

**БОЙКО СЕРГІЙ**

Національного університету «Запорізька політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9778-2202>e-mail: [kafedra\\_tt@zp.edu.ua](mailto:kafedra_tt@zp.edu.ua)**ВИШНЕВСЬКИЙ СВЯТОСЛАВ**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2159-603X>e-mail: [vyshnevskyj.s.y@vntu.edu.ua](mailto:vyshnevskyj.s.y@vntu.edu.ua)**ПОЛІЩУК ПЕТРО**

Криворізький національний університет

<https://orcid.org/0009-0004-6545-9944>e-mail: [bsn1987@i.ua](mailto:bsn1987@i.ua)**СОБЧУК НАТАЛІЯ**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6253-8816>e-mail: [natashasobchuk37@gmail.com](mailto:natashasobchuk37@gmail.com)**РЕУТА АЛЛА**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

e-mail: [reutaalla@gmail.com](mailto:reutaalla@gmail.com)

## АСПЕКТИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АвіАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Авіаційна галузь є складовою транспортної структури будь-якої розвинутої держави. В Україні, з посеред інших видів транспорту, достойне місце до збройного протистояння займав авіаційний транспорт. Безумовно, наступить час і подальше відновлення авіаційного транспорту в Україні неминуче. Активний розвиток на сьогодні також мають безпілотні літальні апарати, котрі стали незамінними складовими розвідувальних операцій. Основним фактором забезпечення функціонування авіаційних підприємств є електроенергопостачання. Безумовно, системи електропостачання авіаційних підприємств виконані з подвійним резервуванням, між тим, як показує світовий та вітчизняний досвід, на сьогоднішній день залишається необхідність підвищення рівня надійності систем електропостачання авіаційних підприємств. Тож, залишається актуальною задача впровадження додаткових генеруючих потужностей в системи електропостачання авіаційних підприємств. Перевагами впровадження запропонованої схеми електропостачання авіаційних підприємств з використанням розосереджених джерел електричної енергії є: блочність будови системи, котра складається з типових електротехнологічних пристроїв, що дає можливість відносно швидко забезпечити електропостачання відповідальних споживачів електричної енергії, та дає можливість перспективного нарощування потужностей генерування. Між тим, на сьогоднішні перспективними є накопичувачі електричної енергії на базі водневих технологій, серед яких слід виокремити паливні комірки. Не останню роль відіграє безпека експлуатації паливних комірок в умовах авіаційних підприємств, що підтримує авіаційну безпеку на достатньому рівні. У статті висвітлено запропоноване авторами бачення щодо реконфігурації існуючих систем електропостачання авіаційних підприємств з використанням джерел розосередженої генерації. Такий підхід має підвищити безпеку експлуатації акумулюючи систем на надійність систем електропостачання авіаційних підприємств. Запропонована система електропостачання з використанням джерел розосередженої генерації для роботи в умовах авіаційних підприємств дає можливість системі електропостачання вказаних підприємств набутти нових властивостей за рахунок модульності генеруючих установок джерел розосередженої генерації електричної енергії.

**Ключові слова:** електроспоживання, електропостачання, система електропостачання, авіаційне підприємство, розосереджена генерація.

**BOYKO SERHIY**

National university "Zaporizhzhia polytechnic"

**VYSHNEVS'KYY SVIATOSLAV**

Vinnytsia National Technical University

**POLISHCHUK PETRO**

Krivori National University

**SOBCHUK NATALIYA**

Vinnytsia National Technical University

**REUTA ALLA**

Kremenchug Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs

## ASPECTS OF CONSTRUCTION OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF AVIATION ENTERPRISES USING SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION

The aviation industry is a component of the transport structure of any developed country. In Ukraine, among other types of transport, air transport occupied a worthy place before the armed confrontation. Undoubtedly, the time will come and the further restoration of air transport in Ukraine is inevitable. Unmanned aerial vehicles, which have become indispensable components of reconnaissance operations, are also actively developing today. The main factor in ensuring the functioning of aviation enterprises is electricity supply. Undoubtedly, the power supply systems of aviation enterprises are made with double redundancy, however, as world and domestic experience shows, there is still a need to increase the level of reliability of the power supply systems of aviation enterprises. Therefore, the task of introducing additional generating capacities into the

