

І. О. Сінчук¹
С. М. Бойко²
С. В. Вирвикишка²

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ВІТРОВИХ МІНІЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УМОВАХ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ

¹ ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

² Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Запропоновано впровадження локальних систем в структуру мереж електроживлення підприємств гірничодобувної галузі на базі вітрових мініелектростанцій. Проведено аналіз особливостей впровадження, режимів функціонування та видів виконання електротехнічних систем на базі вітрових мініелектростанцій в умовах підприємств гірничодобувної галузі.

Ключові слова: система електропостачання, вітрова мініелектростанція, альтернативні джерела енергії.

Вступ

Відповідно до стратегії розвитку, українській електроенергетиці сьогодні вкрай важливо активно залучатися до впровадження альтернативних відновлювальних джерел електричної енергії. В свою чергу, поєднання джерел розосередженої генерації в одну систему дозволяє сформувати синергетичні структури електричних мереж, для яких досягається узгоджене функціонування всіх її елементів, що сприяє зменшенню технологічних втрат енергії [1].

Водночас, аналіз розподілу потоків споживання електроенергії свідчить, що велика частка електричної енергії припадає саме на локальні енергетичні об'єкти, що зумовлює в цілому актуальність вирішення питань енергоефективності їх експлуатації [2]. До локальних об'єктів у гірничорудній промисловості відносяться: електротехнічні системи електрозварювальних установок, установок з механічною та хімічною дією струму на матеріал обробки, а також насосні установки, освітлювані установки та комплекси, охоронні системи тощо, електропостачання яких повинно забезпечуватися із заданим рівнем якості та надійності.

Метою роботи є аналіз особливостей функціонування вітрових мініелектростанцій (ВМЕС) у складі локальних електротехнічних систем в умовах підприємств гірничодобувної галузі (ГДГ).

Результати дослідження

Проаналізовано можливість і специфіку роботи ВМЕС в умовах діючих підприємств ГДГ, розроблена конструкція комплексу, синтезована її структура. Розроблена структура ВМЕС і система управління нею дозволяють збільшити надійність і якість електропостачання споживачів, а також підтримувати безперебійність електропостачання споживачів електричної енергії [2].

За результатами дослідження, зроблено висновок про те, що системи електропостачання на базі ВМЕС характеризуються наявністю в них генераторів обмеженої потужності, широким діапазоном зміни параметрів навантаження тощо [3—5]. У зв'язку з цим до їх застосування у складі схем електропостачання локальних енергетичних систем (ЛЕС) висувається низка вимог, насамперед: надійність, обсяг згенерованої потужності, віддаленість споживачів від джерел живлення електроенергії, наявності зон із забрудненими та агресивними середовищами, вплив самих ЛЕС на якість електричної енергії тощо. Таким чином, ВМЕС слід наблизити до об'єкта споживання, щоб зменшити кількість мережевих ланок та ступенів проміжної трансформації електроенергії та комутації в системі електропостачання в ЛЕС, що можливо здійснити на основі децентралізованої архітектури. Це, з одного боку, зменшує кількість проміжних ланок між ВМЕС та електроспоживачами, а

також знижує кількість ступенів трансформації в ЛЕС, а з іншого — може збільшити кількість факторів негативного впливу на якість електроенергії та негативні перехідні процеси в ЛЕС.

В результаті аналізу можливості впровадження ВМЕС у складі локальних енергетичних систем виявлено, що ВМЕС, впливають на розподільні мережі в ЛЕС та перетворюють їх на активні елементи. Це приводить до необхідності внесення змін у прийнятті стратегії управління ЛЕС та планування структури і режимів локальних енергетичних систем. При цьому їхній вплив може мати як позитивний, так і негативний характер, тому доцільно заздалегідь ґрунтовно досліджувати та аналізувати питання приєднання ВМЕС до ЛЕС в залежності від умов експлуатації та особливостей технологічного процесу електроприймачів ГДГ [6].

В свою чергу, створення ВМЕС для електропостачання підприємства ГДГ дозволяє виробляти й накопичувати електроенергію за наявності вітру, під час шторму використовувати блоки акумуляторних батарей, а за необхідності використовувати живильну мережу підприємства для додаткового електропостачання.

