

УДК 621.311.1: 621.316.37

П.Г. ПЛЄШКОВ, О.І. СІРІКОВ, А.І. КОТИШ

## РАДІОФІКСАТОР КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ ДЛЯ ПОВІТРЯНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 110 – 150 кВ

Запропоновано на базі розробленого пристрою електромеханічного фіксатора короткого замикання для повітряних мереж напругою 110-150 кВ запровадження радіоканала для передачі інформації про стан мережі до чергового персоналу

**Ключові слова:** повітряна лінія електропередач, коротке замикання, фіксатор, електрична мережа.

Предложено на базе разработанного устройства электромеханического фиксатора короткого замыкания для воздушных сетей напряжением 110-150 кВ применение радиоканала для передачи информации о состоянии сети дежурному персоналу

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередачи, короткое замыкание, фиксатор, электрическая сеть.

The article is dedicated to improving reliability of electric networks with voltage 110-150 kV by application developed special devices latch short circuit. It is proposed on the basis of the developed device of an electromechanical short-circuit breaker for air networks with a voltage of 110-150 kV, the use of a radio channel for transmitting information about the status of the network to duty personnel

**Keywords:** air power line, short circuit, lock, electrical network.

**Вступ.** Найбільш складною, а як правило й найбільш тривалою технологічною операцією по встановленню пошкодженої частини мережі є визначення місця пошкодження (ВМП). Це повсякденна оперативна задача диспетчерських служб електричних мереж та систем. В мережах середньої напруги електричної системи річна кількість пошкоджень складає сотні, а в абонентських мережах, що живляться від них – тисячі випадків [1]. Витрати на ВМП складають значну частину експлуатаційних коштів в електричних мережах, в той час як доля витрат на пристрої для ВМП в загальних капітальних витратах відносно мала.

В теперішній час розроблено різні типи фіксуєчих пристроїв, ряд з котрих успішно експлуатується. Так наприклад широке запровадження знайшли пристрої типу ФІП (ФІП-1, ФІП-2, ФІП-Ф), ЛИФП та інші. Враховуючи, що фіксуєчі прилади забезпечують автоматичний вимір і фіксацію електричних величин під час короткого замикання, вони повинні задовольняти певним вимогам, зокрема наступним: вимір необхідно закінчити до початку відключення пошкоджених ділянок лінії від релейного захисту, тобто протягом порядку 0,1 с, прилад повинен зберігати значення зафіксованої електричної величини протягом часу, достатнього для прибуття на підстанцію (без постійного чергування) оперативної виїзної бригади, тобто не менше 4 годин, повинен передбачатися автоматичний селективний запуск приладів, щоб контрольована величина була зафіксована лише при аварійних відключеннях ліній, прилад повинен забезпечувати певну точність виміру (зазвичай відносно похибка виміру не повинна перевищувати 5 %) і так далі.

Тобто для виявлення та пошуку місця короткого замикання (КЗ) потрібен цілий комплекс пристроїв, в котрі повинні входити: релейний захист для фіксації пошкоджень і відключення пошкодженої зони; пристрої дистанційного вимірювання для локалізації зони пошуку в межах виділеної ділянки та інші. Та навіть вони, в лініях з великою кількістю довгих відгалужень (рис. 1), не в змозі вказати на конкретне відгалуження з місцем КЗ.

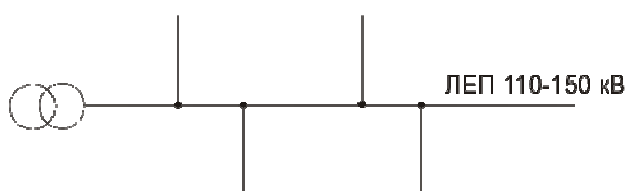


Рис. 1 – Схема лінії електропередач з відгалуженнями

Щоб визначити дійсне місце КЗ, слід додатково встановлювати на відгалуженнях фіксатори короткого замикання (ФКЗ), що призведе до підвищення ефективності пошуку місця КЗ.