*power supply systems of aviation enterprises remains relevant. The advantages of implementing the proposed power supply scheme for aviation enterprises using distributed sources of electrical energy are: the block structure of the system, which consists of typical electrotechnological devices, which makes it possible to relatively quickly provide electricity to responsible consumers of electrical energy, and makes it possible to increase generation capacity in the future. Meanwhile, today's promising ones are electric energy accumulators based on hydrogen technologies, among which fuel cells should be singled out. Not the last role is played by the safety of operating fuel cells in the conditions of aviation enterprises, which maintains aviation safety at a sufficient level. The article highlights the vision proposed by the authors regarding the reconfiguration of the existing power supply systems of aviation enterprises using sources of distributed generation. This approach should increase the safety of operation by accumulating systems on the reliability of power supply systems of aviation enterprises. The proposed power supply system using sources of distributed generation for operation in the conditions of aviation enterprises makes it possible for the power supply system of these enterprises to acquire new properties due to the modularity of generating units of sources of distributed generation of electric energy.*

*Key words: electricity consumption, electricity supply, electricity supply system, aviation enterprise, distributed generation.*

## Вступ

Авіаційна галузь є складовою транспортної структури будь-якої розвиненої держави. В Україні, з посеред інших видів транспорту, достойне місце до збройного протистояння займав авіаційний транспорт. Безумовно, наступить час і подальше відновлення авіаційного транспорту в Україні неминуче. Активний розвиток на сьогодні також мають безпілотні літальні апарати, котрі стали незамінними складовими розвідувальних операцій. Слід зазначити, що до складу авіаційної галузі входять авіаційні підприємства, як елементи галузі. Метою діяльності авіаційних підприємств є забезпечення та виконання авіаційних перевезень, підтримання на належному рівні повітряних суден і дотримання високого рівня авіаційної безпеки та безпеки польотів. Такого рівня можна досягти лише за умови забезпечення безумовного функціонування всіх систем авіаційних підприємств. Основним фактором забезпечення функціонування авіаційних підприємств є електроенергопостачання. Безумовно, системи електропостачання авіаційних підприємств виконані з подвійним резервуванням, між тим, як показує світовий та вітчизняний досвід, на сьогоднішній день залишається необхідність підвищення рівня надійності систем електропостачання авіаційних підприємств. В умовах авіаційних підприємств передбачено використання автономних джерел електричної енергії, але, як правило вони використовуються для обслуговування повітряних суден. Тож, залишається актуальною задача впровадження додаткових генеруючих потужностей в системи електропостачання авіаційних підприємств. Одним з таких варіантів є впровадження джерел розосередженої генерації в діючі системи електропостачання авіаційних підприємств [1, 2].

## Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Результати досліджень [1-5] свідчать про актуальність та загальносвітову трендовість впровадження альтернативних та відновлювальних джерел електричної енергії. Крім того у дослідженнях [6, 7] вказується на важливість стимулювання розвитку на модернізації систем енергозабезпечення, як загальнодержавного завдання та одного з аспектів національної безпеки. У свою чергу, науковці [8-12] дослідили та вислітили у своїх наукових творах дослідження щодо під'єднання джерел розосередженої генерації до локальних електричної мереж та до загальної електричної мережі. Результати їх досліджень вказують на можливість під'єднання джерел розосередженої генерації до вже існуючих діючих систем електропостачання, хоча в будь-якому випадку необхідно обов'язково враховувати особливості параметрів генерування електричної енергії та контролювати якість згенерованої електричної енергії. Також авторами [13-14] було досліджено аспекти побудови систем керування системами електропостачання з використанням джерел розосередженої генерації. Усе це дозволяє стверджувати, що у сучасних реаліях, особливо на теренах України, є актуальною науково-практична задача розбудови систем енергозабезпечення авіаційних підприємств з урахуванням впровадження до їх систем енергозабезпечення джерел розосередженої генерації.

