

УДК 628.852: 53.08 + 004.73

АНДРЕЄВА Н.Ю., ВОСКОБОЙНИКОВА Н.О., ЗЮЛЯЄВ Д.Д.,  
КЛИМЕНКО Л.П., КУБОВ В.І., ПАВЛЕНКО А.А.

Чорноморський державний університет імені Петра Могили

## РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ПОСТАЧАННЯ ЕНЕРГІЇ ЗА УМОВ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ ТА ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

*Наводяться результати одночасних вимірів швидкості вітру та інсоляції на автоматизованому цифровому дослідницькому комплексі ЧДУ ім. П. Могили протягом 07.2013 – 10.2014.*

*Обраховуються статистичні характеристики середньодобових значень вітру та інсоляції, та їх взаємних зв'язків.*

*Розраховується ймовірність певних рівнів забезпеченості енергією для роздільного та спільного використання вітрових та геліосистем в залежності від можливості акумулювання енергії на інтервалах часу від 1 до 7 діб.*

**Ключові слова:** енергозбереження, сонячна енергія, енергія вітру, надійність енергопостачання.

**Вступ.** Виснаження традиційних джерел енергії, постійне збільшення вартості та супутні екологічні проблеми примушують ефективніше використовувати традиційні та шукати альтернативні джерела енергії. Перш за все, це такі ресурси як сонячне випромінювання та енергія вітру. Нажаль, ці джерела не завжди забезпечують необхідний рівень надійності. Досить часто трапляється так, що сонце ховається за хмарами, або відсутній будь-який вітер. Тому енергію необхідно якимось чином акумулювати, щоб мати можливість її використовувати протягом «мертвого» часу. Для визначення кількісних характеристик надійності енергозабезпечення треба мати статистику енергетичних можливостей відповідних джерел для конкретного регіону. Тому протягом кількох останніх років у Чорноморському державному університеті імені Петра Могили, місто Миколаїв (ЧДУ), виконуються роботи з контролю параметрів зовнішнього середовища [1].

**Результати та їх обговорення.** Для моніторингу сонячного випромінювання на даху університету розміщено стенд з двох сонячних фотоелектричних батарей з полікристалічного кремнію потужністю по 25W кожна. Конструкція стенду дозволяє досліджувати вплив орієнтації батарей, та виконувати дослідження з прозорості атмосфери. Для моніторингу швидкості вітру над батареями розташовано анемометр. Цей анемометр було калібровано за допомогою еталонних засобів [2]. Сонячні батареї під'єднані до акумуляторної батареї, та через електронний комутатор до мікропроцесора, який на час вимірів фотоструму перемикає батареї на еталонне навантаження. Тривалість одного виміру менш ніж 0.1 секунди, а інтервал опитувань 1 хвилина. Тож виміри практично не впливають на процес заряду акумуляторної батареї. Результати вимірів фотоструму та швидкості вітру обробляються мікропроцесором та передаються далі для архівації на персональний комп'ютер.

На рис.1 наведено приклади багаточасових варіацій середньодобових значень швидкості вітру (показник 1000grm анемометра відповідає швидкості вітру приблизно 4.7m/s) та фотоструму сонячних фотоелектричних батарей (максимальний струм батареї приблизно 1.7A для умов 1.5AM – максимальна освітленість влітку удень). Одночасні виміри вітру та інсоляції виконувались протягом 461 доби з серпня 2013 по жовтень 2014.

Як і слід було очікувати, найбільший вітер був у зимовий період, а найбільше сонця було влітку. Середньодобові значення швидкості вітру на даху університету змінювалися від 0.5 до 5m/s, за середнього значення приблизно 1.85m/s. Середньодобові значення фотоструму у безхмарні дні змінювалися від 0.43A влітку до 0.26A взимку. За умов великої хмарності (переважно взимку) фотострум зменшується у кілька десятків раз, тому середнє значення фотоструму на багатоденному інтервалі сягає лише 0.25A, що приблизно у 7 разів менше за максимальний паспортний фотострум цієї батареї.

