живлення споживачів, так і для сумісної роботи з системами централізованого електропостачання. ВДЕ мають ряд принципових особливостей: нестабільний характер вироблення електричної енергії, наявність накопичувачів електроенергії та нелінійних елементів, невелика потужність у порівнянні із традиційними джерелами енергії тощо. Завдяки цим відмінностям ВДЕ значно відрізняються від традиційних джерел енергії, тому їх ефективне використання потребує розробки нових принципів керування режимами роботи електроенергетичних систем (ЕЕС), до яких інтегруються ВДЕ, та комплексно-

го застосування різних джерел енергії для забезпечення режиму ЕЕС. Це призводить до необхідності дослідження впливу ВДЕ на роботу електричної мережі, до якої вони приєднані, та на ЕЕС в цілому.

Використання ВДЕ в ЕЕС має як позитивні, так і негативні наслідки. Так до позитивних слід віднести:

- забезпечення електропостачання віддалених місцевостей;
- зниження втрат на передачу енергії;
- стабілізування слабких енергосистем;
- підвищення надійності та прискорення відновлення живлення споживачів при виникненні ушкоджень.

До негативних відносяться такі:

- ускладнення процесу керування режимами роботи енергосистем, до яких приєднані ВДЕ, через залежність характеру генерування таких джерел від природних та кліматичних умов;
- погіршення умов функціонування систем релейного захисту і автоматичного регулювання режимів ЕЕС;
- необхідність контролю та забезпечення якості електричної енергії в мережах з ВДЕ;
- підключення ВДЕ до електричної мережі збільшує струми короткого замикання, що може привести до необхідності заміни комутаційних апаратів та зміни налаштувань захистів.

Процес повноцінної інтеграції ВДЕ до ЕЕС передбачає декілька стадій, основна характеристика яких представлена в табл. 1.

Взагалі слід зазначити, що при збільшенні частки ВДЕ енергосистемам потрібно все більше пристосовуватися до динамічно мінливих профілів генерації. При цьому електричні мережі в Україні були спроектовані з урахуванням лише централізованого електропостачання і мають обмежену пропускну здатність, через що впровадження ВДЕ буде потребувати додаткової перевірки й коригування технічних властивостей електричних мереж.

Крім того прогнози вироблення електроенергії ВДЕ, що характеризуються нестабільною видачею потужності, менш точні у порівнянні з іншими типами джерел генерації енергії. У зв'язку з цим в умовах балансуючого енергоринку генерація на базі ВДЕ більше інших схильна до штрафів за відхилення фактичних обсягів виробництва від планових, що стає однією з перешкод для інвестицій у розвиток ВДЕ.

Таблиця 1 – Стадії інтеграції ВДЕ до ЕЕС

Стадія інтеграції ВДЕ	Характеристика впливу ВДЕ	Характеристика керування режимом ЕЕС	Частка ВДЕ в загальному виробленні електроенергії, %
Незначний вплив на ЕЕС	Генерація ВДЕ здійснює щоденні і незначні зміни попиту на електричну енергію на рівні локальної електричної мережі	Не потребує додаткового регулювання режимів ЕЕС	$\leq 5$
Відчутний вплив на ЕЕС	Вплив відчувається на рівні окремих частин ЕЕС	Потребує додаткового регулювання впливу ВДЕ на режими ЕЕС шляхом удосконалення методів управління електроенергетичним господарством	5 – 15
Істотний вплив на ЕЕС	Вплив відчувається на рівні ЕЕС в цілому і позначається на роботі інших електростанцій	Потребує регулювання режимів ЕЕС шляхом підвищення гнучкості енергосистеми через здатність реагувати на невизначеність і мінливість балансу попиту і пропозиції, підвищується значення управління попитом	15 – 25
Значний вплив на ЕЕС	Вплив відчувається на рівні ОЕС і носить регулярний характер	Потребує постійного регулювання режимів ЕЕС шляхом ще більшого підвищення гнучкості енергосистеми, застосовується управління попитом і технології накопичення енергії, забезпечується здатність енергосистеми до самовідновлення після різких і об'ємних коливань генерації	25 – 50
Домінування ВДЕ	Вплив відчувається на рівні ОЕС в цілому і носить стійкий характер	Потребує суттєвого регулювання режимів ЕЕС шляхом гнучкості енергосистеми через постійне забезпечення балансування, необхідним стає накопичення енергії в значних об'ємах, важливим є управління попитом	$> 50$

УДК 621.311

## ЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ SMART GRID ПРИ РЕФОРМУВАННІ ЕНЕРГОРИНКУ УКРАЇНИ

Довгалюк О.М.<sup>1</sup>, Лежнюк П.Д.<sup>2</sup>, Черемісін М.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків

<sup>2</sup> Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця

<sup>3</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства  
ім. Петра Василенка, Україна, м. Харків

Перехід енергоринку України від моделі «єдиного покупця» до ринку двосторонніх договорів і балансуючого ринку (ДДБР) потребує створення повноцінного та чітко працюючого балансуючого механізму, який буде спроможним забезпечити ефективне управління режимами генерації та споживання електричної енергії в реальному часі. Основою для створення такого механізму на сьогоднішній день є впровадження технологій Smart Grid, які дозволять перетворити енергетичну систему на «інтелектуальну» активно-адаптивну систему, здатну в режимі реального часу забезпечувати: отримання інформації від постачальників електроенергії щодо її генерації; отримання інформації від споживачів про витрату електроенергії; управління виробництвом, передачею та споживанням електроенергії.

Така система повинна охоплювати всі сторони функціонування енергосистеми: генерацію, передачу і розподіл, а також споживання електроенергії. Основні сегменти технологій Smart Grid в енергосистемі представлені на рис. 1.

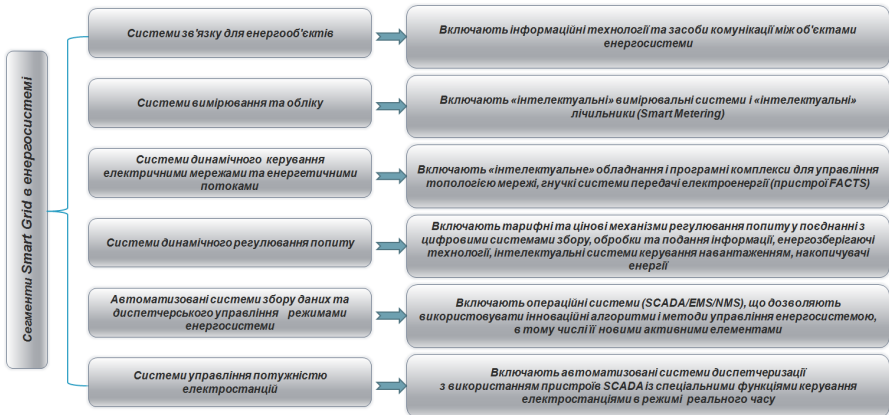


Рисунок 1 – Сегменти Smart Grid в енергосистемі



Серед особливостей сучасної енергосистеми з впровадженими технологіями Smart Grid слід відзначити наступні:

- застосування технології передачі даних на великій швидкості з можливістю використання для цього дротів високовольтних ліній електропередачі, твєрдопровідних і оптичних кабелів, а також бездротових засобів передачі, що забезпечить двосторонній потік інформації щодо стану об'єктів енергосистеми та параметрів режиму в реальному часі;

- багатотарифні мікропроцесорні лічильники та системи вимірювання здатні отримувати інформацію в цифровому вигляді, що відповідає єдиним міжнародним протоколам, виконувати розрахунки, зв'язуватися з іншими аналогічними лічильниками та системами, накопичувати інформацію і передавати її у мережу збору даних для інтелектуалізації управління в режимі реального часу;

- «інтелектуальні» системи вимірювання та обліку разом із «інтелектуальним» обладнанням електричних установок є стандартною основою та необхідними елементами архітектури Smart Grid, які забезпечать дистанційний контроль стану елементів енергосистеми та управління в режимі реального часу;

- динамічне керування електричними мережами та енергетичними потоками забезпечується за рахунок застосування ряду технологічних пристроїв, у тому числі гнучких систем передачі електроенергії (FACTS), переважна більшість яких базується на принципах поздовжньої, поперечної та комбінованої компенсації реактивної потужності та параметрів електричних мереж, засобів керування енергопотоками, а також автоматизованих систем контролю показників якості електроенергії;

- активний розвиток розподіленої генерації за участю відновлюваних джерел енергії та інтеграція всіх видів генерації і всіх типів споживачів для динамічного керування попиту на їх послуги;

- функціонування систем динамічного регулювання попиту в умовах лібералізованого ринку електроенергії базується на добровільному зниженні споживачами рівня електроспоживання у відповідь на зміну ціни електричної енергії за визначеним тарифом на ринку «на добу наперед» без додаткових вказівок від системного оператора та з отриманням відповідної винагороди за здійснення зниження рівня споживання, що в свою чергу забезпечує зниження величини необхідних додаткових регульованих потужностей;

- особливої важливості набувають накопичувачі енергії, використання яких у необхідній ємності стає значущим для вирівнювання графіка навантаження та для забезпечення безперебійної роботи особливо важливих споживачів;

- впровадження систем автоматичного контролю і збору інформації (SCADA) на всіх ієрархічних рівнях енергосистеми забезпечує можливість використання сучасного програмного забезпечення для реалізації алгоритмів і методів управління та досягти високоефективного автоматизованого управління режимами роботи енергосистеми в режимі реального часу.

Зазначені особливості впровадження технологій Smart Grid підкреслюють важливість їх застосування в умовах роботи нового лібералізованого енергори-

нку. Саме тому на етапі реформування енергоринку України технології Smart Grid здатні прискорити впровадження деяких механізмів регулювання відносин між суб'єктами енергоринку та покращити роботу окремих сегментів ринку.

Таким чином, перехід до нової моделі енергоринку в Україні залежить від ефективності впровадження та застосування технологій Smart Grid.

УДК 621 311

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМУТАЦІЙНИХ І ФІЛЬТРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Довгалюк О.М.<sup>1</sup>, Омеляненко Г.В.<sup>1</sup>, Піротті О.Є.<sup>1</sup>, Сиром'ятнікова Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків

<sup>2</sup> Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків

Забезпечення надійності роботи електричних мереж є дуже важливою задачею для електроенергетики, оскільки визначає ефективність та якість електропостачання споживачів, а порушення показників надійності призводить до великих матеріальних збитків. Зазначені обставини привели до того, що забезпечення надійності енергетичних систем стало ключовою проблемою сучасної енергетики України.

Досвід експлуатації електричних мереж свідчить про те, що організаційно – технічні заходи з підвищення надійності електричних мереж можуть мати значну вартість. Це в першу чергу стосується резервування та застосування нового електрообладнання. Тому виникає питання визначення співвідношення вартості можливих збитків і капіталовкладень необхідних для запобігання цих збитків.

Було проведено аналіз показників надійності для електричних мереж України, який свідчить про потребу запровадження заходів щодо підвищення надійності їх роботи. Виявлено основні заходи щодо підвищення показників надійності електричних мереж України, до яких слід віднести наступні:

1. оновлення обладнання електричних мереж, при якому перевагу слід надавати інтелектуальному обладнанню з подальшою перспективою запровадження цифрових підстанцій;

2. зміна структури розподільних електричних мереж, яка забезпечить наближення мереж більш високої напруги до споживачів і буде сприяти зменшенню довжини ліній електропередачі (ЛЕП), зниженню величини втрат електроенергії відповідно, збільшенню пропускнуої спроможності електричних ме-

реж, наявності резерву для підключення нових абонентів, а також сприятиме створенню додаткових умов для розвитку інфраструктури електротранспорту;

3. підвищення рівня автоматизації електричних мереж за рахунок застосування телемеханізації трансформаторних підстанцій, секціонування мереж за допомогою реклоузерів та ін., що дозволить знизити операційні втрати, забезпечити необхідний рівень якості електропостачання споживачів (SAIDI для розташованих в містах споживачів на рівні 150 хв., для сільської місцевості – 300 хв.);

4. зміна режиму роботи релейного захисту, яка буде забезпечувати відключення однофазних замикань на землю в розподільних електричних мережах, що сприятиме підвищенню безпеки при експлуатації мереж та зниженню перенапруги на обладнанні;

5. підвищення рівня оснащення розподільних електричних мереж автоматизованими системами обліку електроенергії, що дозволить знизити комерційні втрати електричної енергії та в перспективі запровадити можливість керування попиту з боку споживача, а також забезпечить організацію дистанційного збору даних для управління режимами електричних мереж з використанням систем Smart Grid.

З урахуванням зазначених напрямків підвищення надійності роботи електричних мереж України слід зазначити, що застосування комутаційних і фільтруючих пристроїв є одним з ефективних заходів у вирішенні цього питання. Сучасні розробки, такі як струмообмежувальні пристрої, засновані на принципах надпровідності, і нове покоління напівпровідникових вимикачів мають безперечні переваги перед іншими рішеннями щодо обладнання електричних мереж.

Аналізуючи зарубіжний досвід, слід відмітити, що в схемах електропостачання великих заводів і електростанцій широко застосовуються комутаційні обмежувачі струму. У вітчизняній енергетиці подібні пристрої відомі під назвою обмежувачів ударного струму вибухової дії.

Комутаційний обмежувач струму є струмообмежувальним запобіжником, який комутується в ланцюг при короткому замиканні за допомогою вибухового пристрою, тим самим усуваючи недоліки запобіжників, збільшуючи діапазон номінальних струмів до 6000 А і дозволяючи відключати короткі замикання із струмами великої величини (більше 300 кА).

Застосування комутаційних обмежувачів струму дозволяє використовувати розподільне устаткування з меншими струмами електродинамічної стійкості й відключаючою здатністю, ніж очікуваний струм короткого замикання. Спосіб визначення короткого замикання, заснований на вимірі значення, а не швидкості наростання струму, виключає помилкові відключення. Застосування комутаційних обмежувачів струму одночасно із струмообмежувальними реакторами забезпечує безперебійне живлення споживача, а також значно зменшує втрати електроенергії.

Головні принципи пристрою і застосування комутаційних обмежувачів струму - це, з одного боку, використання переваг плавких запобіжників, а з ін-

шої - усунення негативних наслідків застосування реакторів та економія внаслідок відмови від модернізації розподільних установок.