**Метою статті є** – висвітлення запропонованого авторами бачення щодо реконфігурації існуючих систем електропостачання авіаційних підприємств з використанням джерел розосередженої генерації.

## Результати дослідження

Відповідно до визначеної мети та завдань необхідно спроектувати таку систему електропостачання авіаційного підприємства, котра буде мати можливість підвищення надійності електропостачання відповідальних енергоспоживачів за будь-яких параметрів зовнішньої електричної мережі [8].

Тож, була розроблена і запропонована структурна схема системи електропостачання з використанням джерел розосередженої генерації для роботи в умовах авіаційних підприємств (рис. 1).

Таким чином, система електропостачання з використанням джерел розосередженої генерації для роботи в умовах авіаційних підприємств працює наступним чином.

Джерела електричної енергії (7, 9, 11) генерують електричну енергію, яка через керовані роз'єднувачі (13, 14, 15) передається на спільну шину. В нормальному режимі роботи, коли параметри джерел генерації знаходяться в допустимих нормах, від спільної шини через керований роз'єднувач (25) відбувається живлення споживачів авіаційного підприємства (26) спільно з загальною мережею (28). Заряд акумуляторних батарей (20) відбувається від спільної шини через блок випрямляча (17) та блок зарядного пристрою (16).

Слід зазначити, що блоки датчиків, які включають в себе типові датчики струму, напруги, частоти напруги та інших параметрів генеруючих установок (8, 10, 12) через погоджуючі пристрої (2, 4, 6), які передбачені для погодження сигналів, передають вихідні параметри (13, 14, 15) в блоки систем управління генеруючими установками (1, 3, 5). Системи керування джерел електричного струму (1, 3, 5) приймають вказані сигнали, та подають сигнал на регулювання роботи генеруючих установок (7, 9, 11).