До складу запропонованої системи електропостачання входить таке устаткування: ВМЕС; батарея акумуляторів, що служить для накопичення електроенергії під час роботи вітроустановки для живлення системи її управління (або, за необхідності, як резервне джерело живлення); перетворювальна апаратура, у випадку використання генератора змінної напруги, що служить для перетворення електроенергії від вітроустановки у постійний струм для живлення інвертора й заряду акумуляторних батарей і постійного струму від акумуляторів напруги змінного струму зі стандартними параметрами.

Під час проектування ВМЕС у складі локальної системи електропостачання (рис. 1), доводиться вирішувати питання, пов'язані з усталеною роботою станції, що виключає перевантаження генератора, за умови надійності в експлуатації. Усе це вимагає створення механічних і електричних пристроїв для автоматичного регулювання ВМЕС. Тому запропоновано підключати мережу до споживача через автоматизований розподільчий пристрій, призначений для регулювання електроживлення споживача в автоматичному режимі. Таким чином, за умови достатнього електропостачання споживача від ВМЕС, енергосистема працює в автономному режимі. У випадку, коли відбувається недостатнє генерування електричної енергії ВМЕС чи аварійна ситуація, то автоматичний розподільчий пристрій автоматично підключає до системи електропостачання споживача блок акумуляторних батарей, а у разі нагальної необхідності, мережу як додаткове джерело електричної енергії. Таким чином мережа є додатковим аварійним джерелом електричної енергії.

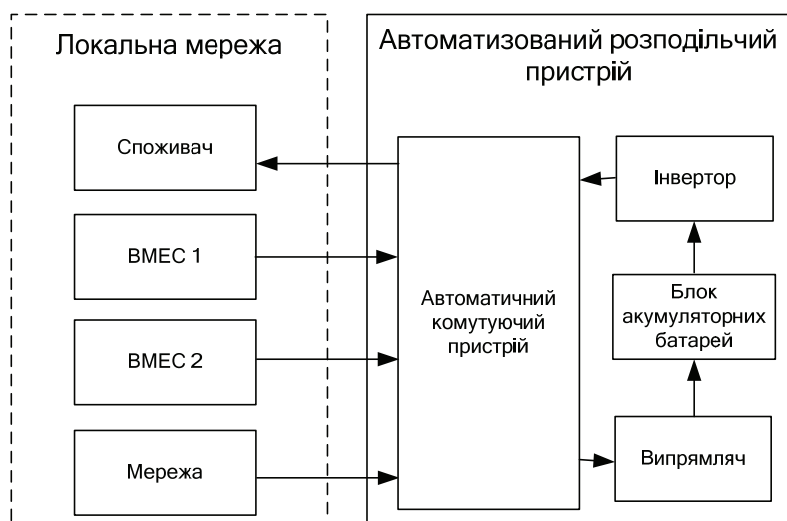


Рис. 1. Структурна схема системи локальної електропостачання на базі вітрових мініелектростанцій

За такої системи регулювання підвищується надійність електропостачання споживача та модульність системи в цілому. Оскільки, за необхідності, відбувається регулювання кількості акумуляторних батарей та ВМЕС.

Однак, за результатами дослідження впливу розосередженої генерації на локальні системи електропостачання, виявлено особливості впливу ВМЕС на напругу в ЛЕС. Це вплив на рівні напруги в усталеному режимі роботи ЛЕС та вплив ВМЕС на коливання напруги в ЛЕС [7], що має досить суттєвий вплив на якість електричної енергії [8]. ВМЕС призводять до зростання дози флікера та

можуть генерувати гармоніки вищих порядків, а також впливають на провали напруги, що здебільшого пов'язано з типом генератора [9]. Також, як і будь-які джерела електричної енергії, вітрові установки мають різні типи електромагнітних сигналів, тож, використовуються з рівнем завад 10 % та 2,8 % через інвертор з прямокутною та синусоїдальною формою сигналу.