Недоліком комутаційного обмежувача струму в порівнянні з реакторами і новими розробками, такими як надпровідниковий обмежувач, являється те, що при його спрацьовуванні ланцюг, що захищається, відключається від живлення (якщо не реалізовані інші схемні рішення), що в деяких випадках неприпустимо. Тому досить часто застосовується паралельне з'єднання комутаційного обмежувача струму з реактором. Це рішення дозволяє зберігати живлення споживачів після відключення обмежувача, а також виключити негативні сторони застосування реактора в нормальному режимі роботи, при цьому має місце значна економія електроенергії, оскільки в нормальному режимі роботи реактор шунтується і активні втрати практично відсутні.

Таким чином, широке застосування комутаційних і фільтруючих пристроїв сприятиме підвищенню надійності роботи електричних мереж України.

УДК 621.315

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ ПРОВІДНИКІВ

Дьяков Є.Д., Сиромятнікова Т.В.

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Метою проведення експериментальних досліджень було вивчення механізму виникнення механічних коливань провідників. Для проведення експериментів була розроблена і створена установка, у якій для досліджень використовувалась модель виготовлена з ніхромового дроту перерізом  $0,035 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , жорстко закріплена на двох опорах. Відстань між опорами становила 5,2 м. Для зміни маси проводу використовувався вантаж, вага якого і місце його розташування можна змінювати під час проведення експериментів. Для реалізації поставленої мети були проведені наступні експерименти:

- реєструвався час виникнення коливань у залежності від ваги вантажу і місця його розташування;
- визначалась температура провідника, при якій виникали механічні коливання;
- визначалась стріла провисання провідника і частота механічних коливань.

Вимірювання температури провідника проводилося за допомогою термометра опору розташованого на досліджуваній моделі. Напруга, яка подавалась на досліджувану модель регулювалась за допомогою ЛАТР, допустимий робочий струм якого становив 9 А. Для контролю величини протікаючого струму у провіднику, використовувався амперметр класу точності 0,5. Вимірювання стріли провисання проводилося за допомогою вимірювальної лінійки закріпленої в середині прольоту. Під час всіх експериментів проводилась їх відеореєстрація. Для обробки результатів відеозапису використовувався відеоредактор «Free Video Editor». Використання відеоредактора дозволило виконувати кадрову розгортку механічних коливань і одночасно реєструвати зміну стріли провисання в процесі нагрівання провідника, а також визначати частоту коливань. Експерименти проводилися в наступній послідовності:

- фіксувалась температура і час виникнення механічних коливань;
- змінювалась вага вантажу, що розташовувався на провіднику;
- змінювалось місце розташування вантажу на досліджуваній моделі.

Для забезпечення однакового температурного режиму провідника величина струму, що протікає через нього, встановлювалась однаковою при проведенні всіх експериментів. У приміщенні лабораторії температура становила  $20 \pm 2$  °С.

При відсутності навантаження на провіднику, механічні коливання моделі були відсутні.

Після установки в центрі прольоту вантажу виникали низькочастотні механічні коливання провідника. Збільшення ваги вантажу і відповідно механічної напруги супроводжувалось збільшенням часу виникнення коливань і стріли провисання провідника. Частота коливань при цьому майже не змінювалась.

При розподілі вантажів по довжині провідника час сталих коливань істотно скоротився. При цьому стріла провисання провідника також зменшилася, а частота коливань збільшилася. Під час проведення даного експерименту, крім вертикальних коливань провідника, спостерігалися також коливання провідника і в горизонтальній площині.

В результаті проведених експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Виготовлена експериментальна установка дозволяє проводити дослідження різних режимів механічних коливань, що мають місце при протіканні електричного струму по провіднику.

2. Визначено температуру провідника, при якій виникають механічні коливання.

3. Встановлено залежність стріли провисання провідника і частоти його коливань від величини механічного навантаження.

4. Для розрахунку кривої провисання провідника з рівномірно розподіленим навантаженням, доцільно використовувати рівняння ланцюгової лінії.

5. Визначення основних механічних характеристик провідника з навантаженням розташованим в центрі прольоту можливо проводити з прийнят-

ною для інженерних розрахунків похибкою за відомими формулами, наприклад, наведеними в [1].

6. Температуру слід вважати основним фактором, який впливає на виникнення механічних коливань провідника.

7. Практична цінність виконаної роботи полягає в можливості використання результатів експериментальних досліджень для побудови фізичних моделей електротехнічних пристроїв струнного типу, а також для розробки математичних моделей нелінійних коливань.

#### **Список використаних джерел:**

1. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979, с. 312.

УДК 656.225., 621.321

## **ЕНЕРГООПТИМАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ШВИДКІСНОМУ РУСІ**

**Єфремова К.Р., Папахов О.Ю., Сиченко В.Г.**

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
ім. ак. В. Лазаряна, Україна, м. Дніпро*

Сучасні тенденції розвитку вимог суспільства пред'являють високі вимоги до пристроїв тягового електропостачання, які мають забезпечувати завданий обсяг перевізної роботи протягом усього року, враховуючи нерівномірність руху та відмінність у вазі поїздів. У зв'язку з підвищенням цін на енергоносії є необхідність у розробці нової енергетичної політики, модернізації обладнання систем тягового електропостачання та пошуків нетрадиційних систем тягового електропостачання.

Енергетична ефективність перевізного процесу залежить від великої кількості його учасників і цілої низки впливаючих на нього факторів. На сьогоднішній день основний потенціал підвищення енергетичної ефективності перевізного процесу пов'язаний з трьома господарствами залізничного транспорту – локомотивного, управління рухом. На долю зазначених господарств припадає близько 60 - 70% потенційної економії електроенергії на електрифікованих ділянках, на господарство електропостачання - близько 10 - 15%. В цьому контексті витрата електроенергії на тягу визначається трьома основними групами факторів, відповідними вказаним господарствам: енергетичні показники руху поїзда, характеристики системи тягового електропостачання і умови організації

руху. Звідси, основним напрямком заходів щодо зниження споживання енергетичних ресурсів є удосконалення конструкцій інфраструктури та рухомого складу, а також методів управління рухом.

Сучасне оперативне управління перевізним процесом на залізницях включає: графік руху поїздів, план формування поїздів, використання пропускної спроможності ділянок, місцева робота, технічне нормування перевезень, оперативне планування експлуатаційної роботи, диспетчерське керівництво, автоматизовані системи управління та інформаційні технології. Оперативна експлуатаційна обстановка істотно відрізняється від нормативних умов розробленого на тривалий період графіка руху поїздів, а виникаючі при цьому коливання поїздопотоків можуть посилюватися не оптимально прийнятими рішеннями поїзного диспетчера. Підтримка оптимальної щільності поїздопотоків на диспетчерській ділянці має стати головним завданням управління поїзною роботою і дозволить ефективно використовувати пропускну здатність залізничної інфраструктури та рухомого складу. При цьому необхідно враховувати реальну пропускну здатність електрифікованої ділянки.

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що режими напруги та потужності в системі тягового електропостачання постійного струму не дозволяють в повній мірі забезпечити необхідні умови для впровадження швидкісного руху на існуючих лініях. Рівні напруги, як на шинах тягового навантаження, так і в тяговій мережі мають значний діапазон коливань, який визначається різними факторами: як впливом змін режимів роботи системи зовнішнього електропостачання, так і режимами роботи тягової мережі. При цьому, при наявності значного резерву встановленої агрегатної потужності, на тягових підстанціях України відсутні засоби регулювання режимів напруги в тяговій мережі.

Аналіз наукових публікацій показує, що основні зусилля як українських, так і закордонних вчених направлені на забезпечення необхідного режиму напруги в тяговій мережі. Але застосовувані сьогодні на теренах України засоби і заходи не дозволяють вирішити поставлене завдання. Як показують результати експериментальних досліджень та розрахунків, неможливість забезпечення необхідного для швидкісного руху режиму напруги, при застосуванні малозатратних засобів підсилення, обумовлюється недостатньою енергоємністю тягової мережі.

Саме тому наукова думка еволюціонує до розвитку розподілених систем живлення тягової мережі, які мають кращі техніко-економічні характеристики. Нагальною потребою, в умовах зростання цін на енергоносії, є забезпечення енергетичної ефективності цих систем та ефективне використання наявної агрегатної потужності у системі тягового електропостачання.

Принцип зменшення втрат електроенергії в тяговій мережі за рахунок вибору оптимальних інтервалів між поїздами можна сформулювати таким чином: з безлічі можливих значень інтервалів між поїздами необхідно вибрати такі,

при яких значення втрат електроенергії в тяговій мережі буде мінімальним. В умовах оперативного управління рухом поїздів виникає необхідність застосування такого методу оптимізації, який дозволяє швидко здійснювати вибір великої кількості можливих графіків руху поїздів в залежності від регулювання наступних: послідовності відправлення поїздів різних категорій; інтервалів між поїздами; взаємного розташування поїздів на двоколіїних ділянках.

У процесі руху поїздів оптимальні відстані між поїздами змінюються в кожен момент часу. Проведеними дослідженнями встановлено, що при русі поїзда на жовтий сигнал світлофора його швидкість падає на 30%, а при русі на червоний - на 60% нижче, ніж при проходженні на зелений сигнал світлофора. В результаті через збільшення часу ходу поїзда по диспетчерській ділянці, кожний наступний поїзд, який буде відправлений на цю ж ділянку через міжпоїздний інтервал, прибуватиме на кінцеву станцію із запізненням на деякий час. Для побудови енергооптимального графіка руху поїздів необхідно визначити часові інтервали між поїздами, при якому втрати енергії в мережі будуть мінімальні з урахуванням фактичної питомої потужності тягової мережі при забезпеченні необхідного режиму напруги.

УДК 620.92

## **АНАЛІЗ РОБОТИ ПРИВАТНИХ ДАХОВИХ СЕС ТА ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ МІСТА ЩОДО ЇХ ІНТЕГРАЦІЇ ДО СПІЛЬНОЇ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ**

**Жарков А.В.<sup>1</sup>, Жарков В.Я.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>ТОВ "ЮБС - Холод", Україна, м. Харків*

*<sup>2</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет, Україна, м. Мелітополь*

На сьогодні всього в Україні налічується 6,5 млн. приватних домогосподарств (ПДГ). З них на кінець 3-го кварталу 2018 р. 6031 ПДГ оснащені даховими сонячними електростанціями (СЕС), загальною потужністю 121 МВт, що працюють за «зеленим» тарифом (табл.1, рис.1), на що інвестовано 120 млн. євро власних коштів. За 9 місяців 2018 р. більше 3 тисяч сімей установили дахові СЕС, що в 2,5 рази більше, ніж за аналогічний період 2017 (1214 сімей).





Рисунок 1 – Динаміка збільшення кількості приватних СЕС, 2014-2018 рр.

Стимулом до переходу на "чисту" енергію є не тільки бажання домогосподарств стати більш енергонезалежними, але і заробити на продажу надлишку електроенергії в мережу за "зеленим" тарифом по 18 євроцентів за кіловат-годину. На 30.09. 2018 р. лідерами приватної сонячної енергетики була трійка областей: Київська (727 приватних СЕС), Дніпропетровська (694) і Тернопільська область (522).

Таблиця 1 - Динаміка зростання приватних СЕС в Україні, що працюють за зеленим тарифом, 2014-2018 рр.

Рік	Кількість, од.	Потужність, МВт	Зростання, МВт
2014	21	0,1	0,1
2015	244	2,2	2,1
2016	1109	16,7	14,6
2017	3010	51	34,4
30.09.18	6031	121	70

На рис.2 за даними АСКОЕ в таблицях Excel побудовані ДГН перших трьох приватних СЕС та СЕС<sub>екв</sub>, а на рис.3 - ДГН переробних підприємств міста.



Рисунок 2 – Побудова ДГН<sub>екв</sub> приватних СЕС: СЕС1, P<sub>вст</sub> = 20 кВт; СЕС2 – 5,2 кВт; СЕС3 – 30 кВт

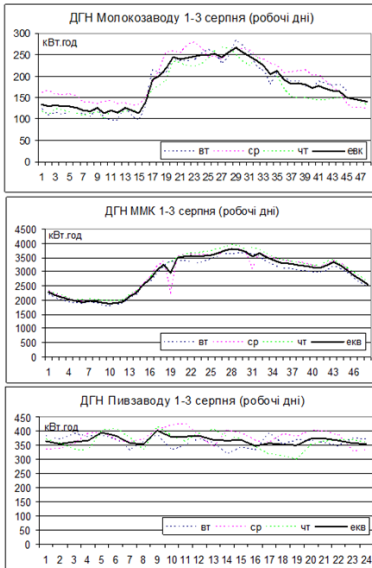


Рисунок 3 – ДГН переробних підприємств за робочі дні тижня серпня міс. 2017 р

Таблиця 2 – Розрахункові енергетичні показники приватних дахових СЕС

Показник	СЕС <sub>1</sub>	СЕС <sub>2</sub>	СЕС <sub>3</sub>
Орієнтація	південь	південь	схід-захід
P <sub>вст</sub> , кВт	20	5,2	30
W <sub>д</sub> , кВт.год	60,88	25,07	88,77
K <sub>ВВЦд</sub> = W <sub>д</sub> / 24P <sub>вст</sub>	0,139	0,201	0,123
W <sub>р</sub> , кВт.год	17611	7080	27738
K <sub>ВВІр</sub> = W <sub>р</sub> / 8760P <sub>вст</sub>	0,101	0,155	0,106

Попарний кореляційний аналіз ДГН СЕС з переробними підприємствами міста показав високий кореляційний зв'язок між ними.

Із порівняння ДГН СЕС з ДГН Дніпровської ЕС і ДГН ОЕСУ видно, що їхні максимуми, особливо робочого дня в літню пору співпадають, тобто генерація приватних дахових СЕС сприяє також вирівнюванню ДГН енергосистеми.

Якщо великі сонячні та вітрові електростанції потребують значних потужностей для балансування, то з малими установками ситуація зовсім інша. Такі станції не лише не створюють проблем з балансуванням, а навпаки — дозволяють покращувати якість електроенергії в локальних мережах, зменшують пікове навантаження ОЕС України, зменшують втрати електроенергії в електромережі. В таблиці 2 наведені енергетичні показники СЕС за добу і за рік.