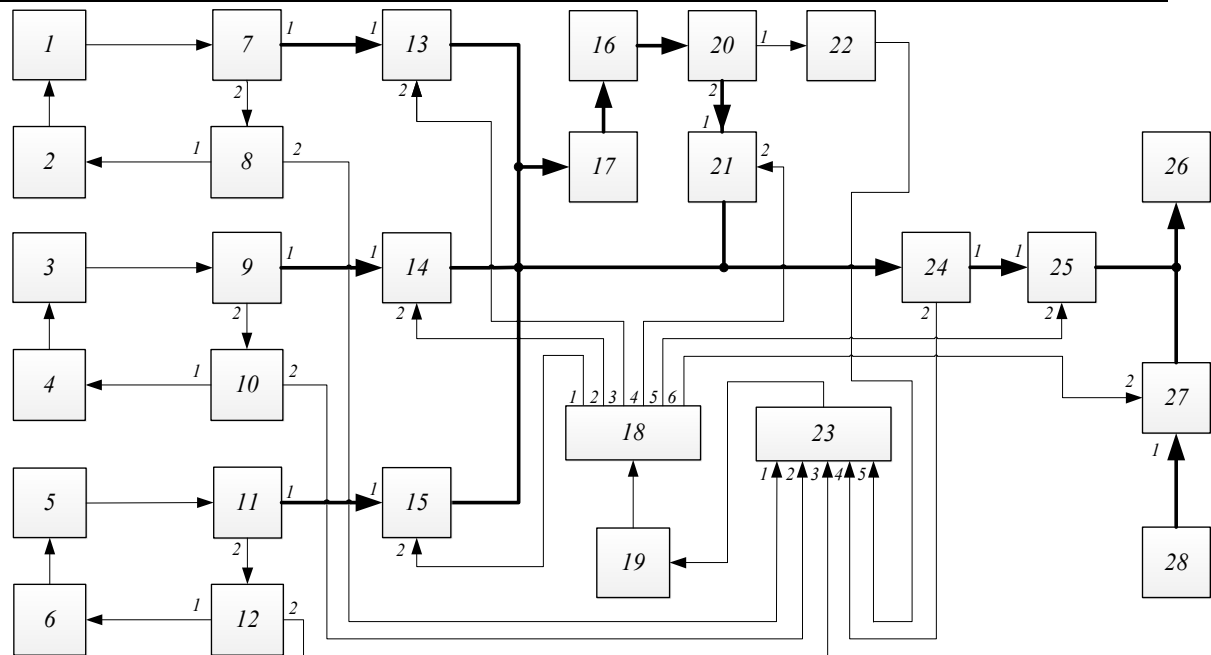


Рисунок 1 – Структурна схема системи електропостачання з використанням джерел розосередженої генерації для роботи в умовах авіаційних підприємств: 1 – блок системи управління першого джерела електричної енергії; 2 – перший погоджуючий пристрій; 3 – блок системи управління другого джерела електричної енергії; 4 – другий погоджуючий пристрій; 5 – блок системи управління третього джерела електричної енергії; 6 – третій погоджуючий пристрій; 7 – перше джерело електричної енергії; 8 – перший блок датчиків; 9 – друге джерело електричної енергії; 10 – другий блок датчиків; 11 – третє джерело електричної енергії; 12 – третій блок датчиків; 13 – перший керований роз'єднувач; 14 – другий керований роз'єднувач; 15 – третій керований роз'єднувач; 16 – зарядний пристрій; 17 – випрямляч; 18 – погоджуючий пристрій виводу; 19 – електронно-обчислювальна машина; 20 – акумуляторні батареї; 21 – інвертор; 22 – датчик рівня заряду; 23 – погоджуючий пристрій вводу; 24 – четвертий блок датчиків; 25 – керований роз'єднувач підключення навантаження; 26 – навантаження (відповідальні споживачі електричної енергії); 27 – керований роз'єднувач підключення мережі; 28 – мережа.

У свою чергу, датчики джерел електричної енергії (8, 10, 12) та датчик рівня заряду акумуляторних батарей (22) через погоджуючий пристрій вводу (23) передають сигнал на електронно-обчислювальну машину, чи контролер (19).

За умови, якщо вихідні параметри джерел генерування електричної енергії (7, 9, 11) не відповідають гранично-допустимо нормам, тобто аварійний режим, то контролер (19) подає управляючий сигнал на комутацію керованих роз'єднувачів (13, 14, 15).

Якщо ж відбуваються аварійний режим загальної мережі (28), то контролер (19) подає управляючий сигнал на комутацію блоку керованого роз'єднувача підключення загальної мережі (27) і живлення відповідальних споживачів (26) відбувається тільки від джерел розосередженої генерації (7, 9, 11). Причому, якщо відбувається дефіцит генерованої потужності, за умови відключення загальної мережі, то контролер 19 подає управляючий сигнал на блок інвертора 21 та відбувається вирівнювання потужності генерації за рахунок віддачі в локальну мережу накопиченої електроенергії з блоку накопичувачів електричної енергії (20) через інвертор (21).

Після усунення аварійного режиму загальної мережі (28), контролер (19) подає управляючий сигнал на керований роз'єднувач (27) для підключення загальної мережі (28) до системи електропостачання авіаційного підприємства, тобто відбувається повернення до нормального режиму роботи.

Слід зазначити, що алгоритм функціонування запропонованої системи електропостачання авіаційних підприємств з використанням джерел розосередженої генерації, працює наступним чином. Відбувається перевірка параметрів джерел генерації електричної енергії (частота, напруга, струм), якщо ці параметри знаходяться в нормально допустимих нормах то відбувається підключення вказаних джерел електричної енергії до мережі підприємства, після чого параметри перевіряються регулярно, через деякий проміжок часу, з витримка часу (1-5 хв). Якщо ж параметри на протязі деякого часу не відповідають нормам, то відбувається відключення відповідних розосереджених джерел електричної енергії від мережі авіаційного підприємства, виявляються несправності, ліквідуються та знову перевіряються параметри

Якщо параметри загальної мережі підприємства не відповідають нормам, чи є аварійні ситуації, то відбувається перевірка параметрів та підключення джерел генерації електричної енергії до розподільчого пристрою відповідальних електроприймачів, що призводить до їх локальної роботи. Як тільки параметри мережі нормалізуються то джерела генерування електричної енергії знову починають працювати на загальну мережу авіаційного підприємства.