**Основна частина.** Зазначені ФКЗ існують, пройшли виробничі випробування і досить успішно експлуатуються в електричних мережах ПрАТ «Кіровоградобленерго». Вони прості і зручні в експлуатації, їх конструктивні особливості та технічні характеристики висвітлені в роботах [2, 3]. Однак данні пристрої мають суттєвий недолік. Інформація про стан мережі не передається на диспетчерський пункт або черговому персоналу підстанції. Це в свою чергу призводить до того, що оперативно-виїзна бригада (ОВБ) спочатку об'їжджає встановлені ФКЗ і шукає відгалуження на якому сталося КЗ. Наявність передачі інформації до диспетчерського пункту або чергового персоналу підстанції про відгалуження на якому сталося КЗ дозволить відправити бригаду ОВБ одразу до пошкодженого відгалуження, що в свою чергу зменшить час, а також транспортні витрати на пошук пошкодження.

Авторами статті запропоновано запровадження радіоканалу для передачі інформації про стан мережі від ФКЗ до чергового персоналу підстанції. Радіоканал можливо реалізувати двома шляхами: з використанням GSM мереж або з використанням прийомо-передавачів неліцензійних частот, наприклад, діапазону 433/868 МГц. Розглянемо переваги та недоліки кожного способу організації радіоканалу.

**1. Використання GSM модемів.** Даний спосіб організації радіоканалу, при наявності покриття в місці установки ФКЗ, достатньо простий. Він не потребує особливої уваги при проектуванні до прийомо-передавальної апаратури. Так, наприклад, можливо використати готовий радіомодуль – GSM модем. В той же час даний спосіб реалізації радіоканалу має ряд суттєвих недоліків. По перше, забезпечити живлення GSM модему технічно достатньо складно. Якщо модем буде постійно включений живлення можна здійснити або з використанням ємнісних дільників напруги, або трансформаторів напруги, або з використанням сонячних панелів з накопиченням енергії в акумуляторній батареї, що значно підвищить вартість пристрою та поставить доцільність його

використання під сумнів. Включення модему короткочасно, лише для передачі інформації, потребуватиме великої кількості енергії, адже лише на реєстрацію в мережі GSM потрібно  $\approx 15$  с при роботі передавача з потужністю 1-3 Вт. Це в свою чергу, вимагатиме використання акумуляторів для живлення GSM модему при передачі. Наявність акумуляторів в будь-якому способі живлення модему передбачає їх заміну через 5-7 років, що також ускладнює експлуатацію пристрою ФКЗ. По друге, використання GSM модему передбачає наявність SIM карти номеру мобільного оператора, яку необхідно оплачувати за певним тарифним планом.

2. Використання прийомо-передавачів неліцензійних частот. Даний спосіб організації радіоканалу більш складний, адже потребуватиме при проектуванні приділяти увагу розробці радіолінії, тобто вибору неліцензованої частоти, вибору антен, вибору потужності передавачів, врахування дальності та характеру місцевості між приймачем та передавачем і т.д. Але суттєвою перевагою даного способу передачі інформації є невелика кількість енергії, яку необхідно для короткочасної роботи передавача, що дозволяє забезпечити живлення передавача магнітним полем проводу від робочого струму або струму КЗ з накопиченням її в іоністорі або електролітичному конденсаторі. Такий спосіб накопичення енергії забезпечить тривалий термін експлуатації до 20 років та не потребуватиме обслуговування. Також використання неліцензійних частот не передбачає постійних грошових витрат.

При виборі радіоканалу в ПрАТ «Кіровоградобленерго» надали перевагу використанню прийомо-передавачів неліцензійних частот, посиляючись на недостатню надійність передачі даних в мережі GSM, хоча, на нашу думку, використання прийомо-передавачів неліцензійних частот має меншу надійність і потребуватиме вирішенню питання завадозахищеності даних на етапі проектування.