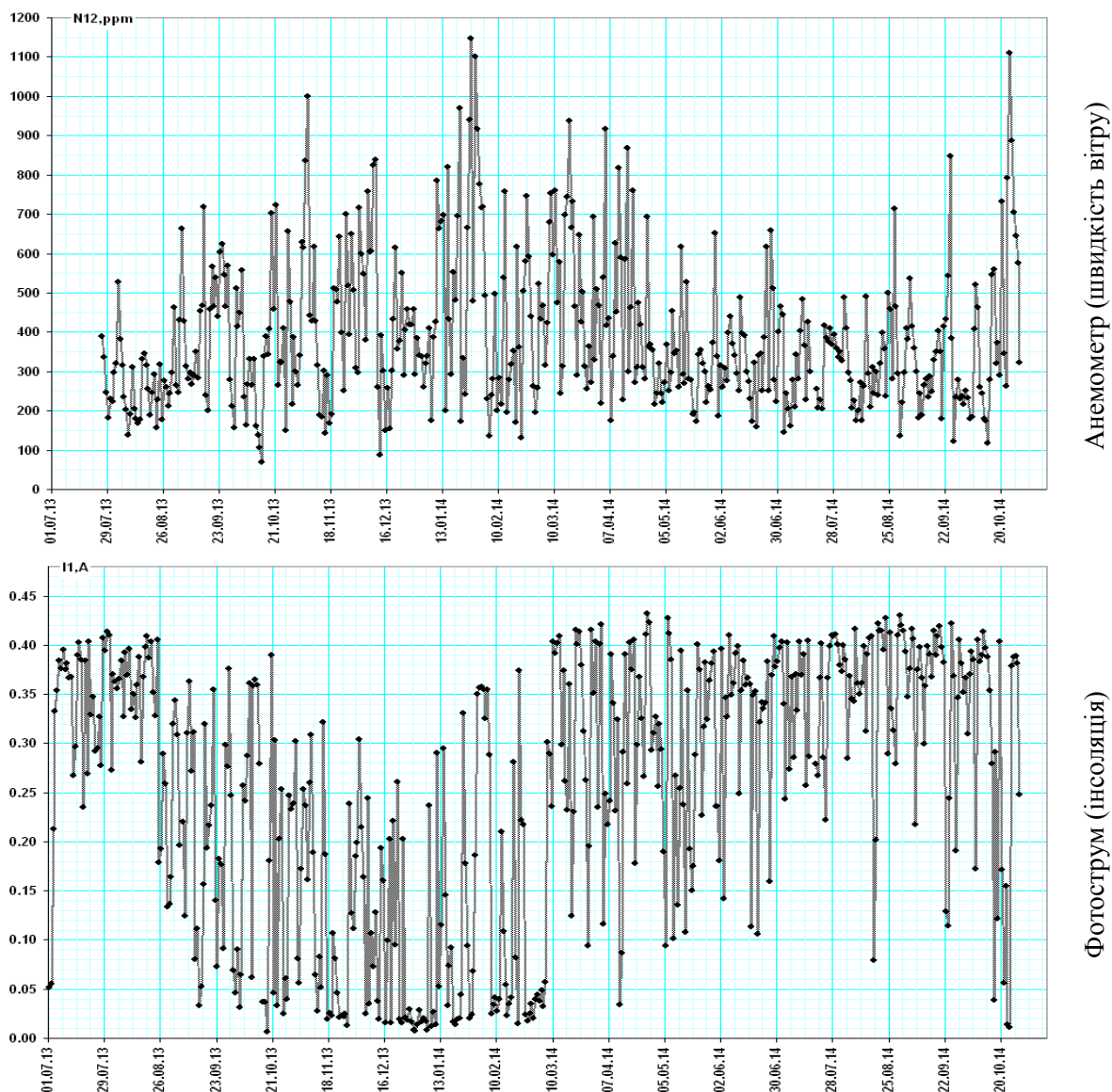


Рис.1. Варіації середньодобових значень вітру та інсоляції

Варіації фотоструму на багатоденному інтервалі описуються емпіричною моделлю [3], що враховує сезонні та добові варіації освітленості для безхмарного неба, та вплив балу хмарності за метеорологічними спостереженнями.

Для зручності подальших розрахунків значення швидкості вітру та фотоструму було нормовано до відповідних середніх значень. На рис.2 наведено двовимірну гістограму нормованих середньодобових значень швидкості вітру та інсоляції. Поряд з відповідною віссю наведено звичайну, одновимірну гістограму ймовірності певних значень вітру, або інсоляції. Середнім значенням вітру та інсоляції відповідає точка з координатами (1, 1) на двовимірній гістограмі.