УДК 620.92

## ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИЙ МАТЕРІАЛІ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДЛЯ ДЖЕРЕЛА НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА

Жарков А.В.<sup>1</sup>, Хромишев В.О.<sup>2</sup>, Хромишева О.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОВ "ЮБС - Холод", Україна, м. Харків

<sup>2</sup>Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького, Україна, м. Мелітополь

Корисна модель стосується відновлюваних джерел енергії приватних домогосподарств і дозволяє, зокрема, знизити ймовірність перегрівів і переохолоджень рослин у приватних неопалювальних теплицях [1].

Використання низькопотенційної теплоти (НПТ) складає суттєву частину світового споживання енергії. Так, більш половини національного споживання Великобританії взимку припадає на обігрів житла ( $18 \pm 3^\circ\text{C}$ ). І не обов'язково використовувати для обігріву високотемпературні джерела. Для обігріву житла більш підходять пасивні приймачі сонячного тепла в комбінації з тепловими акумуляторами, які підтримують комфортні умови вночі і в похмурі дні. Більш того, саме у таких випадках, коли енергія використовується при низьких температурах, характерних для середовища, її особливо важливо накопичувати у формі НПТ [1]. В літературі [2] наведені технічні характеристики поширених теплоакumuлюючих матеріалів (ТАМ) і конструктивні схеми теплових акумуляторів.

Відомий ТАМ [3], який включає (мас. %) церезин 74-87%, саліцилову кислоту 9-21, кварцовий пісок 3,1-3,8, формальдегід 0,9-1,2. Густина запасання енергії 181-191 кДж/кг температура ТАМ 156-159°C. Недоліки даного матеріалу – відносно низька густина запасання енергії і висока температура фазового переходу (156-159°C), що унеможливує його використання для акумулювання НПТ в приватних домогосподарствах і, зокрема, для стабілізації температури в приватних неопалювальних теплицях.

Найбільш близьким аналогом заявленого пристрою, взятим за прототип, є ТАМ [4], що містить гексагідрат кальцію хлориду –  $\text{CaCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ , а також компоненти, що є ініціаторами кристалізації з температурою фазового переходу 30°C. Недоліком даного ТАМ є низька теплота фазового переходу (170 кДж/кг) [2], що зумовлює низьку густина запасання енергії.

В основу корисної моделі поставлена технічна задача створення ТАМ фазового переходу для джерела НПТ приватного домогосподарства, зокрема для стабілізації температури в неопалювальній теплиці, при забезпеченні високої густини запасання тепла і відсутності переохолодження.

Поставлена задача вирішується тим, що як ТАМ фазового переходу використаний мірабіліт (глауберова сіль) – декагідрат натрію сульфату  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$ , зі стороннім джерелом кристалізації. Також поставлена задача вирішується тим, що як стороннє джерело кристалізації використаний тетраборат натрію (бура) –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; оптимальна масова добавка бури – 3 % мас.

Використання мірабіліту (глауберової солі) декагідрату натрію сульфату  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$  забезпечує теплоту плавлення (гідратацію)  $Q_m = 251$  кДж/кг при температурі плавлення  $T_m = 32,4^\circ\text{C}$  [2] з поглинанням надлишку тепла, не допускаючи перегріву; використання як стороннього джерела кристалізації тетраборату натрію (бури) –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  – забезпечує запуск процесу кристалізації (дегідратації) розчину з виділенням теплоти, не допускаючи переохолодження в нічний час і вранці, коли можливі заморозки.

Запропонована корисна модель забезпечує плавлення мірабіліту у власній кристалізаційній воді при  $32,4^\circ\text{C}$  з поглинанням тепла при відповідній температурі в денний час і наступним його виділенням при кристалізації в нічні години. Це створює можливість підтримки в теплицях температурного режиму, оптимального для вирощування рослин, оберігаючи їх від перегріву в денні години і від заморозків вночі. Таким чином, запропонована корисна модель дозволяє знизити ймовірність перегрівів і переохолоджень рослин у приватних неопалювальних теплицях.

Пристрій працює наступним чином. Сонячна погода навесні перемажеться з холодними ранками, що обумовлює широкий розвиток приватного тепличного господарства з використанням ТАМ фазового переходу на основі мірабіліту з домішками бури в кількості 3 % мас., що надає можливість регулювання температури в межах  $\pm 10^\circ\text{C}$  від навколишнього середовища, забезпечуючи комфортні умови росту рослин [5]. Так, наприклад, для зниження (підвищення) температури повітря на 10 градусів в теплиці  $3 \times 6 \times 3$  м з урахуванням акумулювання тепла в фунті і матеріалом теплиці, необхідно близько 25 кг мірабіліту, вартістю 6 грн/кг [5]. Розміщення розчину мірабіліту в теплиці в декількох спеціальних відносно нескладних контейнерах може забезпечити зниження температурних переважень в нічний час і в період максимальної сонячної активності. Запропонований ТАМ може бути використаний і для інших об'єктів і технологічних процесів приватного домогосподарства: стабілізація температури в пташнику, в інкубаторі, зброджуальному процесі тощо.

#### Список використаних джерел:

1. Патент 126818 UA. МПК (2018.01) C09K 5/00. Теплоакмулюючий матеріал фазового переходу для джерела низькопотенційної теплоти приватного домогосподарства / Жарков В.Я., Жарков А.В., Лазуренко О.П., Черкашина Г.І., Речина О.М., Шалигіна О.В., Хромишев В.О., Хромишева О.О., Божев М.В., Шаров С.В. – Опубл. 10.07.2018, Бюл. № 13.
2. Левенберг В.Д. Аккумулирование тепла / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем. – К.: Техника, 1991. – 112 с.
3. Патент 34028 UA. МПК C09K 5/06. Теплоакмулюючий матеріал / Гресько О.П., Галух

В.І., Білялов К.Б. – Опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.

4. Пат. 4465611 USA. МПК С09К 5/06. Heat storage material. – Опубл. 14.08.84.

5. Коган Б.С. Теплоаккумулирующие составы на основе сульфата натрия / Б.С. Коган, К.В. Ткачев, В.М. Шамриков // АВОК. – 2001. – № 3 – С. 14-18.

УДК 621.314

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ МЕТОДОМ МИНИМАЛЬНОГО РИСКА С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ**

**Загайнова А. А.**

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Украина, г. Харьков*

В настоящее время, согласно [1], предельно допустимые значения показателей вводов (значения тангенсов угла диэлектрических потерь основной изоляции и изоляции измерительного конденсатора) нормируются только с учетом номинального напряжения и типа изоляции. Однако исследование законов распределения показателей изоляции вводов, выполненные в [2], показали, что даже для вводов одного класса напряжения с одинаковым типом изоляции имеет место смещение математических ожиданий плотностей распределения показателей, которое обусловлено влиянием эксплуатационных факторов, учет которых не регламентирован в [1]. Наличие подобного смещения свидетельствует о том, что оптимальные предельно допустимые значения показателей, полученные для массивов показателей с разными параметрами законов распределений будут существенно отличаться. А это значит, что при определении предельно допустимых значений необходимо учитывать большее число факторов, чем регламентировано в [1]. В связи с этим, учет факторов влияющих на значения диагностических показателей высоковольтных вводов, при определении предельно-допустимых значений показателей, является актуальной и практически значимой задачей.

Выполненный дисперсионный анализ показал, что на интенсивность старения основной изоляции вводов оказывают значимое влияние как условия эксплуатации, так и значение тока нагрузки вводов, и состав потребителя, а также особенности конструктивного исполнения вводов: значение номинального напряжения, тип изоляции и тип защиты вводов.

Для определения предельно допустимых значений показателей состояния изоляции высоковольтных вводов в [3] предложено использовать метод

минимального риска. Учитывая, что распределения диагностически признаков как для исправных, так и для дефектных вводов могут быть описаны распределением Вейбулла, то выражение для среднего риска имеет вид:

$$R = C_{21}P_1 \int_{\text{tg}\delta_{\text{гр}}}^{\infty} \frac{\beta_1}{\alpha_1^{\beta_1}} \cdot \text{tg}\delta^{\beta_1-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{tg}\delta}{\alpha_1}\right)^{\beta_1}} d\text{tg}\delta + C_{12}P_2 \int_{-\infty}^{\text{tg}\delta_{\text{гр}}} \frac{\beta_2}{\alpha_2^{\beta_2}} \cdot \text{tg}\delta^{\beta_2-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{tg}\delta}{\alpha_2}\right)^{\beta_2}} d\text{tg}\delta, \quad (1)$$

где  $\alpha_1, \beta_1$  – значения параметров масштаба и формы для распределения значений  $\text{tg}\delta$  в исправных вводах;  $\alpha_2, \beta_2$  – значения параметров масштаба и формы для распределения значений  $\text{tg}\delta$  в дефектных вводах,  $\text{tg}\delta_{\text{гр}}$  – предельно допустимое значение  $\text{tg}\delta$  подлежащее определению.

Для определения предельно допустимых значений  $\text{tg}\delta$ , был использован метод Ньютона. На рис. 1 приведена зависимость значений среднего риска от значения  $\text{tg}\delta$  основной изоляции вводов при разных значениях условной стоимости вероятности ошибки II-го рода. Как видно из рисунка значения риска имеют четко выраженный минимум. С увеличением условной стоимости «пропуска дефекта» минимум функции среднего риска, смещается в сторону выборочного среднего для исправного состояния.

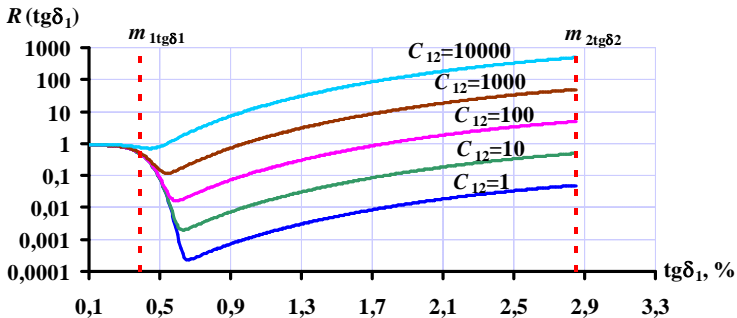


Рисунок 1 – Зависимость значений среднего риска от значения  $\text{tg}\delta_1$  при разных значениях цены «пропуска дефекта»

Предложен метод определения предельно допустимых значений показателей изоляции высоковольтных маслонаполненных вводов герметичной конструкции, который обеспечивают минимальное значение риска, при их диагностике. Предложенный метод позволяет учесть такие факторы как продолжительность эксплуатации высоковольтных вводов, их загрузку и отличается тем, что предельно допустимые значения показателей определяются путем минимизации функции среднего риска.

### Список використаних джерел:

1. Норми випробування електрообладнання : СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 – Офіц. вид., приказ Мінпаливенерго 2007-01-15 г. №13. – К.: ОЕП «ГРИФРЕ» : М-во палива та енергетики України, 2007. – 262 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
2. Shutenko Oleg, Zagaynova Alexandra, Serdyukova Galina Analysis of distribution laws of insulation indicators of high-voltage oil-filled bushings of hermetic and non-hermetic execution // Technology audit and production reserves. – 2018. – Vol. 4. – №. 1 (42). – pp 30–39.
3. O. Shutenko, A. Zagaynova, G. Serdyukova Determining the Maximally Permissible Values for the Indicators of Insulation of Sealed Entrance Bushings with a Voltage of 110 kV Using the Method of Minimal Risk //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies– 2018. – Vol. 5. – №. 8 (95). – pp. 6–15.

УДК 621.472:629.78

## ВПЛИВ РОБОЧОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЛІВКОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Зайцев Р.В., Кіріченко М.В., Прокопенко Д.С., Хрипунов Г.С.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

На теперішній час для термічного перетворення сонячної енергії використовують сонячні колектори, ККД яких досягає 70-80 % завдяки застосуванню селективних покриттів з коефіцієнтом поглинання в спектральному діапазоні сонячного опромінення до 95-98 % та коефіцієнтом відбиття у інфрачервоному діапазоні не більш 5-7 %. Сучасною тенденцією при розробці найбільш розповсюджених автоматизованих систем теплових колекторів з примусовою циркуляцією теплоносія є те, що електрична енергія для їх роботи генерується традиційними кремнієвими сонячними модулями. Оскільки традиційно сонячні модулі розміщуються окремо від сонячних теплових колекторів, то це не призводить до збільшення ефективності використання сонячної енергії.

В останній час активно розпочалися розробки комбінованих фотоелектричних установок, у яких при виробленні електричної енергії проводиться утилізація теплової енергії. Фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), для використання в таких системах, повинні ефективно генерувати електричну енергію при робочій температурі 50-55 °С; вони також мають забезпечувати коефіцієнт поглинання сонячної енергії на рівні не менш 90 % та мати коефіцієнт відбиття в інфрачервоній частині спектру не більше 10 %. Разом із системою охолодження теплового колектора конструкція ФЕП має забезпечувати різницю між температурою ФЕП та температурою теплоносія не більше 5 °С. При виконанні двох останніх умов із конструкції

сонячного колектору можна виключити селективне покриття, оскільки його функції буде виконувати ФЕП.

Співставлення досліджень температурної залежності ефективності для плівкових ФЕП на основі сполук CdTe і CuInSe<sub>2</sub>, які виготовляються у лабораторних умовах, та аморфного кремнію, які виготовляються промислово, показали (рис. 1), що найменше зниження ККД зі зростанням робочої температури мають приладові структури на основі базових шарів телуриду кадмію. При температурі 50 °С ККД знижується усього на 1 %, а відносна швидкість зниження складає лише -0,14 відн. %/С (табл. 1). Отримані експериментально значення температурного коефіцієнту ККД одноперехідних плівкових ФЕП досить точно корелюють із шириною забороненої зони відповідного поглинаючого напівпровідникового матеріалу (табл. 1), температурний коефіцієнт ККД пропорційно знижується із зростанням ширини забороненої зони базового напівпровідникового матеріалу.

Аналіз впливу світлових діодних характеристик на ККД ФЕП на основі телуриду кадмію показав, що температурна стабільність їх ефективності забезпечується стабільною густиною діодного струму насичення. Так при зростанні температури від 20 °С до 50 °С густина діодного струму насичення зростає на 50 % (рис. 2), що менше ніж для кремнієвих ФЕП, для яких діодний струм насичення зростає у 3 рази.