Основна задача запропонованого радіофіксатора КЗ полягає в контролі струму проводу повітряної лінії електропередачі і при перевищенні його наперед заданої величини (відстроювання від робочих та пускових струмів) передача інформації по радіоканалу про факт КЗ. Радіофіксатор встановлюється в місці відгалуження повітряної лінії електропередачі (ПЛЕ), а приймач на найближчій підстанції з оперативним персоналом. Мінімальні відстані від місця установки ФКЗ до підстанцій з оперативним персоналом за даними ПрАТ «Кіровоградобленерго» наведено в табл. 1. З аналізу табл. 1 можливо зробити висновок, що відстань для передачі відносно невелика до 20 км.

Таблиця 1 – Відстані від ФКЗ до п/ст 150 кВ з оперативним персоналом.

Назва підстанції	$L, \text{ км}$
Центральная	6,6
Березовка	16,7
Геолог	13,3
Жилпоселок	1,7
Кварцит-330	2,4
Знамянка-тяговая (Шаровка)	14,2
Знамянка-тяговая (Орбита)	7,5
ЗЧМ	12,0
Максимальна відстань	16,7
Мінімальна відстань	1,7

Більшість діапазонів не ліцензованих частот знаходиться в області ультракороткохвильового (УКХ) діапазону 26,957–27,283 МГц (10 мВт), 433,075–434,79 МГц (10 мВт), 864–865 МГц (25 мВт), 868,7–869,2 МГц (25 мВт). Особливістю УКХ діапазону є прямолінійне поширення радіохвиль у межах прямої видимості (рис. 2).

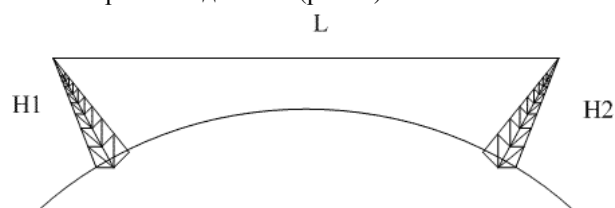


Рис. 2 – Пряма видимість на радіолінії

Орієнтовно, з урахуванням рефракції радіохвиль в УКХ діапазоні, дальність прямої видимості в кілометрах  $L$  визначається як [4]:

$$L(\text{км}) = 4,12 \left( \sqrt{H1(\text{м})} + \sqrt{H2(\text{м})} \right), \quad (1)$$

де  $H1, H2$  – відповідно висота приймальної та передавальної вишок.

Враховуючи, що ФКЗ розташовується на проводі ПЛЕ, а мінімальна висота підвісу проводу над землею згідно ПУЕ на напругу 150 кВ складає 6 м, то це значення приймемо, як розрахункове.

З (1) шляхом перетворень отримаємо

$$H1(\text{м}) = \left( \frac{L(\text{км})}{4,12} - \sqrt{H2(\text{м})} \right)^2. \quad (2)$$

Отже, мінімальна висота вишки приймальної станції

$$H1(\text{м}) = \left( \frac{16,7}{4,12} - \sqrt{6} \right)^2 = 2,57 \text{ м.}$$

При виборі модулів для створення радіоканалу необхідно користувалися наступними умовами:

- 1) використання не ліцензованих частот;
- 2) частотна модуляція, як така що більше завадозахищена;
- 3) враховуючи, що передача даних відбуватиметься лише в одному напрямку приймач та передавач може бути окремими модулями.

Як приклад, в табл. 2 наведені загальні технічні характеристики комплексу модулів передавача та приймача, а також антен до них.