Гістограма інсоляції має дві моди: з максимумами біля 1.6 – безхмарні умови влітку, та 0.2 – умови підвищеної хмарності взимку. Гістограма вітру має один максимум біля значення 0.8.

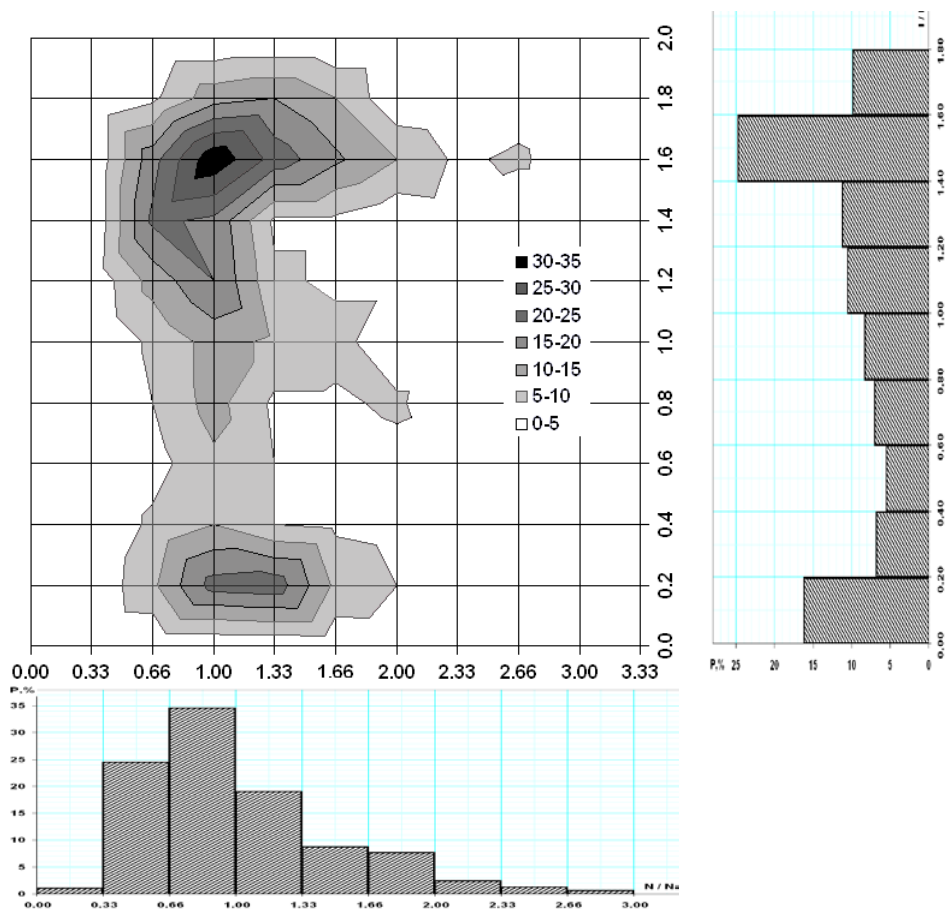
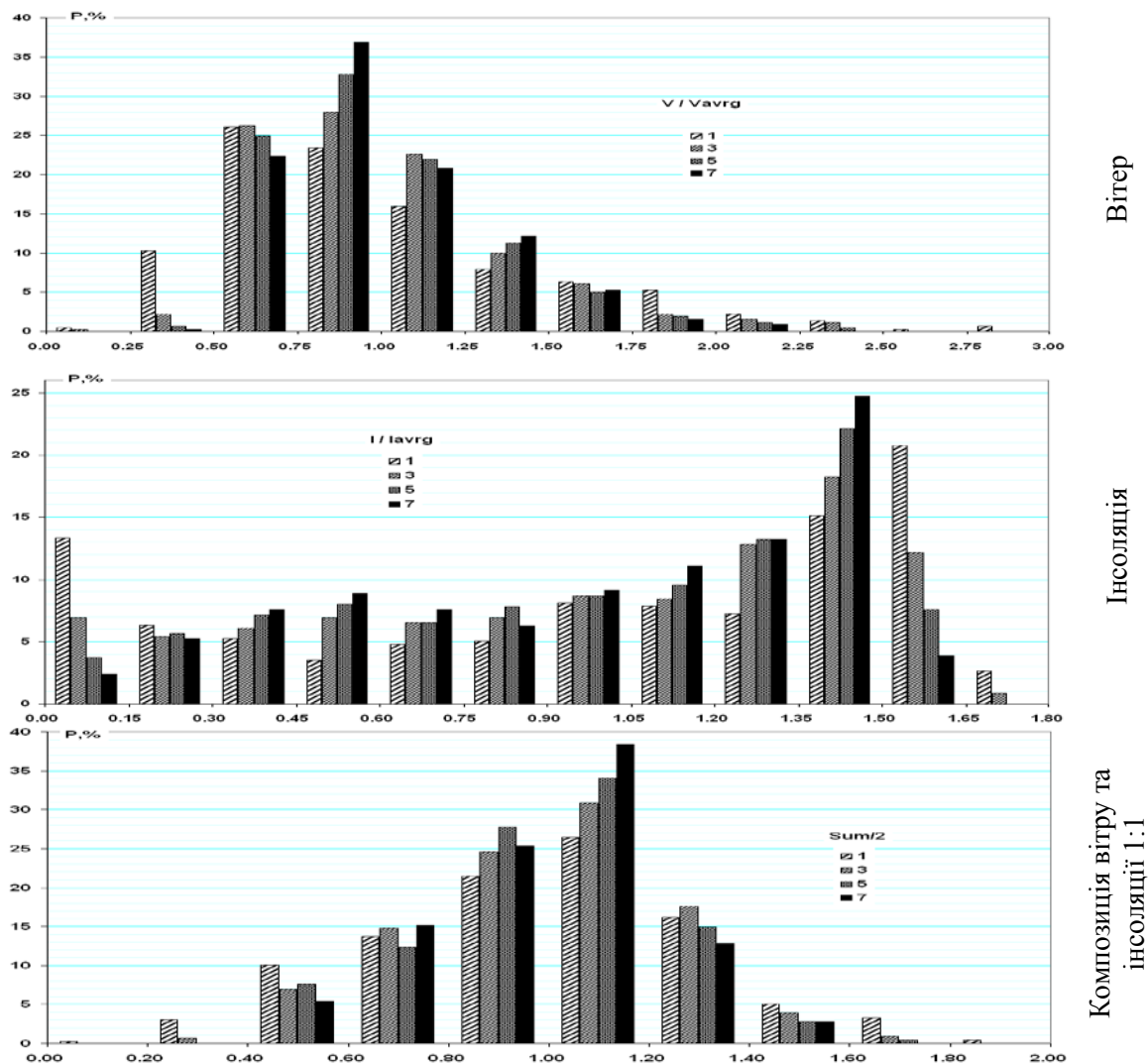


