

ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРО- ТА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

УДК 621.311

АНАЛІЗ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ПОГОДИННОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ФОТОВОЛЬТАЇЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ НА ДОБУ НАПЕРЕД

Лежнюк П. Д.¹, Комар В. О.¹, Кравчук С. В.¹, Дідіченко Є. С.²

¹Вінницький національний технічний університет,
²KNESS R&G Center

В роботі представлений аналіз механізмів функціонування нової моделі оптового ринку електроенергії. Відповідно до якого робота станцій, що базуються на використанні відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), зокрема фотовольтаїчних електростанцій (ФЕС), повинна відбуватись по заявленому власником станції погодинному графіку генерування на добу наперед. З метою забезпечення точності прогнозованого графіка, було проведено дослідження, щодо визначення метеопараметрів, що в найбільшій мірі впливають на виробіток електроенергії на фотовольтаїчних електричних станціях.

Постановка проблеми. В нових економічних умовах все більшого розповсюдження набувають фотовольтаїчні електричні станції (ФЕС) прямого перетворення енергії. Їх використання, крім отримання прибутку від реалізації електроенергії [1], за певних умов дозволяє розвантажувати електромережі та покращувати якість електроенергії [2-5]. Однак зростання їх частки у енергобалансі України, а також збільшення одиничних встановлених потужностей призводить до необхідності врахування та компенсації нестабільності таких джерел енергії. Остання зумовлена значною залежністю режимів їх роботи від впливу навколишнього середовища. Нестабільність режимів роботи ФЕС [6] може негативно впливати на балансову надійність енергосистеми, а також на стійкість її роботи. Для забезпечення функціонування енергоринку України, враховуючи позитивну тенденцію щодо розбудови ФЕС, очікуються зміни умов їх функціонування з введенням практики попередніх заявок на генерування для узгодження їх сумісної роботи з традиційними джерелами енергії. Реалізація такого механізму зумовлює необхідність розроблення ефективної системи для короткотермінового погодинного прогнозування обсягів електроенергії, генерованих ФЕС та режимів їх роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою виконання зобов'язань відповідно до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства, українські державні органи влади разом із Секретаріатом Енергетичного Співтовариства (ECS) розпочали

процес транспозиції Третього Енергетичного Пакету, згідно якого було прийнято новий закон "Про ринок електричної енергії України". Відповідно до положень закону [7], для виробників, які виробляють електричну енергію на об'єктах електроенергетики, що використовують енергію вітру і сонячного випромінювання, для яких встановлено "зелений тариф", плата за небаланс встановлюється наступним чином: до 31 грудня 2019 року — 0 %, з 1 січня 2020 року — 10 %, з 1 січня 2021 року — 20 %, з 1 січня 2022 року — 40 %, з 1 січня 2023 року — 60 %, з 1 січня 2024 року — 80 %, з 1 січня 2025 року — 100 %.

Таким чином, з виробника електричної енергії з ВДЕ щоразу стягується/зараховуються вартість небалансів за ціною небалансу помноженою на обсяги небалансу, які розраховуються як різниця між власним прогнозом на добу наперед і фактичними виміряними обсягами. Для підвищення точності такого прогнозу необхідно визначити які метеопараметри в найбільшій мірі впливають на виробіток електроенергії на електростанціях на базі ВДЕ, зокрема ФЕС.

Метою статті є аналіз впливу метеопараметрів для погодинного прогнозування виробітку електроенергії фотовольтаїчними електростанціями на добу наперед.

Основні матеріали дослідження. Проведений аналіз результатів натурних експериментів дозволяє визначити перелік метеопараметрів і точність їх оцінювання в задачі прогнозування виробітку електричної енергії конкретною ФЕС на добу вперед.