Таблиця 2 – Паспортні технічні характеристики елементів радіоканалу

Потужність передавача НМ-Т433, dBm	7
Чутливість приймача НМ-Р433, dBm	-100
Коефіцієнт підсилення антени передавача ANT 433 ВУ-433-03, dBi	2
Коефіцієнт підсилення антени приймача ANT 433 ВУ-433-05, dBi	2,14

Розрахуємо максимальну теоретичну відстань роботи радіоканалу. Для цього скористаємося відомою формулою визначення потужності сигналу на вході радіоприймального пристрою [4]:

$$P_{\text{прм}}(\text{Вт}) = \frac{P_{\text{прд}}(\text{Вт}) G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2}{(4\pi r)^2}, \quad (3)$$

де  $P_{\text{прм}}$  – потужність сигналу на вході радіоприймача;  
 $P_{\text{прд}}$  – потужність сигналу на виході радіопередавача;  
 $\lambda$  – довжина хвилі радіосигналу;  
 $r$  – відстань між приймачем і передавачем;  
 $G_{\text{прд}}$  – коефіцієнт підсилення антени радіопередавача (в разях);  
 $G_{\text{прм}}$  – коефіцієнт підсилення антени радіоприймача (в разях)

Слід зазначити, що в системах зв'язку потужність сигналу вимірюється в дБм. Це відношення абсолютного значення потужності сигналу, вираженого в ватах, до потужності сигналу 1 мВт.

$$P_{\text{вих}}(\text{дБм}) = 10 \lg \frac{P_{\text{вих}}(\text{Вт})}{0,001}, \quad (4)$$

Або для зворотного перетворення

$$P_{\text{вих}}(\text{Вт}) = 0,001 \cdot 10^{\frac{P_{\text{вих}}(\text{дБм})}{10}}. \quad (5)$$

Для переведення коефіцієнта підсилення антен у рази скористаємося наступною формулою

$$m = \cdot 10^{\frac{n}{20}}, \quad (6)$$

де  $m$  – відношення в разях;

$n$  – відношення в дБі.

Скориставшись формулами (5) та (6) переведемо технічні характеристики наведені в табл. 2 до не логарифмічних одиниць. Результати розрахунку наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Переведені технічні характеристики елементів радіоканалу.

Потужність передавача НМ-Т433, Вт	0,005
Чутливість приймача НМ-Р433, Вт	$1 \cdot 10^{-13}$
Коефіцієнт підсилення антени передавача АНТ 433 ВУ-433-03, разів	1,58
Коефіцієнт підсилення антени приймача АНТ 433 ВУ-433-05, разів	1,63

Виразивши з (3) відстань між передавачем та приймачем  $r$  отримаємо

$$r = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{прд}}(\text{Вт}) G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2}{P_{\text{прм}}(\text{Вт})}}, \quad (7)$$

Довжина хвилі для частоти 433 МГц складає  $\lambda = 0,692$  м.

Остаточно підставивши всі дані в (7) отримаємо

$$r = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{0,005 \cdot 1,58 \cdot 1,63 \cdot 0,692^2}{1 \cdot 10^{-13}}} = 19760 \text{ м.}$$

Отже, отриманої теоретичної дальності передачі достатньо аби забезпечити передавання даних на максимальну необхідну відстань в 16,7 км (табл. 1).

Даний розрахунок є наближеним, він не враховує послаблення сигналу при проходженні крізь перешкоди на місцевості. Для визначення можливості передачі необхідно проводити дослідження на місцевості. В той же час є можливість збільшення потужності передавача до дозволеної величини в 25 мВт та використання направлених антен для передачі та прийому.

**Принцип роботи передавача ФКЗ.** Струм короткого замкнення наводить в котушці Роговського

Е.Р.С., яке потім з допомогою діодного моста випрямляється, стабілізується на певному рівні та заряджає іоністор або електролітичний конденсатор. При появі напруги живлення мікроконтролер ініціалізується, та через певний час передає радіомодулю код пристрою ФКЗ.

Враховуючи, що в мережі 150 кВ можуть виникати однофазні короткі замкнення то пристрій ФКЗ потрібно встановлювати в кожній фазі. Для того щоб при передачі вони не заважали один одному, запропоновано рознести передачу у часі. Витримка у часі запропонована наступна

Фаза А	0 с;
Фаза В	0,2 с;
Фаза С	0,4 с.