Рис.2. Взаємна статистика швидкості вітру (горизонтальна вісь) та інсоляції (вертикальна вісь).

На двовимірній гістограмі літня мода має координати 1.0 за вітром та 1.6 за інсоляцією, зимова мода – 1.2 за вітром та 0.2 за інсоляцією. Тобто дійсно, вітрогенератори взимку можуть дещо допомагати сонячним батареям. Але в цілому переважають умови, коли є і сонце і вітер, або навпаки - немає ані вітру, ані сонця. Тобто, низька інсоляція - велика хмарність, опади та туман, в Миколаєві тримаються, доки їх не прожне вітер. Випадки, коли вітер допомагає сонцю, або навпаки, - трапляються не дуже часто.

Для забезпечення надійного енергопостачання в умовах недостатнього надходження сонячної або вітрової енергії, необхідно мати можливість накопичення – акумулювання енергії. Природно, що ємність акумуляторів повинна бути тим більшою, чим триваліші “провали” у надходженні енергії. Фактично, акумулятори виконують операцію осереднення пульсацій енергії на певному часовому інтервалі. Для визначення впливу акумулювання енергії було виконано розрахунки ковзаючого середнього для нормованих середньодобових значень енергії за умов усереднення на інтервалах 1 – 7 діб. Відповідні результати наведено на рис.3 у вигляді гістограм ймовірності для 4 значень тривалості усереднення – 1, 3, 5, 7 діб. Наведено результати окремо для вітру та інсоляції (верхні графіки), та для композиції енергій вітру та інсоляції у пропорції 1:1 (графік знизу). Ці графіки слід інтерпретувати наступним чином. Розглядається 3 варіанти енергетичного комплексу з однаковою середньорічною потужністю (умовно 1): вітрогенератор, сонячна установка, композиція з вітрогенератора і сонячної установки з середньорічною потужністю по 0.5 кожна. Кожний варіант комплексу має можливість акумулювати енергію протягом 1 – 7 діб.