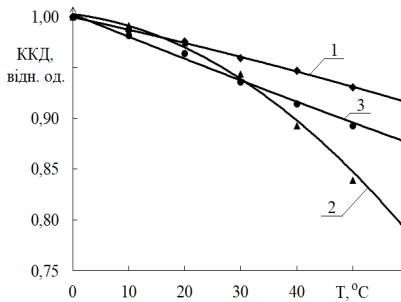


Рис. 1. - Відносне зниження ККД плівкових ФЕП зі зростанням робочої температури: 1 – на основі CdTe; 2 – на основі CuInSe<sub>2</sub>; 3 – на основі аморфного кремнію

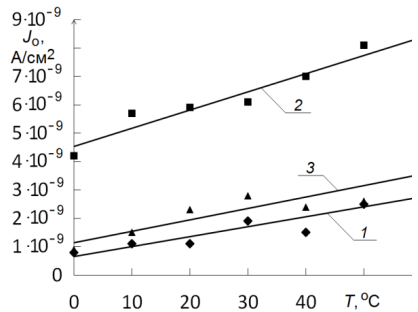


Рис. 2 - Вплив робочої температури на густину діодного струму насичення для серій 1-3 зразків ФЕП на основі CdTe

Таблиця 1 – Одержані експериментально коефіцієнти зниження ККД плівкових ФЕП та ширина забороненої зони їх базових напівпровідникових шарів

Основа плівкового ФЕП	Температурний коефіцієнт ККД, відн. %/С	Ширина забороненої зони напівпровідника, еВ
CdTe	-0,14	1,44
аморфний Si	-0,21	1,2-1,3
CuInSe <sub>2</sub>	-0,36	1,04-1,07



Розрахунок теплопровідності гнучких ФЕП на основі телуриду кадмію, сформованих на поліімідній плівці завтовшки 7 мкм, показав, що враховуючи коефіцієнт теплопровідності поліімиду, який дорівнює 0,14-0,20 Вт/(м·К), можна одержати перепад температури у тонкоплівковому ФЕП на рівні 0,6-0,9 °С. Висока теплопровідність міді колектора дає можливість забезпечити поперечний градієнт температури пластини колектора не більше 1,0-1,5 °С і в результаті оптимізації теплового опору системи можна досягти перевищення температури плівкового ФЕП над температурою теплоносія на рівні 2,5 °С.

Оптичні дослідження показали, що коефіцієнт поглинання сонячної енергії гнучкого ФЕП на основі телуриду кадмію у видимому діапазоні (400-800 нм) складає 94-96 %, а коефіцієнт відбиття в інфрачервоній області спектра не перевищує 7-8 %, що надає можливість в конструкції колектора відмовитися від використання селективного покриття.

За результатами проведеного дослідження запропоновано конструктивно-технологічне рішення фотоенергетичної системи з гнучкими ФЕП на основі телуриду кадмію, яке дозволяє одержати сумарне ККД такої системи до 73 % за перетворенням сонячної енергії в теплову та електричну енергію.

УДК 621.31

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОЦЕНКИ ИСТОЧНИКОВ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ТОЧКЕ ОБЩЕГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ**

**Калюжный Д. Н.<sup>1</sup>, Саенко Ю. Л.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup> Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, Украина, г. Харьков*

*<sup>2</sup> Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», Украина, г. Мариуполь*

Несимметрия напряжений является одной из наиболее важных проблем качества электрической энергии в системах электроснабжения. Когда возникает несимметрия напряжений, в электрической сети появляются дополнительные потери мощности и нагрев оборудования. Потребитель при этом также несет убытки, которые могут быть, как минимум, на порядок выше вследствие простоя или повреждения оборудования, а также брака продукции. Самым главным вопросом в этой ситуации является адекватная идентификация источников искажения симметрии напряжений и оценка их влияния на создания несиммет-

рии напряжений в точке общего присоединения (ТОП).

Основополагающие условия для решения данной задачи приведены в серии стандартов IEC61000, где указаны критерии оценки несимметрии напряжений и методика измерений показателей качества электрической энергии.

Обзор существующих методов идентификации и оценки источников искажения симметрии напряжений выполнен рабочей группой С4.109 SIGRE/CIREД [1]. В качестве наиболее адекватного решения рассматриваемой задачи рекомендован метод, основанный на использовании фоновой несимметрии электроэнергетической системы [2].

В исследованиях, проведенными авторами, выполнен численный сравнительный анализ более широкой группы методов идентификации и оценки источников искажения симметрии напряжений в ТОП. Этому анализу подверглись следующие методы:

- включения/отключения потребителя [3];
- фоновой несимметрии электроэнергетической системы [2];
- по симметричным составляющим эквивалентных проводимостей[4];
- направления искаженных мощностей [5];
- наложения в сочетании с активным экспериментом [6];

В качестве тестового примера была выбрана простейшая схема системы электроснабжения, где к ТОП с одной стороны подключена электроэнергетическая система (источник питания бесконечной мощности (ИП) – трансформатор (Т) – линия (Л), а с другой – потребитель электроэнергии (П). Коммутируемая батарея конденсаторов (БК) использовалась для проведения активного эксперимента. В качестве источника искажения симметрии напряжений выступал ИП. Все остальные элементы задавались симметричными.

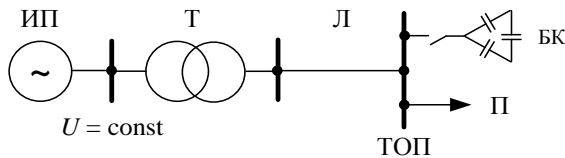


Рисунок 1 – Тестовая система электроснабжения

Результаты анализа следующие. Все методы кроме метода наложения в сочетании с активным экспериментом определяют симметричного потребителя либо как источник искажения симметрии напряжения, либо дают неопределенный результат. Результаты метода наложения в сочетании с активным экспериментом значительно зависят от точности измерения токов и напряжений. Учитывая техническую возможность реализации всех методов, можно сделать вывод об их несостоятельности и необходимости дальнейшего совершенствования.

### Список использованных источников:

1. CIGRE report 468, "Review of Disturbance Emission Assessment Techniques", CIGRE/CIREC working group C4.109, 2011, ISBN: 978-2-85873-158-9.
2. U. Jayatunga, S. Perera, P. Ciufu & A. P. Agalgaonkar, "Voltage unbalance emission assessment in interconnected power systems," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 28, (4) pp. 2383-2393, 2013.
3. Железко, Ю. С. Правила применения скидок и надбавок к тарифам за качество электроэнергии / Ю. С. Железко, Е. И. Кордюков, В. Г. Курбацкий и др. // Промышленная энергетика. – 1990. – №11. – С. 52–55.
4. Сендерович, Г. А. Определение действительного вклада потребителя в создание несимметрии на сборных шинах / Г. А. Сендерович // Вісник Національного технічного університету „Харківський Політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХНУ”. – 2004. - №47. – С. 136–139.
5. Зыкин, Ф. А. Определение степени участия нагрузок в снижении качества электрической энергии / Ф. А. Зыкин // Электричество. – 1992. – №11. – С. 13–19.
6. Гамазин, С. И. Определение фактического вклада потребителя в искажении параметров качества электрической энергии / С. И. Гамазин, В. А. Петрович // Промышленная энергетика. – 2003. – №1. – С. 32–38.

УДК 628.971

## SMART GRID В СИСТЕМАХ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

Коляда О.Ю.

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Системи зовнішнього освітлення є візитною карткою кожного міста та показником рівня безпеки життя населення в ньому. Тому щорічно витрачається чимало коштів на проектування, встановлення та обслуговування світлоточок. Тисячі світильників, кілометри освітлювальних електричних мереж, безліч необхідних для роботи світлоточок електричних пристроїв - це все є компонентами функціонування системи зовнішнього освітлення. Враховуючи тенденції до швидкого зростання енергоспоживання на потреби освітлення вулиць та магістралей міст, з'являється необхідність в генеруванні ще більших потужностей. Для підвищення ефективності роботи освітлювальної установки слід впроваджувати новітні розробки і технології в системи освітлення [1]. Як показують світові дослідження, в кожному секторі споживання електроенергії на освітлення за рахунок застосування сучасних технологій, потенціал енергозбереження може сягати 50%. На сучасному етапі розвитку зовнішнього освітлення важли-

во не тільки застосовувати нові розробки джерел світла та пристроїв для їх роботи, але і впроваджувати інноваційні концепції Smart Grid. Практика та аналіз даних по діяльності електричних компаній показали, що розвиток електромереж можливий завдяки не тільки модернізації складових, але і завдяки впровадженню інтелектуальних мереж, які дозволять забезпечити мінімальний рівень втрат електричної енергії, дадуть можливість підприємствам Міськсвітло оптимізувати витрати на користування електричною енергією. Для виявлення ресурсу можливого енергозбереження необхідно розглядати компоненти діючих освітлювальних установок. Існує ряд традиційних заходів із енергозбереження в освітлювальному секторі, наприклад, у відключенні ряду світлоточок на вулицях міста. Але такі засоби противорічать вимогам МКО [2]. Найбільш ефективним рішенням буде зниження світлового потіку джерел світла до 50% завдяки диммируванню в години, коли інтенсивність руху на вулицях буде мінімальна. Перспективність впровадження систем Light Smart Grid заключається в порівняльній техніко-економічній оцінці інноваційних технологій.

#### **Список використаних джерел:**

1. Справочная книга по светотехнике. Под ред. проф. Айзенберга Ю.Б., 3-е изд. М.: 2008г, 952с.
2. CIE, «Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic». CIE Publication 115-1995.

**УДК 621.316**

## **ВПЛИВ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**

**Комар В.О., Котилко І.О., Кравчук С.В., Лежнюк П.Д.**

*Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця*

Сьогодні Україна демонструє найвищі у світі темпи у підписанні договорів на майбутнє приєднання ВДЕ, але це продукує великі ризики для застарілої енергосистеми [1]. Ключовим є те, що, за офіційною інформацією НКРЕКП, в І кв. 2018 р. було введено в експлуатацію 159,4 МВт генеруючи потужностей – 54 об'єктів електроенергетики (у 2,4 рази перевищує потужності, введені в експлуатацію за аналогічний період 2017 р.)[2].

Системний оператор у своєму дослідженні наголошує, що СЕС та ВЕС з точки зору стабільності електропостачання – ненадійні. Відхилення від планових графіків протягом доби складає понад 450 МВт при встановленій потужності 1217 МВт. Це однією специфікою встановлення відновлювальних джерел енергії є їх

нерівномірне розміщення по всій Україні. Таким чином, наявність одного потужного джерела до 3 МВт або декількох менш потужних до 0,5 МВт, що під'єднані до однієї підстанції розподільної електричної мережі (РЕМ), дають можливість розглядати РЕМ як локальну електричну систему (ЛЕС). А для локальної електричної системи, ще чітко не сформовані законодавчі акти, згідно яких будуть функціонувати відновлювальні джерела енергії.

**Метою статті** є оцінювання впливу генерування фотоелектричних станцій на надійність роботи електричних мереж, враховуючих їх технічний стан.

Особливо гостро для розподільних електричних мереж постає питання надійності і безперебійності електропостачання. Згідно Постанови НКРЕКП «Про затвердження цільових показників надійності (безперервності) електропостачання на 2018 рік» [3], визначено основні показники надійності роботи електричних мереж, в тому числі і з відновлювальними джерелами енергії, що характеризують кількісно та якісно перерви в електропостачанні.

System Average Interruption Duration Index /Показник середньої тривалості відмов

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T}, \quad (1)$$

де  $r_i$  – час відновлення електропостачання,  $N_i$  – кількість перерв в електропостачанні споживачів за звітний період,  $N_T$  – загальна кількість споживачів в електричній мережі.

На початок 2015 року сумарна встановлена потужність ФЕС дорівнювала 315 МВт. За чотири роки їх потужність зросла більш як в 3 рази і складає на кінець 2018 року – 1100 МВт. Слід відмітити, що ФЕС розміщені нерівномірно по території України і, в свою чергу, досить важко оцінити їх вплив на надійність електропостачання електричних мереж. На рис. 1, приведена зміна SAIDI для 2011, 2015–2018 років, середні значення по ОЕС для міських та сільських електричних мереж.

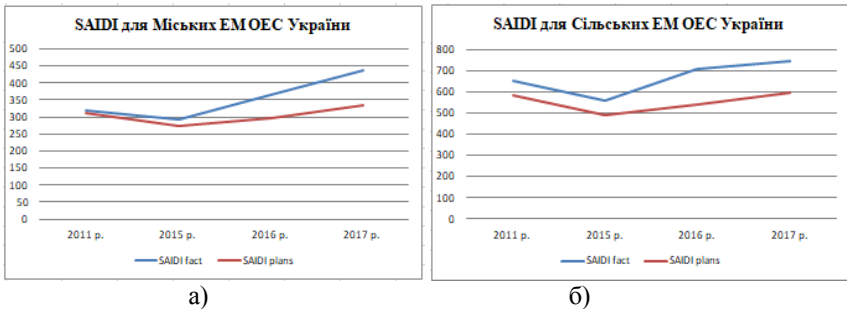


Рисунок 1 – Зміна цільового запланованого показника SAIDI (червона крива) та фактичного (синя крива) для а) міських електричних мереж, б) сільських електромереж ОЕС України

Для підвищення техніко-економічної ефективності сумісної експлуатації розосереджених джерел електроенергії і розподільних електричних мереж необхідно розв'язати ряд задач, що дозволить збільшити виробництво електроенергії ВДЕ, зменшити втрати електроенергії в розподільних електричних мережах, покращити якість і надійність електропостачання споживачів. З метою ефективної експлуатації розосереджених джерел електроенергії та їх комплексного використання в електричних мережах енергосистем, особливо в сенсі задач підвищення надійності електропостачання, необхідно, розробити метод відновлення електропостачання споживачів, при втраті централізованого живлення.