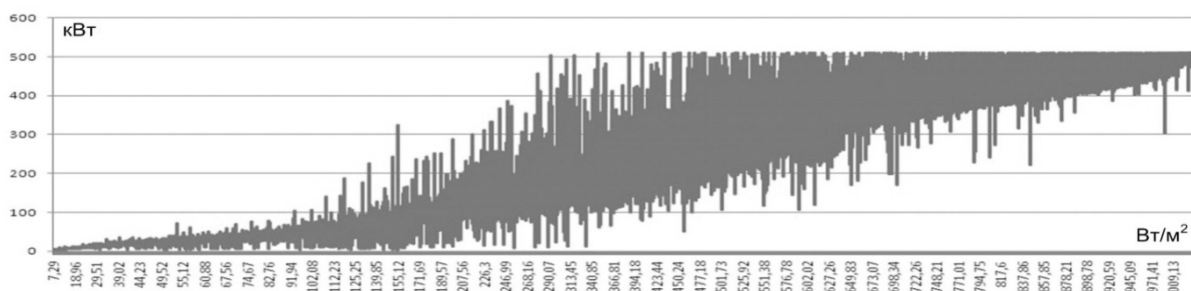


Рисунок 1 – Залежність активної потужності від сонячної радіації на поверхні панелі (протягом року)

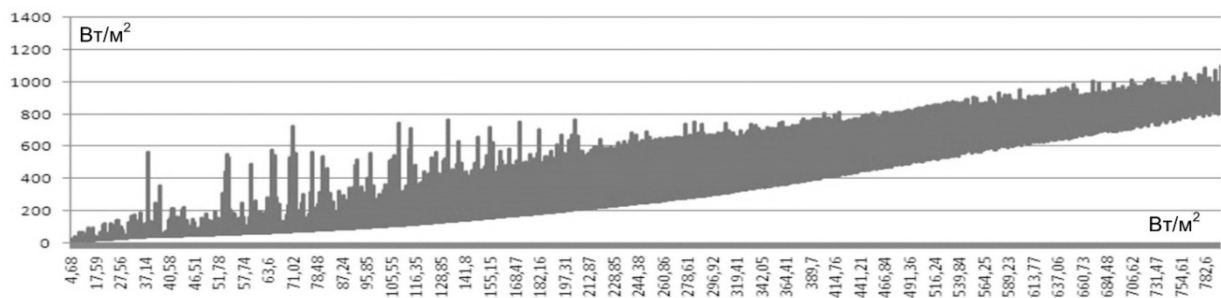


Рисунок 2 – Залежність сонячної радіації на поверхні землі від сонячної радіації на поверхні панелі (протягом року)

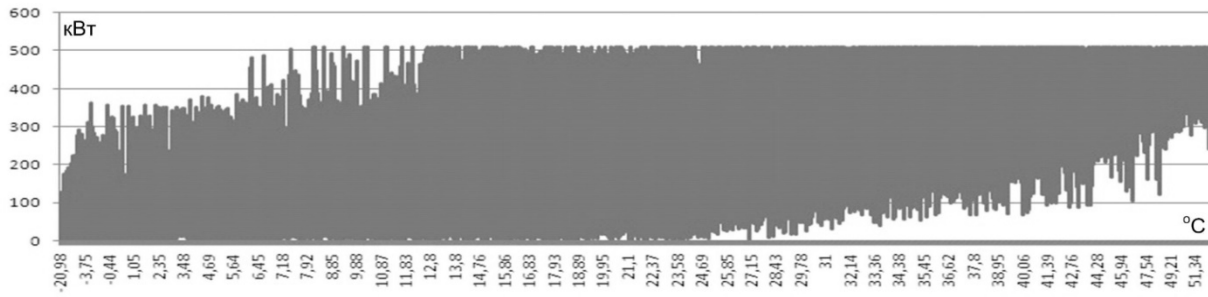


Рисунок 3 – Залежність активної потужності від температури панелі (протягом року)

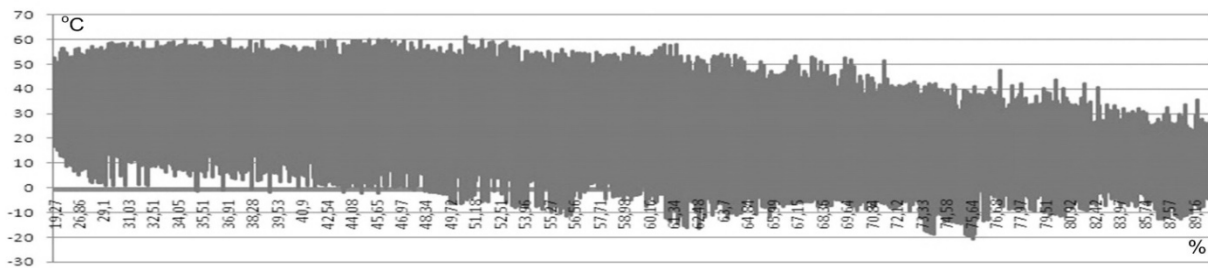


Рисунок 4 – Залежність температури панелі від вологості (протягом року)