Користуючись графіками, можна визначити – як часто будуть траплятися умови, коли надходження енергії до споживача буде знаходитися в певному діапазоні потужностей відносно середньорічних значень.



**Рис.3. Ймовірності середньодобових значень вітру, інсоляції та їх композиції для різних інтервалів усереднення (акумулявання) 1 - 7 діб.**

З огляду графіків рис.3 випливає, що із збільшенням інтервалу усереднення усі гістограми стискаються ближче до середньорічних значень – зменшуються пульсації. Найвужча гістограма (менший рівень пульсацій) має варіант використання комплексу засобів. Окрім того, з гістограм видно, що випадки низьких значень постачання енергії для вітру трапляються значно рідше, ніж для сонця. Тобто випадки тривалої відсутності сонця протягом кількох діб (тижнів) трапляються значно частіше ніж для вітру. Вітер в умовах Миколаєва є практично завжди.

Для більш визначеної оцінки надійності енергозабезпечення було розраховано інтегральні залежності ймовірності перевищення певного мінімального порогу забезпеченості енергією відносно середньорічного значення. Відповідні результати для кількох найнижчих порогів забезпечення енергією наведено у таблиці 1. З таблиці можна визначити, як часто слід очікувати випадків, коли потрібний мінімальний поріг постачання енергії не буде забезпечено. Для порівняння, у другому стовпчику наведено мінімальне середньодобове значення потужності відносно середньорічного значення за умов відсутності акумулявання енергії.

Таблиця 1. Ймовірність незабезпеченості заданого порогу мінімальної енергії в залежності від можливості усереднення (акумулявання) енергії на певному добовому інтервалі.

Джерело енергії	Середньодобовий мінімум (461 день)	Кількість днів та ймовірності для різних добових інтервалів усереднення енергії				Поріг від середнього
		1 доба	3 доби	5 діб	7 діб	
Вітер	0.18	0 0%	0 0%	0 0%	0 0%	<b>0.1</b>
		1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	<b>0.2</b>
		3 0.7%	2 0.4%	0 0.0%	0 0.0%	<b>0.3</b>
Інсоляція	0.02	41 9%	18 4%	11 2.4%	6 1.3%	<b>0.1</b>
		74 16%	40 9%	23 5%	25 5%	<b>0.2</b>
		90 20%	57 12%	43 9%	35 8%	<b>0.3</b>
Композиція вітер та інсоляція 1:1	0.19	0 0%	0 0%	0 0%	0 0%	<b>0.1</b>
		1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	<b>0.2</b>
		7 1.5%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	<b>0.3</b>

З наведеної таблиці видно, що для вітру випадків коли середньодобова потужність опускалась нижче 0.1 від середньорічного значення не було зареєстровано (0%). Був лише один випадок (0.2%), коли середньодобова потужність опускалась нижче порога 0.2, та 3 випадки (0.7%) - нижче порога 0.3. Достатньо мати акумулятор ємністю на 5 діб, щоб звести ймовірність випадків падіння потужності нижче порогу 0.3 до нуля.

Для сонячної енергії картина значно гірша. Випадки, коли потужність спадає нижче заданого мінімального порогу, трапляються занадто часто. Для мінімального порогу 0.1 і акумуляторів ємністю тільки на 1 добу маємо 41 випадок (9%), а для порогу 0.3 – 90 випадків (20%). Навіть за наявності акумулятор на 7 діб, випадки, коли потужність падає нижче порогу 0.1, мають ймовірність 1.2%, а для порогу 0.3 – 8%.