#### **Список використаних джерел:**

1. Про затвердження Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання// Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 12.06.2018 р. № 375 [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0375874-18>
2. Лежнюк П.Д. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: Монографія / П.Д. Лежнюк., О.А. Ковальчук, О.В. Нікіторович, В.В. Кулик. – Вінниця, 2014. – 204 с.
3. Про затвердження цільових показників надійності (безперервності) електропостачання на 2018 рік // Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 14.06.2018 р. № 392 [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/index.php?id=32667>

УДК 621.316

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГ У РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ З ДУГОГАСНИМ РЕАКТОРОМ ПРИ ВИМИКАННІ ДВОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ**

**Кошман В.І., Сабарно Л.Р., Севастюк І.М.**

*Інститут електродинаміки Національної академії наук України, м. Київ*

Як відомо, дугові перенапруги є небезпечним явищем у розподільних мережах напругою 6-10 кВ та спричиняють значну кількість пошкоджень обладнання [1]. При заземленні нейтралі через дугогасний реактор у випадку резонансного його налаштування з параметрами мережі рівень дугових перенапруг є мінімальним. Однак, в реальних умовах неможливо забезпечити ідеальний режим резонансу. При цьому недо- і перекомпенсація значно збільшує кратність перенапруг (1,6-1,8 на пошкодженій фазі і 1,5-2 на непошкоджених).

У ряді літературних джерел, у т. ч. і підручників з техніки високих напруг [2, 3 та ін.], розглядається небезпечне явище - “зріз струму у дугогасному реак-

торі”. Як показуються наші дослідження, ця назва не є коректною, причини появи даного явища, описані в публікаціях, не зовсім вірні, а наслідки дещо перебільшені. Поняття “зріз струму” зазвичай застосовують, характеризуючи режим раптового зменшення струму у вимикачі до нульового значення у момент часу, що відрізняється від моменту звичайного переходу струму через нуль.

Розглянемо практично крайній випадок у розподільній мережі напругою 6-10 кВ, коли всі кабельні лінії, крім останньої, вже відключені, а остання відключається внаслідок пошкодження, пов’язаного з землею: ДЗЗ чи однофазного на землю (ОЗЗ). Дугогасний реактор налаштований в резонанс з повною ємністю мережі, тобто у даному випадку працює з суттєвою перекомпенсацією.

Після відключення останньої лінії кратність перенапруг визначається сумарною ємністю відносно землі шин та іншого електрообладнання, підключеного до шин і величина її становить близько тисячі пікофарад.

На заступній схемі мережі для аналізу процесів при відключенні двофазного к.з. на землю фазу А вимикача вже розімкнено, а фази В і С розмикаються і в них йде процес гасіння дуги струму ДЗЗ. Моделювання процесів проводилось в середовищі Matlab з пакетним розширенням Simulink.

Перехідний процес вимикання ДЗЗ розглядався у на два етапи: перший – відключення фази В і другий – відключення останньої фази С. Як показали дослідження, перший етап (відключення фази В) створює перенапруги з кратністю порядку 2,9 у.о. [1], а другий - взагалі не викликає помітних перенапруг.

З фізичної точки зору відсутність значних перенапруг, описаних у [2], у цьому випадку пояснюється тим, що за відсутності зрізу струму у вимикачі внаслідок неодноразовості проходження через нуль струмів у фазах В і С, струм у реакторі не обривається, а продовжує протікати, замикаючись через іншу незгаслу фазу. При наступному проходженні через нуль він гаситься, не викликаючи перенапруг.

Але так розвивається процес лише за відсутності зрізу струму у вимикачі. Якщо ж у останній фазі, що вимикається, виникає зріз струму, то це призводить до значних перенапруг до 8,5 у.о.

Такі ж кратності перенапруг будуть і у випадку відключення ОЗЗ зі зрізом, лише буде відсутній перший етап процесу, пов’язаний зі зміною виду замикання з двофазного на однофазне.

Виникнення у процесі вимикання повторних запалювань у вимикачі може обмежити кратність перенапруг, якщо міцність міжконтактного проміжку до моменту нуля струму ще недостатня для того, щоб витримати відновлювальну напругу.

Виходячи з вищезазначеного, слід відмітити, що помилка тлумачення (чи опису) явища в [2, 3] полягає у тому, що перенапруги існують лише у тому випадку, якщо відбувається зріз струму у фазі вимикача, яка вимикається останньою; за відсутності цього вимикання і при ОЗЗ не є небезпечним.

Зріз струмів можуть створювати будь-які вмикачі, як старих типів (масляні, електромагнітні, повітряні), так і широко застосовувані в останній час вакуумні. Останні дають зріз струмів з більшою ймовірністю, особливо при відмиканні малих струмів, до яких слід віднести струми ОЗЗ.

Великі кратності перенапруг, що виникають при розглянутій вище комутації, безумовно являють небезпеку для ізоляції. Захист підстанційного обладнання можна забезпечити встановленням трифазного комплексу обмежувачів перенапруг (ОПН) на шинах і одного ОПН паралельно дугогасному реактору. ОПН мають достатню пропускну здатність, щоб розсіяти енергію перенапруги розглянутої вище одиничної комутації і обмежують рівень перенапруг величиною 2,7-3,0 у.о. У випадку застосування такої схеми захисту перенапруги при такій комутації, створювані будь-яким типом вимикачів, у т.ч. і вакуумними, не являють небезпеки для обладнання.

#### Список використаних джерел:

1. Сабарно Л.Р. Дослідження дугових перенапруг у випадку одно-і двофазних замикань на землю у розподільній мережі з ізольованою нейтраллю / Л.Р.Сабарно, В.І.Кошман, І.М.Севастюк // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК.-2017.-№ 1(6). - С. 17-21.
2. Халилов Ф.Х. Классификация перенапряжений. Внутренние перенапряжения / Ф.Х.Халилов. - Учебное пособие.- Издание НОУ "Центр подготовки кадров энергетики". С.-Петербург, 2012. – 80 с.
3. Данилов Г.А. Повышение качества функционирования линий электропередачи: монография / Г. А.Данилов, Ю. М.Денчик, М. Н.Иванов, Г. В.Ситников / Под ред. В.П. Горелова, В.Г.Сальникова. – 2-е изд. - М.-Берлин: – Директ-Медиа, 2015. – 558 с.

УДК 621.311.1

## АНАЛІЗ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ФЕРОРЕЗОНАНСНИХ ПРОЦЕСІВ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ПІДКЛЮЧЕННІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Кузнецов В.Г., Нікішин Д.А., Тугай І.Ю.

*Інститут електродинаміки Національної академії наук України, м. Київ*

Для України, через необхідність зменшувати рівень використання природних паливних ресурсів, впровадження альтернативних джерел енергії є актуальною науково-технічною проблемою. Тому галузь відновлювальної енергетики, у тому числі, виробництво електричної енергії на основі сонячних електростанцій, постійно розвивається. Але зі зростанням кількості сонячних електростанцій в електричних мережах України, зростає і ймовірність появи нетрадицій-



них ферорезонансних процесів.

Відомо, що ферорезонанс – це складні нелінійні коливання, які можуть виникати в будь-яких схемах електричної мережі з нелінійною індуктивністю та ємністю і супроводжуються перенапругами та надструмами. Це зумовлює небезпеку таких режимів на практиці. Проведено дослідження наявності умов виникнення та розвитку ферорезонансу в електричних мережах при підключенні сонячних електростанцій. Необхідними умовами є існування у схемі електричної мережі порівняно великої ємності та підключення до неї індуктивного елемента з феромагнітним осердям. Достатніми умовами є поява відповідних збурень режиму внаслідок виконання комутацій.

Виконано аналіз типових схем підключення сонячних електростанцій. Для попередження ферорезонансу запропоновані засоби запобігання появи умов виникнення ферорезонансного процесу.

Результати даних досліджень можуть бути застосовані при проектуванні та підключенні сонячних електростанцій до розподільчих електричних мереж енергосистем.

#### **Список використаних джерел:**

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” / Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. - Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245239554>.
2. Кузнецов В. Г., Тугай І. Ю., Мельничук В. А. Вплив явища гістерезису на виникнення нетрадиційних ферорезонансних процесів у електричних мережах / В. Г. Кузнецов // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. - 2015. - Вип. 40. - С. 34–38.
3. Ferracci P. Ferroresonance // Cahier technique. Schneider Electric. - Paris, 1998. - No. 190. - P. 1–28.
4. Tugai I. Investigation of ferroresonance in electrical networks at open-phase operating conditions // Computational Problems of Electrical Engineering- 2015. - Volume 5, number 1. - P. 61–64.

**УДК 621.314**

## **АНАЛИЗ ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АРГ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПА ДЕФЕКТА ОБОРУДОВАНИЯ**

**Кулик А.С.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Для распознавания типа дефекта оборудования, прогнозируемого по результатам хроматографического анализа растворенных в масле газов (АРГ), ис-

пользуются как аналитические, так и графические методы распознавания. Данные методы отличаются по количеству и типу распознаваемых дефектов, а также по способам задания координат и представления диагностируемого объекта.

По способу представления диагностируемого объекта графические методы распознавания могут представлять объект в виде точки в области диагнозов либо в виде геометрического образа или фигуры. К первым относятся треугольники и пятиугольники Дюваля, треугольник GATRON, прямоугольник Дорненбурга и квадрат ETRA. Ко вторым – графические образы дефектов, лепестковые диаграммы, метод ключевого газа.

По способам задания координат в графических методах интерпретации результатов АРГ используют значения концентраций газов, отношения пар газов и процентное содержание газов. Непосредственные значения концентраций газов, в качестве координат, имеют место только в лепестковых диаграммах И.В. Давиденко и в логарифмическом методе номограмм. Основными недостатками данного способа являются необходимость построения диаграмм для каждого вида оборудования и сложность реализации.

Отношения пар газов используются в методиках Дорненбурга и ETRA. Основным недостатком данных методов является неполное использование диагностической информации, поскольку в качестве координат используются отношения только двух пар газов, а минимальное число отношений рекомендуется равным трем. В треугольниках Дюваля и GATRON, в методе ключевого газа и в некоторой степени в графических образах дефектов используется процентное содержание газов.

Несмотря на многообразие методов, при практическом использовании они не всегда позволяют достоверно распознать тип дефекта [2]. В связи с этим, усовершенствование методов распознавания типов дефектов является актуальной задачей современной науки.

### **Список використаних джерел:**

1. Шутенко О.В. Анализ графических методов распознавания типа дефекта по результатам ХАРГ //Шутенко О.В., Баклай Д.Н., Горожанкина Т.Г. // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП». – 2016. – №3(1175). – С. 122-140.
2. Давиденко И.В. Анализ точности методов идентификации вида дефекта трансформатора по результатам АРГ// Давиденко И.В., Овчинников К.В.// «Труды второй научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института». – Екатеринбург. – 2017. – с.273-276.

УДК 656.3

## ЗАВАЖАЮЧА ДІЯ ВИЩИХ ГАРМОНІК КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

Кулик О.С., Пономаренко С.Г.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Напруга, яка надходить в контактну мережу (КМ) від перетворюючих агрегатів, не є постійною, а пульсуючою. Змінна складова випрямленої напруги, яка дорівнює сумі всіх присутніх гармонік, створює в КМ змінний струм, ланцюг якого замикається через тягові двигуни та рейки.

Змінний струм викликає електромагнітну, електростатичну та гальванічну дію на лінії зв'язку електрифікованих залізниць. Електростатична дія створюється електричним полем проводів контактної мережі, значення якого невелике, внаслідок чого немає потреби в спеціальних заходах по усуненню такого впливу на лінії зв'язку. Гальванічна дія створюється накладанням змінних струмів вищих гармонік, які проходять в рейковому ланцюзі та землі, на струми лінії зв'язку, в яких зворотнім проводом є земля. На електрифікованих лініях у зв'язку з цим не можна допускати однопровідні лінії зв'язку та повинна бути забезпечена надійна ізоляція від землі двопровідних ліній зв'язку.

Електромагнітна дія створюється магнітним полем проводів контактної мережі. Магнітний потік цього поля має складові, пропорційні струмам гармонік. Змінна складова магнітного потоку, перетинаючи проводи ліній зв'язку, ті, що знаходяться поруч, наводить у них ЕРС. Оскільки два проводи зв'язку одного ланцюга знаходяться по відношенню до контактної мережі на різній відстані, то в них індукується ЕРС різної величини одного напрямку. Різниця цих ЕРС, у двох проводах великої довжини створює в телефонній мережі змінний струм, який складається з тих самих вищих гармонік, що і струм у тяговому ланцюзі. Цей струм викликає шум у телефонних апаратах і заважає вести переговори.

Радикальними заходами для усунення електромагнітного впливу тягового струму є відніс ліній зв'язку на відстань більше 100 м від контактної мережі або виконання кабелями ліній зв'язку. Однак ці заходи вимагають великих витрат. Більш доцільно використовувати на тягових підстанціях згладжувальні пристрої, які не пропускають у контактну мережу струми вищих гармонік. Кабелювання ліній зв'язку значно дорожче згладжувальних пристроїв, і використовують при системі однофазного струму, оскільки останній відкликає не тільки заважаючу але і небезпечну дію на лінії зв'язку. У проводах цих ліній при близькій відстані від колії виникає значна ЕРС (1000 В і більше), небезпечна для персоналу та ліній зв'язку.

УДК 621.315

## РОЗРАХУНОК ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Кулик О.С., Пономаренко С.Г.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Значення електричного опору є важливою складовою для визначення технологічних витрат електричної енергії в елементах електричної мережі, особливо в ізоляційних конструкціях. Та існує проблема з визначення цього значення. Зазвичай, показник електричного опору в елементах електричної мережі можна виміряти, але якщо цей елемент знаходиться під напругою значення електричного опору можна лише розрахувати.

На сьогодні в Україні розрахунок електричного опору ізоляційних конструкцій виконується по [1] за нижче наведеною формулою:

$$R_{iz} = 1345 - 215 \cdot (N_p - 1), \quad (1)$$

де  $N_p$  – номер рівня ступеня забруднення атмосфери, визначений відповідно до ГКД 34.51.101.

Однак, дана формула має ряд серйозних недоліків. По-перше, в ній не враховуються особливості конструкції, що впливають на значення опору. По-друге, у [2] чітко вказано, що ступінь забруднення (СЗ) визначають залежно від характеристик джерел забруднення і відстані від них до електроустановки. У разі, якщо використовувати табличні дані з будь-яких причин неможливо, то треба складати карту ступенів забруднення (КСЗ) і СЗ визначати за цими картами. При цьому акцентується увага на тому, що поблизу промислових комплексів, а також у районах з накладанням забруднень від великих промислових підприємств, ТЕС і джерел зволоження з високою електричною провідністю визначати СЗ, як правило, треба за КСЗ. Саме тут і можуть виникати труднощі з визначенням номера рівня ступеня забруднення, оскільки як такої карти ступенів забруднення не існує, а для її складання для окремо взятої території потрібно докласти чималих зусиль та витратити немало часу.