Якщо ж генерована потужність менша ніж потужність навантаження, то відбувається підключення споживачів 1-ї категорії, після чого знову перевіряються параметри, і якщо потужності недостатньо, то відбувається відключення частини споживачів і підключення системи керування розподільчого пристрою системи електропостачання авіаційного підприємства.

Перевагами впровадження запропонованої схеми електропостачання авіаційних підприємств з використанням розосереджених джерел електричної енергії є: блочність будови системи, котра складається з типових електротехнологічних пристроїв, що дає можливість відносно швидко забезпечити електропостачання відповідальних споживачів електричної енергії, та дає можливість перспективного нарощування потужностей генерування [14].

Слід наголосити на тому, що у якості джерел розосередженої генерації авіаційних підприємств можуть бути як відновлювальні джерела енергії, так і інші джерела електричної енергії, котрі працюють на бензині, дизельному паливі, газу.

На сьогоднішній день перспективними є накопичувачі електричної енергії на базі водневих технологій, серед яких слід виокремити паливні комірки. Такі технології накопичення електричної енергії дають можливість підвищити ефективність накопичення електричної енергії, для резервного використання, за необхідності збільшувати потужність акумулювання. Не останню роль відіграє безпека експлуатації паливних комірок в умовах авіаційних підприємств, що підтримує авіаційну безпеку на достатньому рівні [14].

### Висновки

1. Висвітлено запропоноване авторами бачення щодо реконфігурації існуючих систем електропостачання авіаційних підприємств з використанням джерел розосередженої генерації. Такий підхід має підвищити безпеку експлуатації акумулюючих систем на надійність систем електропостачання авіаційних підприємств.

2. Запропонована система електропостачання з використанням джерел розосередженої генерації для роботи в умовах авіаційних підприємств дає можливість системі електропостачання вказаних підприємств набути нових властивостей за рахунок модульності генеруючих установок джерел розосередженої генерації електричної енергії.

### Література

1. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. // Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України: [Електронний ресурс]: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
3. Шидловський, А.К. Геоекономіка та геополітика України Навчальний посібник. / А.К. Шидловський, Г.Г. Півняк, М.В. Рогоза, С.І. Випанасенко. – Д.: Національний гірничий університет, 2002. – 282 с.
4. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Підручник / С.О.Кудря. – К.: Національний технічний університет України («КПІ»), 2011. – 494 с.
5. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения – К.: «Освіта України», 2007. – 464с.
6. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. та ін. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року // К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. 275 с
7. Денисюк С. П. Перші кроки до створення дієвих механізмів стимулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні / С. П. Денисюк, О. Б. Рибіна, В. О. Негодуйко // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Збірник наукових праць. – Київ. – 2011. – № 30. – С. 5–14.
8. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах : монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. – Вінниця : ВНТУ, 2014. — 204 с..
9. Кирик В.В. Дослідження впливу джерел розподіленої генерації на режим роботи електричної системи / В.В.Кирик, О.С.Губатюк, В.І.Моссаковський. // Матеріали XIV Міжнар. конф. «Відновлювана енергетика ХХІ століття». – Крим, 2013. – С. 141–143.
10. Кудря С.О. Дослідження ефективності комбінованого використання енергії вітру, сонця і теплоти землі для отримання водню при електролізі води / С.О.Кудря, Ю.П.Морозов, М.П.Кузнєцов // Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях: тези доп. наукової звітної сесії НАН України. – Київ, 2013. – С. 30.
11. Системы электроснабжения с источниками распределенной генерации: Монография / А.Ф. Жаркин, С.П. Денисюк, В.А. Попов; за ред. С.Е. Ноткиной; Институт электродинамики НАН Украины. – Киев: Вид. Нова думка, 2017. – 231 с.
12. Yu P. A new method for balancing the fluctuation of wind power by a hybrid energy storage system / [P.Yu, W.Zhou, Y.Zhao and oth.] // Information Technology Journal. – 2012. – Vol.11(1). – P. 58–66.
13. Сінчук О.М. Нейронні мережі і керування процесом управління електропостачанням об'єктів від комбінованих електричних мереж / Сінчук О.М. Бойко, С. М. // Технічна Електродинаміка. Науково-прикладний журнал. №5, 2014 – К., Інститут Електродинаміки НАН України, 2014. – С. 53-55.
14. Бойко С.М. Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2020. – 263 с