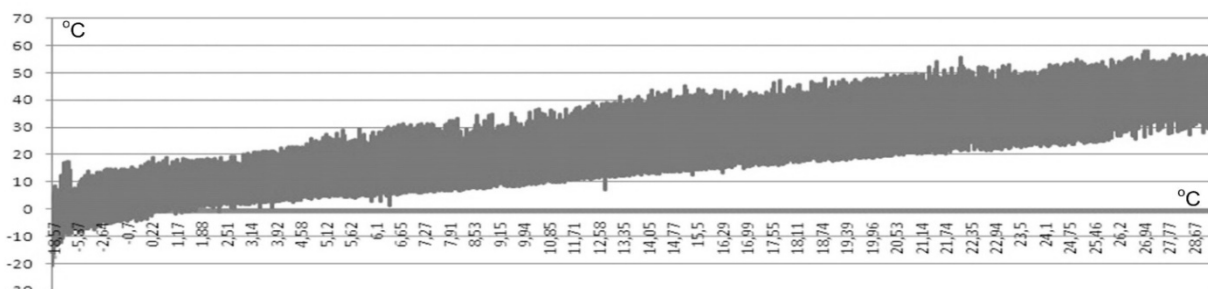


Рисунок 5 – Залежність температури панелі від температури навколишнього середовища (протягом року)

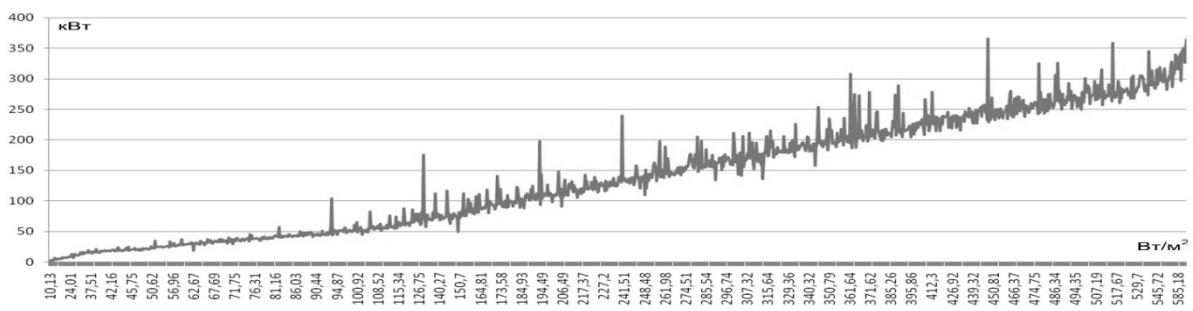


Рисунок 6 – Залежність сонячної радіації на поверхні панелі від сонячної радіації на поверхні землі (протягом березень-квітень-травень)

На рис. 1.6 показано залежності між різними параметрами. Спостерігається чіткий тренд в залежності між генерованою активною потужністю і сонячною радіацією (рис.2) Це дозволяє зробити висновок про визначальність цього параметра в задачі прогнозування генерованої потужності. Наявність певної області можливих значень в околі тренду свідчить про вплив інших параметрів з одного боку і певну імовірність хибних спрацювань системи моніторингу. Аналіз інших залежностей дозволяє визначитись з переліком додаткових параметрів, врахування яких під час розв'язання задачі прогнозування дозволить отримати результати прийнятної точності. На рисунку 7 показано залежність генерованої активної потужності від сонячної радіації на поверхні панелі після виконання часткової фільтрації вихідних даних на предмет хибності спрацювання системи моніторингу. Очевидним є доцільність такого фільтрування. Для підтвердження візуальних висновків щодо важливості параметрів в роботі був виконаний математичний аналіз даних засобами пакету Statistica 10.

Проведений кластерний аналіз (рис.7) дозволив розбити результати вимірювань на групи.