У зв'язку з особливостями електромагнітної сумісності та оптимальним електроживленням споживачів, під час планування та впровадження систем локального електроживлення на базі ВМЕС, необхідно щоб розташування ВМЕС відповідало вимогам забезпечення оптимального енергообміну, покращення якості електроенергії, вимогами до стійкості, надійності та ефективності роботи системи, потужністю, характером і місцем розташування джерел спотворень, а також умові досягнення оптимальних значень техніко-економічних показників системи в цілому.

Таким чином, виходячи з наведеної структурної схеми системи локального електропостачання на базі ВМЕС (див. рис. 1), сумарна згенерована потужність ЛЕС на базі ВМЕС визначається з виразу

$$S_{\Sigma DES} = \sum_{i=1}^n S_{VES_i}, \quad (1)$$

де S_{VES} — згенерована потужність ВМЕС.

Тоді, спожита підприємством потужність за умови використання ЛЕС на базі ВМЕС в системі електропостачання, беручи до уваги вираз (1), дорівнює

$$S_{PP} = S_{PS} + \sum_{i=1}^n S_{VES_i}. \quad (2)$$

де S_{PS} — спожита електрична енергія промислового підприємства з енергосистеми.

За умови можливості накопичення надлишку згенерованої електричної енергії ВМЕС, беручи до уваги вирази (1), (2), потужність спожитої електричної енергії з енергосистеми дорівнює

$$S_{PS} = S_{PP} \pm S_{\Sigma EB} - \sum_{i=1}^n S_{VES_i}, \quad (3)$$

де $S_{\Sigma EB}$ — закумульована електрична енергія (за додатного значення), електрична енергія, що була накопичена блоком акумуляторних батарей (за від'ємного значення).

Як випливає з виразу (3), за умови від'ємного значення потужності спожитої електричної енергії з енергосистеми відбувається віддача надлишку згенерованої електричної енергії до мережі.

Грунтуючись на результатах попереднього аналізу [9], на сьогодні програмні пакети, на жаль, не здатні врахувати всі аспекти при проектуванні енергетичних систем, що може привести до неефективної роботи розосереджених систем енергопостачання, однак вони можуть допомогти у виконанні величезного обсягу роботи під час проектування систем електропостачання і, в деяких випадках, взагалі здатні усунути необхідність проведення детального аналізу.

Номег energy одна з програм, яка виконує моделювання часових рядів, чим і відрізняється від статистичних моделей, таких як RETScreen. Nomer energy є найгнучкішою з погляду різноманітності систем, які вона може моделювати. Детальніше зупинимося на використанні програмного комплексу Nomer energy.

Програмний комплекс Nomer energy створений для надання допомоги в розробці систем розосередженої генерації та для полегшення порівняння технологій виробництва електроенергії в широкому діапазоні використання. Ця розробка здійснена Національною лабораторією відновлюваної енергії США (NREL). В результаті дослідження розроблена комп'ютерна оптимізаційна модель енергосистеми, яка отримала назву Nomer energy [3].

Аналіз і проектування систем розосередженої генерації ускладнюється через велику кількість можливих комбінацій щодо використання альтернативних джерел енергії. Це істотно ускладнює побудову, зокрема, через недостатність вихідної потужності або її мінливості, сезонності, відсутність диспетчеризації. Такі труднощі разом з високою ціною ставили під сумнів використання поновлюваних джерел енергії. Пакет Nomer energy розроблений саме для подолання цих проблем.

Використання Nomer energy дає можливість моделювати багато різноманітних варіантів структур системи електропостачання для порівняння, як фізичних, так і економічних характеристик системи, що допомагає в аналізованні і кількісній оцінці ефекту за умови змінних вихідних даних. Моделі розосереджених систем генерації енергії дають можливість користувачеві легко прораху-

вати велику кількість конфігурацій системи і вибрати раціональну, керуючись критеріями оптимальності (надійності та економічності) [9].