В якості джерела живлення передавача запропоновано використати конденсатор великої ємності, що пояснюється великим терміном служби (до 20 років) та швидкістю заряджання (мілісекунди) на відміну від звичайних акумуляторів. При роботі конденсатор повинен забезпечити струмом модуль передавача та мікроконтролер. Отже струм, що споживається від конденсатора

$$I_{\text{жив}} = I_{\text{р.м.}} + I_{\text{мк}},$$

де  $I_{\text{р.м.}}$  – струм, що споживається радіомодулем;

$I_{\text{мк}}$  – струм, що споживається мікроконтролером.

Електричний заряд, що має віддати конденсатор живлення

$$q_{\text{жив}} = I_{\text{мк}} \cdot t_0 + I_{\text{жив}} \cdot t_{\text{п}},$$

де  $t_0$  – час очікування мікроконтролера до початку передачі сигналу;

$t_{\text{п}}$  – час живлення при передачі.

Ємність конденсатора живлення можна знайти за наступною формулою:

$$C = \frac{q_{\text{жив}}}{U_{\text{поч}} - U_{\text{кін}}} \text{ Ф,}$$

де  $U_{\text{поч}}$ ,  $U_{\text{кін}}$  – відповідно початкове та кінцеве значення напруги на конденсаторі живлення.

Орієнтовний розрахунок ємності конденсатора живлення при  $I_{\text{р.м.}} = 60$  мА,  $I_{\text{мк}} = 15$  мА,  $t_0 = 0,4$  с, (час прийнято для пристрою ФКЗ, що знаходиться у фазі С),  $t_{\text{п}} = 0,2$  с,  $U_{\text{поч}} = 5$  В,  $U_{\text{кін}} = 4$  В, складає 0,021 Ф. Отже, можна обирати стандартний конденсатор з ємністю 22000 мкФ, на робочу напругу 6,3 В.

В якості джерела живлення передавача ФКЗ та одночасно і датчика струму КЗ нами запропоновано використати котушку Роговського. Перевагою її є те, що її відносно легко виготовити та при монтажі безпосередньо на провід повітряної лінії електропередачі непотрібно створювати розриву проводу.

**Принцип роботи приймача ФКЗ.** Приймач ФКЗ знаходиться постійно у включеному стані і очікує прийому радіосигналу від передавача ФКЗ. При виникненні короткого замкнення передавач ФКЗ надсилає код пристрою, або декількох пристроїв ФКЗ в залежності від типу короткого замкнення. Модуль приймача передає отримані дані до виводу мікроконтролера в якому відбувається обробка отриманого сигналу. Після цього мікроконтролер на

дисплеї відобразить відповідну інформацію про місце та тип КЗ.

**Висновки.** Запровадження запропоновано радіоканалу для передачі інформації про стан мережі від ФКЗ до чергового персоналу підстанції дозволить зменшити час, а також транспортні витрати на пошук пошкодження. Проведені орієнтовні розрахунки, що підтверджують можливість створення радіоканалу для передачі інформації від ФКЗ на відстань до 20 км, з використанням прийомо-передавачів не ліцензійних частот (433 МГц). Для врахування послаблення радіосигналу при проходженні крізь перешкоди необхідно проводити досліди в умовах конкретної місцевості.

#### Список літератури

1. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.
2. Плешков П. Г. Розробка фіксатора коротких замикань для повітряних ліній електропередач напругою 110-150 кВ / П. Г. Плешков, А. І. Котиш, О. І. Сіріков // Вісник НТУ «ХПІ» – 2015. – № 42. – С. 8–11.
3. Котиш А. І. Розробка та експериментальне дослідження фіксатора коротких замикань для повітряних електричних мереж напругою 110-150 кВ / А. І. Котиш, П. Г. Плешков, А. Ю. Орлович, О. І. Сіріков, А. В. Некрасов // Збірник наукових праць Кірово-

градського Національного технічного університету / Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація – Випуск 29 – 2016. – С. 228–235.

4. Выходная мощность сигнала передатчика: [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://digteh.ru/UGFSvSPS/power/> (дата звернення: 11.02.2015). – Назва з екрану.