Досить оптимістичний вигляд мають результати для композиції засобів вітрової та сонячної енергії. Достатньо мати акумулятор ємністю на 2 доби, щоб гарантувати, що потужність не впаде нижче порогу 0.3 від середньорічного значення. Враховуючи вартість технічних засобів вітряної та сонячної енергетики, а також систем акумулявання, можна було б знайти оптимальне за економічною рентабельністю рішення щодо співвідношення відповідних потужностей.

За даними Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України (ІВЕ НАНУ), протягом останніх восьми років відбулося трьохкратне падіння ціни на фотовольтаїчні установки і сьогодні їх вартість складає 1685-2370\$/kW встановленої потужності. Для вітрогенераторів вона становить 1410-2475\$/kW. Тобто, капітальні витрати на спорудження вітрових та сонячних систем сьогодні приблизно рівні. Однак, коефіцієнти використання номінальної потужності (КВНП) для умов Миколаєва для цих видів обладнання дещо відрізняються: для фотоустановок КВНП складає 0.3 [1], а для вітрогенераторів – 0.4 [4]. Таким чином, собівартість електроенергії, виробленої за рахунок вітру, буде меншою від собівартості енергії, виробленої з використанням сонячної інсоляції. Середньосвітові показники собівартості за даними ІВЕ НАНУ сьогодні становлять для вітроелектростанцій 0.044\$/kW·h електроенергії, а для фотовольтажу – 0.225\$/kW·h.

Акумулятори є важливою та чи не найдорожчою частиною альтернативних систем. Від їх якості і ємності залежить надійність і комфортність експлуатації енергетичної установки. Не кожна акумуляторна батарея може бути використана в гібридному комплексі «вітрогенератор + фотоелектричні модулі». Акумулятори в такому комплексі повинні відповідати особливими технічними характеристикам і підвищеною надійністю, з можливістю тривалих і глибоких циклів заряду-розряду. Вартість акумуляторних батарей на сьогодні становить 240-260\$/kW·h.

#### **Висновки:**

1. Вітер та інсоляція мають суттєво різні статистичні властивості, що змінюються протягом року.
2. Вітер, в умовах Миколаєва, є більш надійним та сталим джерелом енергії у порівнянні з сонцем.
3. Для надійного енергозабезпечення потрібно мати акумулятор, що буде згладжувати (усереднювати) пульсації надходження енергії. Ємність акумулятора (інтервал усереднення) для сонячних батарей повинна бути суттєво більшою, ніж для вітрогенератора.
4. Комбінування вітрогенераторів, сонячних батарей та акумуляторів помітно збільшує надійність енергозабезпечення. Для оптимізації співвідношення вкладів різних джерел енергії для забезпечення потрібного рівня надійності потрібно додатково враховувати, як вартість технічних засобів, так і вартість їх експлуатації.

#### **Список використаної літератури**

1. Зюляев Д.Д., Кубов В.И., Павленко А.А., Черемісіна В.В. Комплекс засобів контролю температурних режимів університету та дослідження джерел “зеленої” енергії у миколаївському регіоні. // Вісник кійвського національного університету технологій та дизайну. №6(74), 2013. Київ, 2013. с.40-44.
2. Боженко А.Л., Зюляев Д.Д., Козуб С.В., Кубов В.И. Опыт регистрации параметров ветра в цифровой системе измерения параметров внешней среды. // Наукові праці. т.233, вип.221. Техногенна безпека. Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили. 2014, с.21-32.
3. Андреев В.И., Кубов В.И., Кубова Р.М., Павленко А.А. Экспериментальные и теоретические исследования параметров солнечных фотоэлектрических батарей для оценки их энергетической эффективности. // Наукові праці. т.210, вип.198. Техногенна безпека. Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили. 2013, с.129-136.
4. Клименко Л.П., Воскобойникова Н.А. Энерго- и ресурсосбережение при комплексном использовании солнечной и ветровой энергии в условиях юга Украины. // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Сборник научных трудов 9-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Том 2. – Минск – Тула – Донецк, 2013. – С. 325-329.

#### **РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕЛИОСИСТЕМ И ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ**

АНДРЕЕВА Н.Ю., ВОСКОБОЙНИКОВА Н.О., ЗЮЛЯЕВ Д.Д., КЛИМЕНКО Л.П., КУБОВ В.И., ПАВЛЕНКО А.А.