Таким чином, виникає потреба у перегляді існуючого методу розрахунку опору ізоляційних конструкцій задля ліквідації прогалин, котрі містяться у нинішньому варіанті розрахунку.

**Список використаних джерел:**

1. СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-82:2013 Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання.
2. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.

УДК 53, 539.21, 538.9

## МОЖЛИВІСТЬ СТВОРЕННЯ НАДПРОВІДНИХ КАБЕЛІВ ДЛЯ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НА ОСНОВІ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК

**Мінакова К.О.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

На даний час важливим питанням є розвиток технологій передачі електричної енергії та створення нових засобів передачі електричної енергії на основі сучасних матеріалів та технологій. Одним із важливіших напрямків є створення кабельно-провідникової продукції, яка відноситься до затребуваних продуктам виробничої діяльності в силу її специфічного функціонального призначення та обсягом сфери практичного використання. Кабелі та проводи застосовуються для передачі інформаційних сигналів або для здійснення електроживлення в пристроях і системах, від мікроелектроніки до електроенергетики; у виробках побутового та промислового призначення, від мобільних телефонів до міжконтинентальних транснаціональних систем передачі, тощо. Більшість технічних вимог до кабелів реалізується застосуванням новітніх матеріалів. За кілька останніх десятиріч можна виділити лише дві групи кабельної продукції, де нововведення носили принциповий характер. В першу чергу, це відноситься до кабелів, в яких для передачі інформаційних сигналів використовується оптичне волокно (кварцове і полімерне). До другої групи належать кабелі для потреб електроенергетики, в провідних елементах яких використовується ефект високотемпературної надпровідності.

Для застосування в кабельній промисловості розглядаються такі наноматеріали, як вуглецеві нанотрубки (ВНТ), нанопроводи, наногліни, нанопорошки, кераміка, полімери, що перетворюються в кераміку, зшитий поліетилен, поліамід, ПВХ, нейлон з наповнювачами, фторполімери, багатошарові стрічки. ВНТ являють собою нанорозмірні циліндричні трубки з графітованого вуглецю. Ці трубки можуть мати одну, дві стінки або багато стінок. ВНТ є найміцнішими з відомих волокон, мають унікальні електричними властивостями. Залежно від їх структури, ВНТ можуть вести себе як металевий провідник або напівпровідник. Область їх застосування обширна.

В результаті проведених розрахунків на мікроскопічному рівні фононних спектрів та основних коливальних термодинамічних характеристик лінійних ланцюжків аплікованих на поверхню деякого кристала матриці або імплантованих в його об'єм чи поверхневий шар встановлено, що починаючи з деякої початкової частоти, яка визначається внеском в матрицю самодії атома ланцюжка його слабкої взаємодії з атомами кристала матриці, коливання лінійного ланцюжка, розташованої на поверхні кристала або в його обсязі, практично не поширюються по криста-

лу – матриці і повністю локалізовані на самому ланцюжку. При частотах, вище даної початкової частоти, ні структура, ні фоновий спектр кристала матриці практично не впливають на спектральні характеристики атомів ланцюжка. В області низьких частот коливальний спектр атомів аплікованих або імплантованих лінійних ланцюжків має тривимірний характер, що обумовлює збіжність середньоквадратичних зміщень атомів ланцюжка і стійкість даних структур в деякому кінцевому температурному інтервалі. Завдяки тривимірній поведінці коливального спектра атомів аплікованих та імплантованих лінійних ланцюжків в області низьких частот, квазінеперервність цього спектра зберігається і за наявності в ланцюжку кінцевих концентрацій квазіодновимірних дефектів, таких як лінійні ланцюжки атомів інертних газів, аплікованих на поверхні кристала або впровадженого в його об'єм. Цьому відповідають, ланцюжки отверділих інертних газів, які часто використовують останнім часом в якості аплікантів на поверхні деяких твердотільних матриць.

Одновимірна поведінка фоновий спектра аплікованих або імплантованих лінійних ланцюжків починається з деякої початковою частотою помітно впливає на поведінку їх низькотемпературної фоновий теплоємності – при  $T \rightarrow 0$  є температурний інтервал, на якому температурна залежність теплоємності загасає експоненціально. Цей інтервал помітний навіть при дуже малих значеннях частоти. На Рис. 1 крива 1 (зірочки) наведені результати експерименту [1], по вимірюванні теплоємності ланцюжків ксенону, занурених у текстуровані пресуванням джугити нанотрубок; крива 2 – теплоємність адсорбованого ланцюжка, розрахована в рамках моделі, «вільного нескінченного лінійного ланцюжка» (тобто об'єкта, який реально існувати не може), крива 3 – результат нашого мікроскопічного розрахунку для цілком реалістичної стабільної моделі [2].

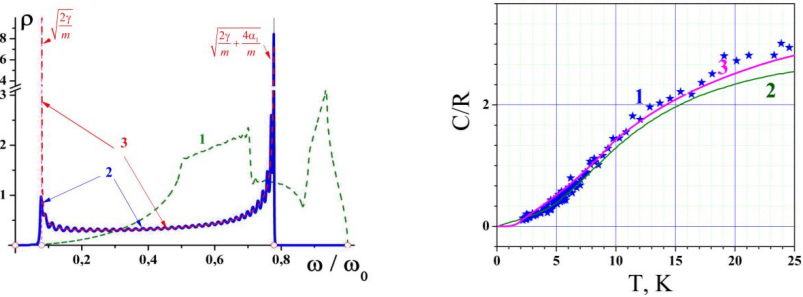


Рисунок 1 – Фоновий та спектральна густини станів кристала–матриці та зміна теплоємності вуглецевих нанотрубок після адсорбції на них атомів ксенону.

**Список використаних джерел:**

1. M.I. Bagatskii, V.G. Manzhelii, V.V. Sumarokov, M.S. Barabashko The heat capacity of nitrogen chain in grooves of single-walled carbon nanotube bundles / Low Temperature Physics. – 2013. – V. 39, №.5. –P. 202–205.

2. V. V Eremenko, A.F. Sirenko; V.A. Sirenko; A.V. Dolbin; I.A. Gospodarev; E.S. Syrkin; S.B. Feodosyev; I.S. Bondar; K.A. Minakova Role of acoustic phonons in the negative thermal expansion of layered structures and nanotubes based on them / Low Temperature Physics.– 2016. – V. 42, №.5. – P.401–410.

3. I.A. Gospodarev, V.I. Grishaev, E.V. Manzhelii, S.B. Feodosyev, E.S. Syrkin, K.A. Minakova Phonon heat capacity of graphene nanofilms and nanotubes / Low Temperature Physics. – 2017. – V. 43, №. 2. – P. 264–273.

УДК 621.315

## ВИКОРИСТАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИСТРОЇ В СИСТЕМАХ ЗАХИСТУ ТА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ

Мірось Ю.О., Рой В.Ф.

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

Впровадження мікропроцесорних пристроїв в системах захисту та керування режимами роботи електромереж дає змогу підняти на якісно новий рівень надійність та керованість систем електроенергетики. Згідно вимог щодо правил користування електроенергією (ПКЕЕ) на об'єктах електроенергетики потужністю більш, ніж 150 кВт, необхідно впроваджувати автоматизовану систему контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ). Водночас такі об'єкти, як правило, мають окремі комплексні розподільчі пункти (РП), для захисту ліній в яких використовують захисні мікропроцесорні пристрої. Найбільш широке розповсюдження отримали однокристальні багатофункціональні мікроконтролери, які використовуються, зокрема, в системах захисту, автоматики та управління приєднаннями. Аналіз можливостей таких пристроїв свідчить, що функціональні можливості однокристальних мікропроцесорів в принципі дають змогу комплексно використовувати їх одночасно як в системах захисту та керування мереж, так і в системах автоматичного обліку електроенергії, що дозволить суттєво заощаджувати кошти при розробці таких систем.

З метою оцінки можливості реалізації такого комплексного використання багатофункціонального мікропроцесорного апарату захисту, автоматизації та управління приєднаннями, проведено аналіз його функціональних параметрів на прикладі пристрою МРЗС-5 виробництва ЗАТ «Київприлад», яким обладнуються сучасні комплексні розподільчі пристрої. Для організації системи автоматичного контролю та обліку електроенергії сучасні електронні лічильники мають такі основні функціональні елементи:

- датчики струму та напруги;

- аналого-цифровий перетворювач сигналів;
- процесор для здійснення операцій;
- інтерфейси для виведення інформації.

Такі функціональні можливості мають, наприклад, електронні лічильники на базі однокристального мікропроцесора сімейства MCS-51. Завдяки використанню спеціалізованих математичних функцій облік електроенергії здійснюється безпосередньо в самому процесорі.

В свою чергу, мікропроцесорний пристрій МРЗС-05, окрім безпосередніх функцій захисту та автоматичного управління роботою електромереж, має додаткові функціональні можливості щодо здійснення обліку та контролю електричних параметрів мереж:

- контроль фазних та лінійних напруг;
- контроль трифазних струмів;
- контроль струмів нульової послідовності;
- контроль активної та реактивної напруги;
- контроль частоти напруги в мережі

Наявність цих функцій, в принципі, дає змогу реалізувати систему автоматичного контролю та обліку електроенергії в мережі, на базі однокристального процесора типу МРЗС-05, розташувавши датчики струму та напруги у відповідних точках обліку та приєднавши їх до мікропроцесора. Для обробки отриманої інформації мікропроцесорний пристрій перед введенням в експлуатацію проходить конфігурацію у відповідності до конкретних потреб. Процес конфігурації може здійснюватися за допомогою персонального комп'ютера за спеціальною програмою «Конфігуратор», наприклад, через інтерфейс RS232, а передачу даних обліку на автоматизований диспетчерський пульта здійснювати через інтерфейс RS485. Таким чином, мікропроцесорний пристрій захисту, автоматики та управління функціонально придатний для комплексного використання його в тому числі і при впровадженні системі АСКОЕ, що дозволить підвищити ефективність та заощадити значні фінансові ресурси.



УДК 621.311

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ 6-35 кВ

Мірошник О.О., Пазій В.Г.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства  
ім. Петра Василенка, Україна, м. Харків*

Повітряні лінії (ПЛ) 6-35 кВ працюють переважно в режимі ізольованої нейтралі. При однофазних коротких замиканнях (КЗ) такі лінії можуть працювати досить тривалий час аж до моменту виявлення місця пошкодження [1]. Однофазні к.з. в мережах з ізольованою нейтраллю не призводять до порушення режиму електропостачання споживачів, але при пробі ізоляції, внаслідок протікання ємнісного струму через опору, можливе її руйнування. Також при цьому виникає загроза ураження електричним струмом. Виходячи з вищесказаного випливає, що існує проблема моніторингу аварійних режимів мережі, скорочення часу пошуку й усунення к.з. з метою зниження збитку від невідповідного пуску електроенергії, і завдання збитків навколишньому середовищу.

Основна проблема в мережах з ізольованою нейтраллю це виявлення місця однофазного к.з. Це здійснюється шляхом почергового відключення приєднань та використання спеціальних фіксуючих пристроїв, що розміщуються на лінії та певним чином фіксують факт виникнення однофазного к.з. і виявляють його при обході лінії і візуальному обстеженні даних приладів електромонтерами.

Для підвищення ефективності моніторингу аварійних режимів ПЛ, зменшення часу та затрат праці на усунення аварій запропоновано систему СМРЕМ [2], що експлуатується у розподільних мережах 6-10 кВ АК Харківобленерго. Модулі СМРЕМ встановлюються на відгалуженнях, мають надійне живлення та оснащені GSM каналом зв'язку. Проте GSM-канал зв'язку має ряд недоліків та може бути успішно замінений PLC-каналом, що дозволить підвищити ефективність та знизити затрати на систему моніторингу аварійних режимів ПЛ.

### Список використаних джерел

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів – Х.: «Індустрія». 2012. – 320 с.
2. Мірошник О. О. Моніторинг навколишнього середовища на основі системи відомчих автоматизованих метеопостів в енергетиці України / О. О. Мірошник, М. М. Черемісін // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Харків: ХНТУСГ, 2005. – Вип. 37, Т. I. – С. 3–7.

УДК 621.315

## ВПЛИВ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Плешакова М.А., Рой В.Ф.

*Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова, Україна, м. Харків*

В умовах скорочення споживання електроенергії промисловими підприємствами завантаження у вузлах деяких електромереж суттєво знизилось. Так, завантаження деяких силових трансформаторів інколи не перевищувало 10-15% від номінального значення, що призводить до виникнення суттєвої від'ємної похибки у системах автоматичного контролю та обліку електроенергії і, відповідно, до значних фінансових втрат енергопостачальних компаній.

Завданням даної роботи було проведення дослідження впливу навантаження електромережі на величину від'ємної похибки, що виникає в системах обліку споживання електроенергії та пошук математичної моделі, що дозволяла б визначити та враховувати величину даної похибки у всьому діапазоні навантаження електромережі. Першоджерелом від'ємної похибки, що виникає в системах обліку електроенергії, як показує проведений аналіз, є, насамперед, первинні датчики струму та напруги, в якості яких використовують трансформатори струму та напруги. Причиною виникнення від'ємної похибки вимірювання струму є нелінійна залежність величини вторинного струму від первинного струму навантаження у всьому діапазоні роботи трансформатора, в наслідок чого виникає так звана струмова похибка, яка вимірюється у відсотках відносно номінального струму. Одночасно, завдяки виникненню фазового зсуву між векторами первинного та вторинного струму, виникає кутова похибка, яка також надає свій внесок в сумарну похибку датчика струму і вимірюється в градусах та хвилинах. Дослідження величини цих похибок проводилось у трансформаторів струму найбільш розповсюджених типів: ТПОЛ10-600/5, ТЛШ10-2000/5 та ТПШФД-10-3000/5 в діапазоні навантажень по первинному струму 1-100% номінального значення. Було встановлено, що для діапазону 1-10% від номінального струму навантаження трансформатора алгоритм визначення величини від'ємної похибки має вигляд:

$$\Delta f(\%) = 0,8428 \cdot \ln I_1 - 1,9617,$$

де  $I_1$  – первинний струм трансформатора.