#### References (transliterated)

1. Shalyt G. M. Opredelenie mest povrezhdeniya v jelektricheskikh setjah. – M.: Jenergoizdat, 1982. – 312 s.
2. Pljeshkov P. Gh. Rozrobka fiksatora korotkykh zamykanj dlja povitrynykh linij elektroperedach naprughoju 110-150 kV. P.Gh. Pljeshkov, A. I. Kotysh, O. I. Sirikov. Visnyk NTU «KhPI» – 2015. – No 42. – S. 8–11.
3. Kotysh A. I. Rozrobka ta eksperymentaljne doslidzhennja fiksatora korotkykh zamykanj dlja povitrynykh elektrychnykh merezh naprughoju 110-150 kV. A. I. Kotysh, P. Gh. Pljeshkov, A. Ju. Orlovych, O. I. Sirikov, A. V. Nekrasov. Zbirnyk naukovykh pracj Kirovohradsjkogho Nacionaljnogho tekhnichnogho universytetu. Tekhnika v s/gh vyrobnyctvi, ghaluzeve mashynobuduvannja, avtomatyzacija – Vypusk 29 – 2016. – S. 228–235.
4. Vyhodnaja moshhnost' signala peredatchika: [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://digteh.ru/UGFSvSPS/power/> (data zvernennja: 11.02.2015). – Nazva z ekranu.

Поступила (received) 11.09.2017

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Радіофіксатор коротких замикань для повітряних електричних мереж напругою 110-150 кВ / П. Г. Плешков, О. І. Сіріков, А. І. Котиш // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 34 (1256). – С. 62-65. – Бібліогр.: 4 назви. – ISSN 2079-3944.**

**Радиофиксатор коротких замыканий для воздушных электрических сетей напряжением 110-150 кВ / П. Г. Плешков, А. И. Сириков, А. И. Котыш // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 34 (1256). – С. 62-65. – Бібліогр.: 4 назви. – ISSN 2079-3944.**

**Short circuit radio fuses for 110-150 kV overhead electrical power networks / P. H. Pleshkov, O. I. Sirikov, A. I. Kotysh // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of the supply of electric machines and equipment. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 34 (1256). – P. 62-65. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-3944.**

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

**Плешков Петро Григорович** – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри “Електротехнічних систем та енергетичного менеджменту” Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький; тел.: (0522) 390-409.

**Плешков Петр Григорьевич** – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехнических систем и энергетического менеджмента», Центральноукраинского национального технического университета г. Кропивницкий; тел.: (0522) 390-409.

**Pleshkov Petro Hryhorovych** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Full Professor, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky; Head at the Department of «Electrical Engineering Systems and Energy Management» tel.: (0522) 390-409.

**Сіріков Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, кафедри “Електротехнічних систем та енергетичного менеджменту” Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький; тел.: (0522) 390-461; e-mail: asirikov@i.ua.

**Сириков Александр Иванович** – кандидат технических наук, доцент, кафедры «Электротехнических систем и энергетического менеджмента», Центральноукраинского национального технического университета г. Кропивницкий; тел.: (0522) 390-461; e-mail: asirikov@i.ua.

**Sirikov Oleksandr Ivanovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Docent, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky; Associate Professor at the Department of «Electrical Engineering Systems and Energy Management» tel.: (0522) 390-461; e-mail: asirikov@i.ua.

**Котиш Андрій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, заступник завідувача кафедри “Електротехнічних систем та енергетичного менеджменту” Центральноукраїнського національного технічного університету, м. Кропивницький; тел.: (0522) 390-461; e-mail: akotysh@gmail.com.

**Котыш Андрей Иванович** – кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Электротехнических систем и энергетического менеджмента», Центральноукраинского национального технического университета г. Кропивницкий; тел.: (0522) 390-461; e-mail: akotysh@gmail.com.

**Kotysh Andrii Ivanovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Docent, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky; Vice Head at the Department of «Electrical Engineering Systems and Energy Management» tel.: (0522) 390-461; e-mail: akotysh@gmail.com.