Номе energy може моделювати широкий спектр конфігурацій систем розосередженої генерації, яка включає будь-яку комбінацію з масиву фотоелементів, однієї або декількох вітрових турбін, гідротурбін, дизель-генераторів, акумуляторних батарей, АС—DC і DC—АС перетворювачів, технологічних систем, наприклад, систем на основі електролізера і бака для зберігання водню. Енергетична система може бути підключена до централізованої мережі або бути автономною, може покривати навантаження постійного і змінного струму, а також теплове навантаження [3].

Номе energy забезпечує виконання трьох основних завдань: моделювання; оптимізація; аналіз чутливості. У разі реалізації задачі моделювання, програмою Номе energy моделюється побудова заданої системи та здійснюється оцінка можливості її функціонування, що дає можливість перевірити її технічну валідність і вартість експлуатації.

Впроцесі оптимізації здійснюється моделювання великої кількості системних конфігурацій, побудованих для різних варіантів застосування елементів, заданих на першому етапі. Під час виконання цього етапу здійснюється пошук такої конфігурації системи, яка б за своїми техніко-економічними показниками і своїм життєвим циклом була найприйнятнішою.

Таким чином, в середовищі програми Номе energy змодельовано раніше запропоновану систему електропостачання на базі ВМЕС (рис. 2—8).

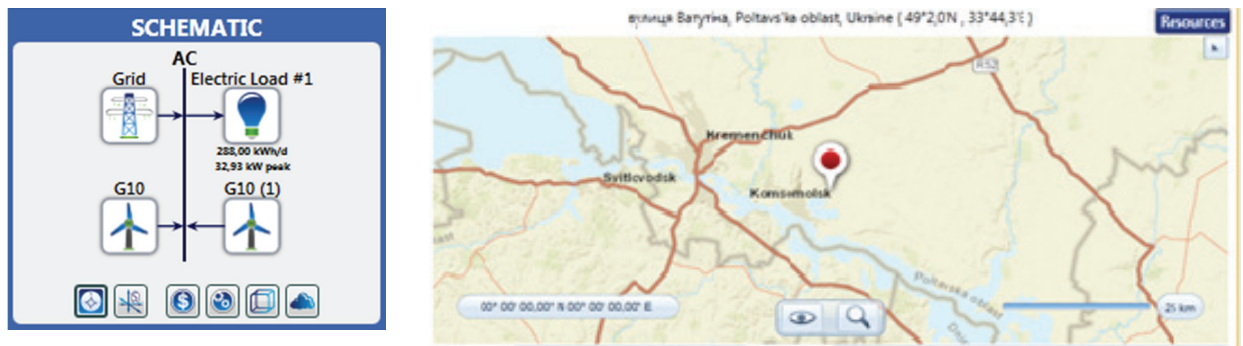


Рис. 2. Схема електроспоживання в програмі Номе energy та місце розташування комплексу локальної системи електропостачання на базі ВМЕС