Запропонована методика врахування струмової похибки трансформатора струму в автоматичних системах обліку електроенергії дає змогу об'єктивно

оцінювати об'єм електроенергії, яка відпускається споживачам та дозволить зменшити величину небалансу електроенергії по підстанціям і отримати від цього значний економічний ефект.

Експериментально встановлено, що кутова похибка, на відміну від струмової, навіть при незначних навантаженнях трансформатора досить незначна і нею можна знехтувати.

В результаті проведених досліджень з'ясувалось, також, що в діапазоні виміру первинного струму навантаження  $1\div 25\%$  струмова похибка дійсно має від'ємний знак, а із збільшенням первинного струму навантаження величина струмової похибки зменшується.

Таким чином, кількість електроенергії, що відпускається споживачам, завдяки існуванню від'ємної струмової похибки в деяких режимах навантаження електромережі, виявляється заниженою по відношенню до дійсної. Тому запропонована методика врахування струмової похибки трансформатора струму в автоматичних системах обліку електроенергії дає змогу об'єктивно оцінювати об'єм електроенергії, яка відпускається споживачам, дозволить зменшити величину небалансу електроенергії по підстанціям і отримати від цього значний економічний ефект.

УДК 620.92

## **НОВА МОДЕЛЬ ЕНЕРГОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ Й АВТОНОМНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**Потривай А.Е., Цюпа В.М.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Дане дослідження спрямоване на вивчення перспектив зміни поточної енергосистеми в сторону відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що допоможе зрозуміти доцільність і перспективність автономного забезпечення енергією комунально-побутових потреб населення міста і потреб громадських будівель. Дослідження засноване на моделях автономних систем, запропонованих в роботі Б.В. Лукутина, І.О. Муравльова і І.А. Плотникова, «Системи електропостачання з вітровими і сонячними електростанціями», в якій розглядаються різні види гібридних систем. Для стабільної роботи системи вони пропонують використовувати дизельні генератори, що є одночасно як правильним рішенням, так і проблемою.

ВДЕ мають потенціал у вирішенні глобальної проблеми забруднення навколишнього середовища, поступово виснажуючихся викопних джерел енергії та поточного хаосу в економіці. Але вони недостатньо добре показують себе на практиці. Наші дослідження спрямовані на вирішення проблеми малої ефективності і нестабільності роботи станцій на альтернативних джерелах енергії.

Під час досліджень було виявлено кілька способів підвищення ефективності даної енергосистеми. Для вирішення проблеми нерівномірного виробництва електроенергії нами була запропонована система, заснована на штучному інтелекті, яка буде відслідковувати замалу кількість або надлишок енергії в системі акумуляції і приймати рішення: передати надлишок в іншу систему або прийняти відсутню енергію від інших систем. Для достатнього забезпечення електроенергії у вечірній час, коли сонячні батареї припиняють свою роботу, нами запропоновано встановити акумуляторні блоки в підвалах житлових будинків. Данна технологія може бути реалізована навіть на сьогоднішній день, так як компанія Tesla вже випускає акумуляторні блоки на 1 мВатт, а нейромережі з кожним днем набирають все більших обертів, їх здатність миттєво реагувати на найменші зміни в системі дозволить запобігти безлічі аварій і продовжать термін служби елементів енергетичної мережі.

Для більш ефективного забезпечення, нами було запропоновано розділити промислові і житлові зони міст. Виносячи промислові потужності до річок, ми вирішуємо проблему з великими потребами заводів в електроенергії, так як ГЕС здатні виробляти досить велику кількість енергії, достатню для живлення промисловості.

На рівні будинків і дрібних споживачів, мною було запропоновано використовувати зв'язок між споживачами для підтримки одного рівня заряду у всіх пристроях. Це продовжить термін експлуатації акумуляторів, так як більшу частину часу їх заряд буде знаходитися в діапазоні від 80 до 20 відсотків і всі пристрої будуть завжди готові до роботи.

В цілому, дана модель має ієрархічну структуру і її робота виглядає так: генеруючі елементи дають певну кількість енергії в залежності від погодних умов, далі відбувається процес перерозподілу між містами і промисловими зонами, а в них відбувається перерозподіл потужності на нижчому рівні, починаючи від автомобілів і закінчуючи мобільними телефонами. Таким чином ми отримуємо збалансовану систему здатну до саморегулювання і здатну до гнучкою налаштування.

Якщо дану систему масштабувати до рівня планети, то вона виглядає ще більш перспективною, оскільки пустелі, яким зараз складно знайти застосування, стануть потужним джерелом енергії, як приклад. Великий внесок зроблять і інші ВДЕ, такі як геотермальні, гідроакумулюючі і інші. Так через нерівномірне заселеності і різний рівень розвитку промисловості домогтися балансу на світовому рівні стає простіше.

Безумовно, можна припустити, що навіть в найближчому майбутньому потужність генеруючих елементів буде мала, але вони мають вагому перевагу перед використовуваною сьогодні системою постачання. Передача по дротах має ряд недоліків, які чомусь при обговоренні ВДЕ прийнято опускати. Так найбільш очевидною проблемою є наявність втрат в металах. У запропонованій моделі генеруючі і акумулюючі системи знаходяться поруч зі споживачем, що дає можливість нехтувати втратами. Також можна буде забути про дорогі шаблі перетворення характеристик.

Висновок: запропонована нами модель дозволяє знизити значимість мінусів використання ВДЕ в енергосистемі, що робить їх гідним конкурентом традиційних способів отримання енергії, вирішує глобальні проблеми і дає новий погляд на енергетику, а поява термоядерних електростанцій, більш потужних фотоелементів і оптимізація бездротової передачі електричної енергії виведе дану систему на абсолютно новий рівень, де вона покаже свою максимальну ефективність.

#### Список використаних джерел:

1. Б.В. Лукутин, І.О. Муравльов, І.А. Плотніков "Системи електропостачання з вітровими і сонячними електростанціями" - видавництво Томського політехнічного інституту 2015

УДК 681.5

## АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕКВІВАЛЕНТНОЇ І АПРОБОВАНОЇ МОДЕЛІ ЗАЗЕМЛЮВАЧА В ДВОШАРОВІЙ ЗЕМЛІ

Римарєв Д.С., Федосєнко О.М.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Отримано і проаналізовано результати розрахунку електричного поля аналогів арматурного каркаса стійки з використанням апробованої моделі як суцільного провідного тіла, тобто без урахування бетонного шару і ґратчастої структури каркаса. При розрахунку електричного поля стійки було використано такі геометричні характеристики: діаметр стійки  $d_1 = 0,5$  м, глибина занурення в ґрунт  $h = 3$  м. Разом з тим був прийнятий широкий діапазон зміни співвідношень питомих опорів першого і другого шару  $\rho_1/\rho_2$ , а товщина верхнього шару  $h$  змінювалася дискретно. Зазначені розрахункові умови наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика електричної структури землі

Співвідношення $\rho_1/\rho_2$	Питомий опір першого шару $\rho_1$ , Ом·м	Товщина верхнього шару $h$ (м), яка приймається для кожного з співвідношень $\rho_1/\rho_2$
0,1	20	1,5; 2,75; 3,25; 4,0
1,0	20, 200	
10,0	200	

Електричне поле аналога арматурного каркаса стійки було отримано на базі вирішення крайової задачі для рівняння Лапласа в циліндричних координатах методом кінцевих різниць при розташуванні аналога арматурного каркаса залізобетонного підножника в обмеженому обсязі землі.

Для порівняння було проаналізовано еквівалентну модель заземлювача як систему прямолінійних електродів (діаметром електродів 0,014 м), що заміщають арматурний каркас залізобетонної стійки. Визначення електричних характеристик еквівалентної моделі заземлювача було отримано як для еквіпотенційного заземлювального пристрою на підставі аналітичного визначення взаємних і власних опорів елементів заземлювача з використанням методу наведеного потенціалу та знаходження струморозподілу по елементам методом потенціалу в характерній точці. Результати розрахунків представлені в табл. 2.

Зіставлення електричних характеристик еквівалентної і апробованої моделей дозволило обрати рішення заміщення арматурних каркасів залізобетонних стійок.

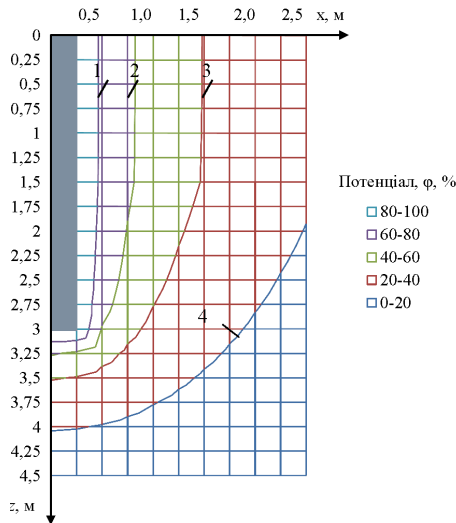


Рисунок 1 – Розподіл потенціалу поля електричного струму аналога стійки, потенціал якої прийнято рівним 100, для співвідношення  $\rho_1/\rho_2 = 0,1$  при  $\rho_1 = 20$  Ом·м і  $h = 1,5$  м; виділені еквіпотенційні поверхні: — 1 – 80 %, — 2 – 60 %, — 3 – 40 %, — 4 – 20 %

Таблиця 2 – Електричні характеристики еквівалентної моделі

Число еквівалентних електродів	Система прямолінійних електродів					Опір розтіканню, Ом
	Потенціал на поверхні землі ( $z = 0$ ) в точці з координатою $r$ , м					
	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	
2	67,0	58,9	53,6	49,7	46,6	11,4
3	74,0	65,6	59,9	55,6	52,1	10,3
4	76,5	68,3	62,6	58,2	54,7	9,6
5	79,0	70,5	63,7	59,4	55,8	9,4
6	80,2	71,8	65,9	61,3	57,5	9,2

**Список використаних джерел:**

1. Katsanou V. N. Substation grounding system resistance calculations using a FEM approach / V. N. Katsanou, G. K. Papagiannis // IEEE Bucharest Power Tech. – Bucharest. – 2009. – P. 1-6.
2. Федосеєнко Е. Н. Учет естественной проводимости растеканию тока с арматуры железобетонных стоек при расчетах сложных заземляющих устройств электроустановок с помощью совокупности вертикальных электродов / А. А. Минченко, Е. Н. Федосеєнко // Вісник НТУ «ХП». – Харків : НТУ «ХП», 2006. – №.28 – С. 97-100.

УДК № 621.311

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ АО «ХАРЬКОВОБЛЭНЕРГО»

Старков К. А.

*АО «Харьковоблэнерго», Украина, г. Харьков*

По состоянию на 1.01.18 года в эксплуатации АО «Харьковоблэнерго» на территории г. Харькова находится 5108 шт. кабельных линий (КЛ) 6-10 кВ общей протяженностью 4134 км. Большая часть из этих КЛ (2636,87 км – 63,78%) находится в эксплуатации более 30 лет, что привело к естественному ухудшению изоляции и, как следствие, выходу из работы кабельных линий.

На ухудшение состояния изоляции кабельных линий серьезно влияют перенапряжения, возникающие во время однофазных замыканий на землю, что приводит к групповым повреждениям кабельных линий. Эти перенапряжения приводят к ухудшению изоляции кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена, которые в случае повреждения не подлежат ремонту, а требуют полной замены. До

2015 г. в электрических сетях г. Харькова ежегодно повреждалось порядка 600-700 шт. КЛ 6-10 кВ. В 2016 г. объём повреждений составил 960 КЛ, а в 2017 г. - 933.

Для ввода в работу КЛ-6-10 кВ после повреждения зачастую требуется выполнение на них 2 и более ремонтов после повреждения, до ввода в работу в связи с повторными повреждениями при испытаниях высоким напряжением.

Результаты исследований, производимых в АО «Харьковоблэнерго», показали, что снизить повреждаемость КЛ, обуславливаемую рассматриваемым фактором возможно путём отказа от высоковольтных испытаний КЛ с ослабленной изоляцией при их замене на методы неразрушающего контроля. В электрических сетях АО «Харьковоблэнерго» апробированы неразрушающие методы диагностики изоляции КЛ (в частности, по форме восстанавливающегося напряжения), которые позволяют получить такой же объём информации о состоянии их изоляции как и высоковольтные испытания. Но, при этом, в отличие от высоковольтных испытаний подобная диагностика не приводит к повреждению кабеля и необходимости восстановления на нём повреждённых участков. Полезный эффект от использования методов неразрушающего контроля заключается не только в снижении повреждаемости КЛ, экономии средств на ремонты кабелей, но и в возможности определения приоритетности замены участков КЛ с ухудшенной изоляцией, в возможности увеличения доли плановых (а не аварийных) восстановительных ремонтов.

Другой причиной повреждаемости КЛ в электрических сетях 6-10 кВ является неэффективность компенсации, которая выражается в том, что при повреждении одной из КЛ, в электрической системе начинается колебательный процесс, приводящий к групповым повреждениям КЛ. Так, за три последних года в электрической сети 6-10 кВ г. Харькова произошло 496 групповых отключений по подстанциям АО «Харьковоблэнерго», при которых повредилось 967 КЛ. Как видно из статистики исключение групповых отключений уменьшило бы количество повредившихся КЛ за последние три года на 471 шт, а количество ремонтов более чем на 527.

Неэффективность систем компенсации связана с наличием в реактивной мощности таких составляющих, как реактивная мощность искажения и реактивная мощности сдвига. Причиной необходимости учёта реактивной мощности искажения при определении компенсации электрической сети является наличие высших гармоник, смещающих нейтраль. Наличие реактивной мощности искажения обусловлено тем, что ёмкость электрической сети зависит от температуры, влажности и др. физических характеристик изоляции КЛ (от которых зависит диэлектрическая проницаемость). Учёт указанных составляющих реактивной мощности существующими средствами контроля величины емкостного тока замыкания на землю, используемого для регулирования индуктивности реакторов, невозможен. По этой причине настройка реакторов осуществляется на полную величину ёмкостного тока замыкания на землю в электрической сети с изолированной нейтралью и приводит к перекомпенсации электрической сети и, следовательно,



не исключает переходных процессов при появлении однофазных замыканий на землю, которые и становятся причиной повреждения КЛ.