*Черноморский государственный университет им. П. Могилы*

Приводятся результаты одновременных измерений скорости ветра и инсоляции на автоматическом цифровом исследовательском комплексе ЧГУ им. П. Могилы в период 07.2013 – 10.2014.

Рассчитываются статистические характеристики среднесуточных значений ветра и инсоляции, и их взаимных связей.

Вычисляется вероятность определенных уровней обеспечения энергией для отдельного и совместного использования ветряных и гелиосистем в зависимости от возможности аккумуляции энергии на интервалах времени от 1 до 7 дней.

**Ключевые слова:** *энергосбережение, солнечная энергия, энергия ветра, надежность энергообеспечения.*

## ESTIMATION OF ENERGY SUPPLY RELIABILITY IN CONDITIONS OF COMPLEX USAGE OF HELIOSYSTEMS AND WIND TURBINES

ANDREEVA N.YU., VOSKOBOYNIKOVA N.O., ZIULIAIEV D.D., KLIMENKO L.P., KUBOV V.I., PAVLENKO A.A.

*Petro Mohyla Black Sea State University*

The results of simultaneous measurements of wind speed and insolation on automatic digital research complex Petro Mohyla Black Sea State University by the period of 07.2013 - 10.2014 are presented.

The statistical characteristics of daily averages of wind speed and insolation, and their mutual relations are calculated.

The probability of certain levels of energy supply is calculated for the separate and complex usage of wind and solar systems, depending on the capabilities of energy accumulation at intervals from 1 to 7 days.

**Keywords:** *energy conservation, solar power, wind power, energy supply reliability.*

УДК 338.984

ХМУРОВА В.В., ГРАЩЕКО І. С.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВІТЧИЗНЯНИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Мета.** Підвищення вартості енергоресурсів, невиправдано великі рівні споживання енергії, значні обсяги імпорту енергоресурсів та інші причини загострюють актуальність політики енергоефективності в Україні. Тому метою дослідження є визначити існуючі проблеми енергоефективності на вітчизняних підприємствах України.

**Методика.** Інноваційні процеси стали реальною виробничою силою на даному етапі розвитку економіки і їх значення неухильно зростатиме. Тому необхідно у найкоротший строк вивчити досвід вирішення цих проблем, визначити шляхи й механізми реалізації зазначеної політики з урахуванням реальних умов. Для досягнення корисного ефекту ми повинні якомога повніше використовувати енергію і звести до мінімуму непродуктивні витрати.

**Результати.** Для успішної реалізації нововведень у промисловості України на нашу думку необхідно умовно виділити наступні варіанти політики щодо підвищення рівня енергоефективності:

1. Політика застосування прискорених циклів підвищення рівня енергоефективності у промисловості - експрес-оцінка та експрес-реагування.
2. Політика енергоефективності як наслідок впливу передових технологій, зусилля якої направляються на поступову зміну економічної структури господарського механізму.
3. Політика "лозунгового підвищення рівня енергоефективності" в галузях промисловості, що має місце на даний час в Україні.

**Наукова новизна.** Розробка нових методів оцінки і прогнозування енергозберігаючих заходів та технологій в галузях промисловості; обґрунтування режимів і параметрів експлуатації технологічного обладнання, максимально і мінімально допустимих (критичних) значень витрат електричної енергії, оптимізації цих витрат і матеріальних ресурсів, а також тривалості впровадження новітніх технологій.

**Практична значимість.** З огляду на значний вплив показника енергомідкості випуску промислової продукції на загальну ефективність промисловості, його вирішальну роль у забезпеченні конкурентоспроможності виробництва, необхідне впровадження цілеспрямованої політики зниження енергомідкості за рахунок ефективності використання енергетичних ресурсів.

**Ключові слова:** *енергоефективність, політика енергоефективності, розвиток підприємств.*

**Вступ.** На нинішньому етапі проблема енергоефективності стала однією з найактуальніших проблем, оскільки вітчизняна промисловість характеризується кризовими явищами, обумовленими економічною ситуацією в країні. Нераціональне використання енергії, палива, характерне для переважної більшості галузей. Підвищення вартості енергоресурсів, невиправдано великі рівні споживання енергії, значні обсяги імпорту енергоресурсів та інші причини загострюють актуальність політики енергоефективності в Україні. Застосування нововведень у галузях промисловості вимагає