## References

1. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
2. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 r. // Sait Ministerstva enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy: [Elektronnyi resurs]: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
3. Shydlovskiy, A.K. Heoekonomika ta heopolityka Ukrainy Navchalnyi posibnyk. / A.K. Shydlovskiy, H.H. Pivniak, M.V. Rohoza, S.I. Vypanasenko. – D.: Natsionalnyi himychnyi universytet, 2002. – 282 s.
4. Netradytsiini ta vidnovliuvani dzherela enerhii: Pidruchnyk / S.O.Kudria. – K.: Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy («KPI»), 2011. – 494 s.
5. Prakhovnyk A.V. Malaia enerhetyka: raspredelennaia heneratsyia v systemakh enerhosnabzhenyia – K. : «Osvita Ukrainy», 2007. – 464s.
6. Stohnii B.S., Kyrylenko O.V., Prakhovnyk A.V., Denysiuk S.P. ta in. Osnovni parametry enerhozabezpechennia natsionalnoi ekonomiky na period do 2020 roku // K.: Vyd. In-tu elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2011. 275 s
7. Denysiuk S. P. Pershi kroky do stvorennia diievykh mekhanizmiv stymuliuвання rozvytku alternatyvnoi enerhetyky v Ukraini / S. P. Denysiuk, O. B. Rybina, V. O. Nehoduiko // Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. Zbirnyk naukovykh prats. – Kyiv. – 2011. – № 30. – S. 5–14.
8. Vidnovliuvani dzherela enerhii v rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh : monohrafiia / P. D. Lezhniuk, O. A. Kovalchuk, O. V. Nikitorovych, V. V. Kulyk. – Vinnytsia : VNTU, 2014. — 204 s..
9. Kyryk V.V. Doslidzhennia vplyvu dzherel rozpodilenoї heneratsii na rezhym roboty elektrychnoi systemy / V.V.Kyryk, O.S.Hubatiuk, V.I.Mossakovskiy. // Materialy XIV Mizhnar. konf. «Vidnovliuvana enerhetyka KhKhI stolittia». – Krym, 2013. – S. 141–143.
10. Kudria S.O. Doslidzhennia efektyvnosti kombinovanoho vykorystannia enerhii vitru, sontsia i teploty zemli dlia otrymannia vodniu pry elektrolizi vody / S.O.Kudria, Yu.P.Morozov, M.P.Kuznietsov // Voden v alternatyvniі enerhetytsi ta novitnikh tekhnolohiiakh: tezy dop. naukovoї zvitnoi sesii NAN Ukrainy. – Kyiv, 2013. – S. 30.
11. Системы электроснабжения с ystochnykamy raspredelennoi heneratsyy: Monohrafiia / A.F. Zharkyn, S.P. Denysiuk, V.A. Popov; za red. S.E. Notkynoi; Ynstytut elektrodynamiky NAN Ukraїny. – Kyev: Vyd. Nova dumka, 2017. – 231 s.
12. Yu P. A new method for balancing the fluctuation of wind power by a hybrid energy storage system / [P.Yu, W.Zhou, Y.Zhao and oth.] // Information Technology Journal. – 2012. – Vol.11(1). – P. 58–66.
13. Sinchuk O.M. Neironni merezhi i keruvannia protsesom upravlinnia elektropostachanniam obiektiv vid kombinovanykh elektrychnykh merezh / Sinchuk O.M. Boiko, S. M. // Tekhnichna Elektrodynamika. Naukovo-prykladnyi zhurnal. №5, 2014 – K., Instytut Elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2014. – S. 53-55.
14. Boiko S.M. Teoretychni zasady formuvannia elektroenerhetychnykh system z dzherelamy rozoseredzhenoї heneratsii himychorudnykh pidpriemstv. Monohrafiia, pid redaktsiieiu doktora tekhn. nauk, profesora O.M. Sinchuka. – Kremenchuk, 2020. – 263 s