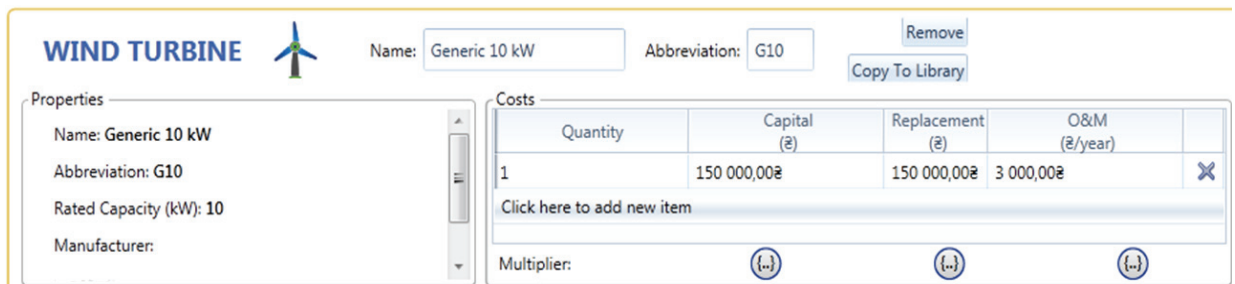


Рис. 3. Тип та затрати вітрогенератора в програмі Номе energy

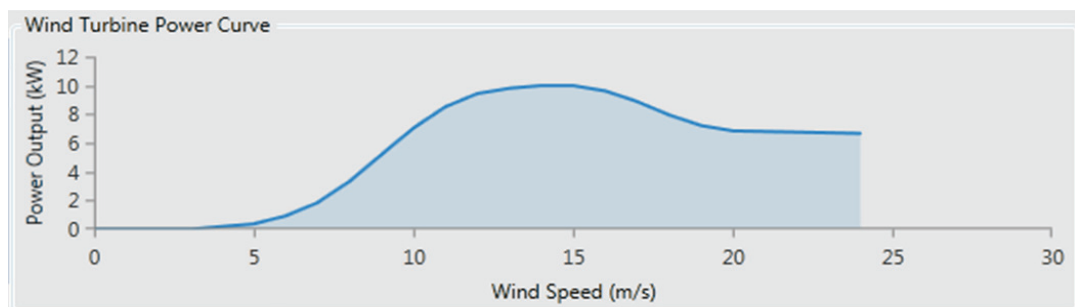


Рис. 4. Характеристика вітрогенератора, залежність вихідної потужності від швидкості вітру в програмі Номе energy



Рис. 5. Графік навантаження освітлення за добу в програмі Homer energy

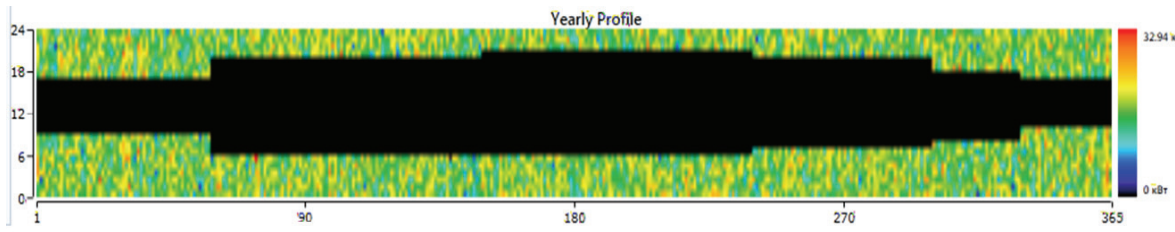


Рис. 6. Графік навантаження освітлення за рік в програмі Homer energy

Architecture				Cost				System	G10		G10 (1)		Grid	
G10	G10 (1)	Grid (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren. Frac (%)	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Energy Purchased	Energy Sold
1	1	35,0	CC	0,469€	634 506€	25 876€	300 000€	28	150 000	14 891	150 000	14 891	74 891	19 138

Рис. 7. Оптимальний техніко-економічний варіант автономної енергетичної системи в програмі Homer energy

Optimization Cases: Left Double Click on simulation to examine details.															
Architecture				Cost				System	G10		G10 (1)		Grid		
G10	G10 (1)	Grid (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren. Frac (%)	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Energy Purchased	Energy Sold	
1	1	35,0	CC	0,469€	634 506€	25 876€	300 000€	28	150 000	14 891	150 000	14 891	74 891	19 138	
1	1	35,0	CC	0,938€	1,158M	77 481€	150 000€	16	150 000	14 891			80 102	9 457	
1	1	35,0	CC	0,938€	1,158M	77 481€	150 000€	16			150 000	14 891	80 102	9 457	
		35,0	CC	1,50€	1,668M	128 304€	0,00€	0,00019					85 536	0	

Рис. 8. Можливі варіанти автономної енергетичної системи електропостачання в програмі Homer energy

Беручи до уваги вищенаведені результати досліджень, і результати досліджень, отриманих раніше [2—6], можна зробити висновок про те, що використання ВМЕС в умовах діючих підприємств ГДГ є реальним, а для оцінки можливості використання відновлюваних джерел енергії доцільно використовувати програмний пакет Homer energy.