По этой причине наиболее эффективным способом уменьшения групповых повреждений КЛ является использование релейных защит, работающих на отключение однофазных замыканий на землю с минимальной выдержкой времени. В условиях электрических сетей АО «Харьковоблэнерго» повышение эффективности защит КЛ-6 кВ возможно достичь при использовании микропроцессорных систем мониторинга аварийных процессов «Альтра», которые планируется установить на ПС-110/6/10 кВ «Алексеевка», ПС-110/6 кВ «Ивановка» и ПС-110/6 кВ «Сокольники».

В основном режиме микропроцессорная система мониторинга аварийных процессов «Альтра» контролирует величины токов и напряжений по 16-ти аналоговым входам и при превышении уставки по напряжению нулевой последовательности  $3U_0$  анализирует фазовые соотношения между токами нулевой последовательности  $3I_0$  и напряжением нулевой последовательности  $3U_0$ . Данная система мониторинга по заданному алгоритму (из токов нулевой последовательности присоединений выбирается ток нулевой последовательности, который совпадает по направлению и напряжению нулевой последовательности) определяет повреждение присоединения и формирует сигнал на его отключение с одновременным отображением на табло номера (или названия) поврежденного присоединения и времени возникновения повреждения. При этом, определяется также и поврежденная фаза КЛ за счёт того, что напряжение на поврежденной фазе меньше, чем на неповрежденных.

Использование систем мониторинга аварийных процессов «Альтра» позволит снизить аварийную отключаемость и повреждаемость КЛ-6 кВ; затраты, связанные с поиском повреждений, ремонтами и испытаниями КЛ; недоотпуском и потерями электроэнергии; исключит необоснованные отключения потребителей при поиске «земли».

## УДК 621.314.1

### ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Стисло Б.О., Томашевський Р.С.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

Сьогодні, в умовах переходу України на інноваційний шлях розвитку, задачею спеціалістів електроенергетичної промисловості є вирішення кола задач з під-

вищення якості електричної енергії. Одним із перспективних напрямків вирішення проблем покращення якості електричної енергії є повний або частковий перехід до передачі електричної енергії на постійному струмі (ПС) з інтеграцією джерел відновлювальної енергії. Передача електричної енергії в системах ПС породжує ряд технічних задач, коло яких має бути окреслене ще до моменту її остаточного впровадження. Орієнтуючись на проблеми, що виникають в мережі електропостачання залізниці, як моделі перспективної системи електрозабезпечення ПС, можна визначити задачі, які повстануть при використанні систем ПС: просадка напруги в мережі під час пікового споживання електричної енергії нижче припустимого рівня, пульсації потужності споживання, що призводять до додаткових втрат.

Перспективним з точки зору енергоефективності шляхом вирішення зазначених проблем є використання накопичувачів електричної енергії (НЕЕ) в складі акумуляторних підсилюючих пунктів. Структура такої системи може бути різною для різних регіонів України, в залежності від наявності основного джерела енергії – газ, вугілля, наявність сонця, вітру та ін., проте, основною її частиною мають бути батареїні системи накопичення електричної енергії (БСНЕ):

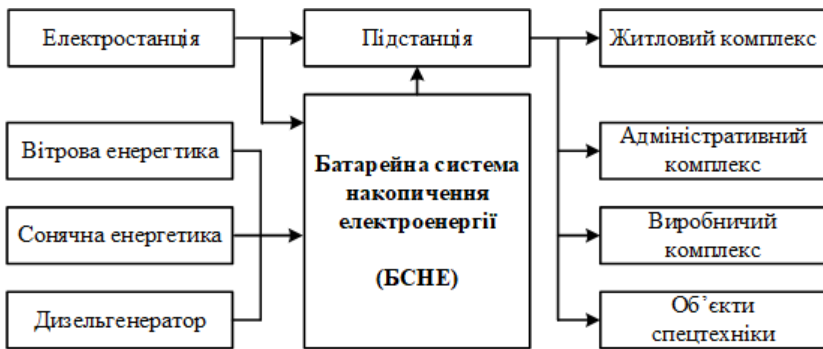


Рисунок 1 – Структура перспективних систем електропостачання

Застосування БСНЕ в системах електроживлення вимагає використання спеціалізованих енергоефективних перетворювачів електричної енергії: узгоджуючих – що забезпечують зв'язок між БСНЕ та мережею; сервісних – що забезпечують безпечний режим роботи накопичувачів (вирівнювання рівнів на-пруги на послідовно з'єднаних акумуляторах, контроль за дотриманням граничних значень рівнів напруги на кожному з акумуляторів БСНЕ).

Сучасні акумуляторні батареї для систем електричного живлення використовуються у вигляді стеків, що складаються з послідовно-паралельного з'єднання одиничних НЕЕ. Під час їх експлуатації виникає проблема нерівномірного розряду або заряду. Для вирівнювання рівнів напруги використовуються спеціалізовані сервісні перетворювачі – балансири. Існуючі типи балансирів можуть бути розділені на

два класи: пасивні та активні. На підставі проведеного аналізу електромагнітних процесів, що протікають при балансуванні накопичувачів, обґрунтована раціональність застосування трансформаторних схем активного балансування. Використання засобів сучасної електронної техніки та впровадження нових алгоритмів роботи перетворювачів даного класу дозволяють підвищити ефективність роботи систем балансування.

Специфіка роботи узгоджувачів перетворювачів полягає в необхідності забезпечення режиму двостороннього потоку енергії між мережею ПС і БСНЕ при незмінному знаку напруги на сторонах конвертора та обмеження струму при передачі енергії в обох напрямках. Серед існуючих схемних рішень перетворювачів постійної напруги в постійну, традиційною є структура, що має проміжну ланку підвищеної частоти. Вона складається із інвертора, виконаного на керованих силових напівпровідникових ключах та некерованого випрямляча. Інвертор та випрямляч розділені між собою трансформатором для здійснення гальванічної розв'язки та узгодження рівнів напруги первинної та вторинної ланок. Широко розповсюдженим алгоритмом керування ключами інвертора в таких випадках є алгоритм широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), що дозволяє за рахунок зміни відносної тривалості ввімкненого стану СНК змінювати середнє значення вихідної напруги. При величині вхідної напруги до 400 В у якості СНК первинної ланки використовуються польові транзистори з ізольованим затвором (MOSFET), а при напругах від 400 В і вище – біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT). Проте, при використанні таких схемних рішень відбувається примусова комутація керованих СНК первинної ланки, що супроводжується підвищенням потужності динамічних втрат цих СНК, особливо при підвищених частотах ШІМ. Таким чином, стає актуальною задача мінімізації комутаційних втрат в силових ключах перетворювачів. Перетворювачі, що реалізують алгоритм розділеної комутації [2], дозволяють суттєво зменшити комутаційні втрати в силових ключах.

Таким чином, розробка та синтез спеціалізованих алгоритмів роботи енергоефективних перетворювачів електричної енергії, що працюють в системах з НЕЕ є актуальною науково-практичною задачею і потребує детальних досліджень.

### Список використаних джерел:

1. Замаруєв В.В. Покращення якості електричної енергії в системі електроживлення залізничного транспорту шляхом застосування накопичувачів електричної енергії / Замаруєв В.В., Стислю Б.О., Косарев С.М. // Вісник НТУ «ХП».
2. Ivakhno V. Bidirectional isolated ZVS DC-DC converter with auxiliary active switch for high-power energy storage applications / V. Ivakhno, V. Zamaruev, B. Styslo // IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kyiv.

УДК 621 315

## ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ПАРАМЕТРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Черкашина В.В.**

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
Україна, м. Харків*

При виборі пріоритетного напрямку проектування повітряних ліній (ПЛ) серед її технічних характеристик закладаються і граничні рівні положення проводів відносно землі. Подовження проводів призводить до так званої термічної деградації, коли за метеорологічних умов рівень максимально допустимих струмів ПЛ різко змінюється, що відображається на процесі транспортування та розподілення електроенергії й веде до зростання числа аварійних випадків. Тому для підвищення рівня енергоефективності електроенергетичних систем важливою є інформація про метеорологічні дані в районі майбутньої експлуатації ПЛ [1 - 3].

Для реалізації цього потрібно при проектуванні враховувати оснащення ПЛ системою моніторингу поточного контролю ліній, яка використовуватиме інформацію про параметри навколишнього середовища [2].

Така система повинна виконувати наступні функції:

1. Функція збору і обробки даних :
  - опитування датчиків із заданою частотою, первинна обробка вимірних значень;
  - формування пакетів даних, що включають вимірні параметри, діагностичні дані і службову інформацію (налаштування, уставки і тому подібне);
  - передача даних у відкритому протоколі, який є актуальним.
2. Функція первинної і технологічної обробки параметрів:
  - прийом;
  - масштабування;
  - достовіризація даних за критеріями справності апаратури збору і передачі даних;
  - контроль коду на відповідність фізичним межах;
  - контроль за швидкістю зміни;
  - контроль по технологічних межах;
  - розрахунок статистичних характеристик;
  - згладжування;
  - фільтрація із застосуванням нерекурсивних і рекурсивних цифрових фільтрів, згладжування;
  - дорахунок параметрів по заданих формулах (має бути забезпечена можливість завдання довільної формули дорозрахунку);
  - інтеграція;
  - визначення мінімумів і максимумів на заданих інтервалах часу, в тому числі й

добових;

3. Функція представлення поточної і ретроспективної інформації в інтерфейсі користувача:

- у вигляді мнемосимволів і цифрових індикаторів на мнемосхемах підстанцій, електромережі, поопорних схемах ПЛ і карті місцевості;
- таблиць, графіків і діаграм (включаючи діаграми G- Подій і V- подій).

4. Функція генерації тривог і тривожних повідомлень:

- генерація тривоги при перевищенні параметрами допустимих значень(тривожних уставок);
- індикація тривог і тривожних повідомлень в інтерфейсі користувача;
- квіттування тривог;
- протоколювання подій генерації і квіттування тривог.

5. Функція ведення архіву параметрів:

- запис параметрів в реляційну базу даних (включаючи первинний архів, годинні, добові і річні параметри);
- зберігання даних впродовж заданого періоду часу, експорт даних на зовнішні носії інформації і чищення архівів;
- надання користувачам доступу до відповідних даних і захист від несанкціонованого доступу.

6. Функція міжсистемного обміну даними:

- прийом і передача даних у вигляді демасштабованих мічених макетів і файлів по каналам телемеханіки, електронною поштою і у вигляді FTP- протоколу між підстанціями, АСДУ МЕС, АСДУ енергосистем, НДЦ України, а також з облэнерго і проектною організацією;
- можливість обміну даними з державними і відомчими інформаційними системами [2, 3].

Таким чином, оснащення ПЛ системою моніторингу поточного контролю ліній з використання інформації про параметри навколишнього середовища для керування процесом транспортування та розподілення електроенергії в реальному часі дозволить підвищити рівень енергоефективності електроенергетичних систем.

### Список використаних джерел:

1. Добровольська Л.Н. Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах / Добровольська Л.Н., Бондаренко В.О., В.В. Черкашина та ін. – Монографія –Луцьк: ЛНТУ, 2017 – 268 с.
2. Титов Н.Н. Формирование ведомственной системы сбора метеоданных в условиях эффективного оптового рынка электроэнергии / Н.Н. Титов, М.С. Доценко, С.И. Доценко, Н.М. Черемисин, П.Д. Лежнюк // Праці інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонній контрактів і балансууючого ринку. – 2009. – С. 41–48.
3. Лежнюк П.Д. Повышение эффективности управления режимами электрических сетей на базе мониторинга параметров воздушных линий и окружающей среды / П.Д. Лежнюк, Н.М. Черемисин, Ю.Ф. Редько, А.А. Мирошник, В.В.Черкашина // Электрические сети и системы. - Київ: ТОВ "Тнозіс"– 2012. – №5. – С. 39-46.

УДК 621.314

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ГАЗСОДЕРЖАНИЯ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Шутенко О.В.

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», Украина, г. Харьков*

В работе приведены результаты анализа газосодержания для 906 единиц оборудования, в котором выявлены электрические разряды с разной степенью интенсивности. Проанализированы такие дефекты как: образование X-воска, частичные разряды низкой и высокой энергии, искровые и ползучие разряды, а также разряды с низкой и высокой плотностью энергии.

Для каждой единицы оборудования выполнялся расчет отношений газов, которые рекомендуются международными и национальными методиками для распознавания типа дефекта. Анализировались следующие отношения газов  $\text{CH}_4/\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_6$  и  $\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$ . Далее для каждой единицы оборудования определялось процентное содержание газов в пробах масла, и строились графические образы дефектов. Кроме того выполнялась диагностика оборудования с использованием треугольника Дюваля.

По результатам анализа установлено, что при развитии дефектов, содержание газов в маслonaполненном оборудовании, а, следовательно, и значения критериев, используемых для распознавания типа дефекта, для дефекта одного и того же типа, может существенно отличаться. Для устранения данного недостатка выделено 40 разновидностей дефектов электрического типа, которые отличаются как содержанием газов, так и значениями отношений газов, а также их графическими отображениями.

Полученные результаты показывают, что значения отношений газов, для некоторых разновидностей дефектов могут принимать значения, одновременно соответствующие разным дефектам, что значительно затрудняет процесс их распознавания, и может привести к постановке ошибочного диагноза. Графические образы, построенные по результатам АРГ оборудования с дефектом одного типа (ч.р., разряды низкой и высокой энергии) могут существенно отличаться как друг от друга, так и от образов, регламентируемых действующими стандартами.

Приведенные диапазоны значений отношений газов, диапазоны процентного содержания газов, а также построенные графические образы позволят повысить достоверность распознавания типа дефектов маслonaполненного оборудования, по результатам анализа растворенных в масле газов.

Наукове видання

## ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

II Всеукраїнської науково-технічної конференції  
«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА  
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЕЕES-2018)»

Відповідальний за випуск: Довгалюк О. М.

Комп'ютерна верстка: Власова Ю. Ф.

Підписано до друку 29.11.2018. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Друк цифровий.  
Умов. друк. арк. 5,93. Наклад 100 прим. Зам. № 336.



Видавець та виготовлювач  
ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»  
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11  
Тел.: (057) 756-53-25  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
Серія ДК № 4399 від 27.08.2012 р.  
[www.madrid.in.ua](http://www.madrid.in.ua) e-mail: [info@madrid.in.ua](mailto:info@madrid.in.ua)