Висновки

На підприємствах гірничодобувної галузі актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення локальних систем на базі вітрових мініелектростанцій. Водночас з метою достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій в структурах систем електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання приєднання локальних систем електроживлення в комплекс вищезгаданих систем. Для оцінки можливості використання відновлюваних джерел енергії та проектування на їх базі енергетичних систем доцільно використовувати програмний пакет Homer energy.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / А. В. Праховник. — К. : Освіта України, 2007. — 464 с.
2. Сінчук І.О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії : навч. посіб. / І. О. Сінчук, С. М. Бойко, О. Є. Мельник. — Кременчук : вид-во ПП Щербатих О. В., 2015. — 270 с.

3. Денисюк С. П. Оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах / С. П. Денисюк, Т. М. Базюк, Д. Г. Дерев'яно. — Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. — 2013. — № 3(80). — С. 54—59.

4. Дерев'яно Д. Г. Аналіз особливостей забезпечення стійкості та надійності систем з інтеграцією джерел розосередженої генерації / Д. Г. Дерев'яно, К. Ю. Суменко, В. Г. Процько // Енергетика. Екологія. Людина : матер. конференції — 2013. — С. 432—439.

5. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / Кириленко О. В., Павловський В. В., Лук'яненко Л. М. // Техн. електродинаміка. — 2011. — № 1. — С. 46—53.

6. Відновлювальні джерела енергії у локальних об'єктах / [Ю. І. Якименко, С. І. Сокол, В. Я. Жуйков та ін.] — К. : ІВЦ «Політехніка», 2001. — 114 с.

7. Праховник А. В. Ефективне використання енергетичних ресурсів та концентрація потоку енергії низькопотенціальних джерел / А. В. Праховник, Т. М. Базюк // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2013. — № 1. — С. 41—48.

8. Денисюк С. П. Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією / С. П. Денисюк, Д. Г. Дерев'яно, П. С. Колесник // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України : зб. наук. пр. : Спец. випуск. — Ч. 2. — К. : ІЕД НАНУ, 2011. — С. 30—36.

9. Zhuikov V. Intellectual systems to control energy generation and consumption in local objects / V. Zhuikov, J. Petergerya // Proceeding of 2-nd Conference «Power Electronic Devices Compatibility» PEDC-2001. — Poland. — Zielona Gora : Technical University Press. — P. 208—212.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 2.12.2015

Сінчук Ігор Олегович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, e-mail: speet@ukr.net;

ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

Бойко Сергій Миколайович — канд. техн. наук, доцент кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: bsn1987@i.ua;

Вирвикошка Сергій Васильович — студент.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук.

I. O. Sinchuk¹

S. M. Boiko²

S. V. Vyrvykshka²

Features of Functioning of the Local Electrical Systems Based on Wind Mini Power Stations in Conditions of Enterprises of Mining Industry

¹State Institution of Higher Education «Kryvyi Rih National University»

²Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University of Ukraine

There has been proposed the implementation of local systems into the structure of networks of power supply enterprises of the mining industry on the basis of the wind mini power stations. There have been analyzed the specific features of introduction, modes of operation and types of electrical systems based on wind mini power stations in terms of mining and extractive industry.

Keywords: power system, mini wind generator, alternative energy sources.

Sinchuk Igor O. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Automated Electromechanical Systems in Industry and Transport, e-mail: speet@ukr.net;

Boiko Serhii M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Systems of Electroconsumption and Power Management, e-mail: bsn1987@i.ua;

Vyrvykshka Serhii V. — Student

И. О. Синчук¹
С. Н. Бойко²
С. В. Вирвикишка²

Особенности функционирования локальных электротехнических систем на базе ветровых миниэлектростанций в условиях предприятий горнодобывающей отрасли

¹ДВНЗ «Криворожский национальный университет»;

²Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

Предложено внедрение локальных систем в структуру электроснабжения предприятий горнодобывающей отрасли на базе ветровых миниэлектростанций. Проанализированы особенности внедрения, режимы функционирования и виды исполнения электротехнических систем на базе ветровых миниэлектростанций в условиях предприятий горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: система электроснабжения, ветровая миниэлектростанция, альтернативные источники энергии.

Синчук Игорь Олегович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, e-mail: speet@ukr.net;

Бойко Сергей Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: bsn1987@i.ua;

Вирвикишка Сергей Васильевич — студент