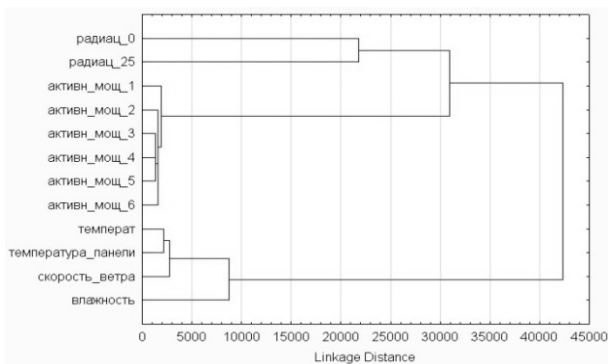


Рисунок 7 – Результати кластерного аналізу

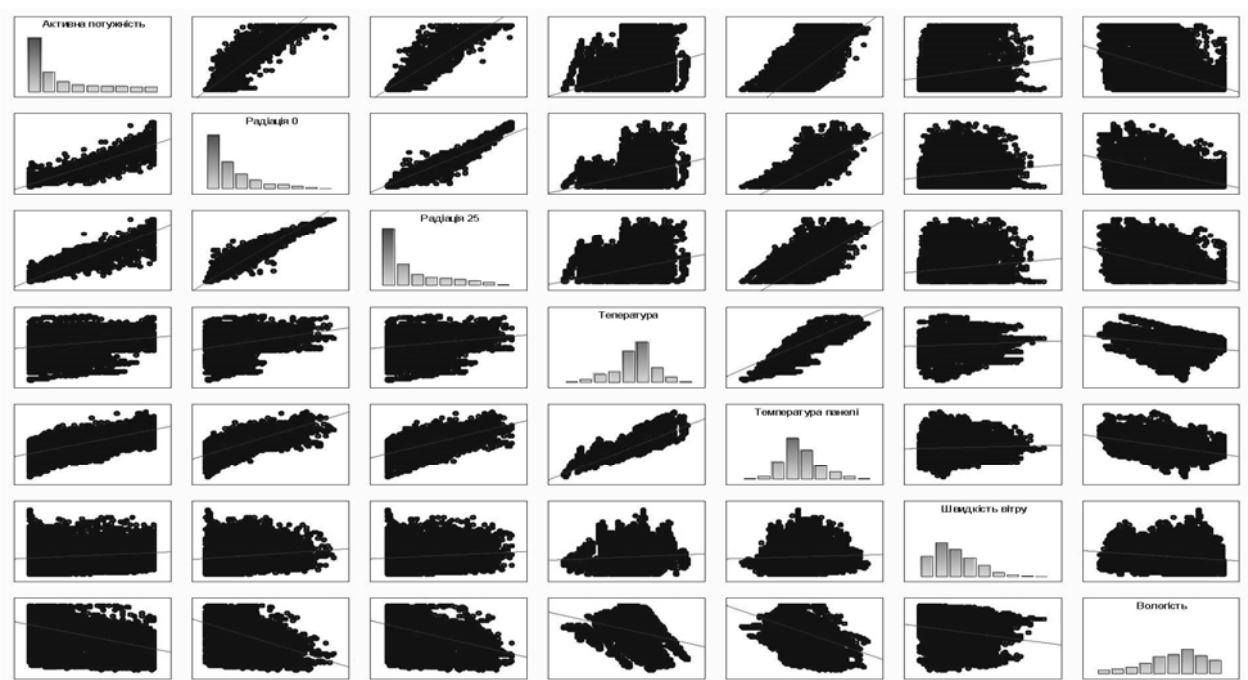


Рисунок 8 – Результати регресійного аналізу

Кожна група має близькі закони їх зміни. Довжини з'єднувальних ліній між групами характеризують впливовість груп одна на одну.

Відповідно до проведеного аналізу можна зробити висновок, що визначальним параметром для оцінювання генерованої активної потужності є сонячна радіація, менш впливовою є температура панелі.

Оскільки зробити прогноз сонячної радіації на поверхні панелі і її температури безпосередньо не можливо, то необхідно визначитись з додатковими параметрами, за якими можна оцінити визначальні метеопараметри. На це питання кластерний аналіз дозволяє отримати відповідь.

Відповідно до впливових груп сонячну радіацію на поверхні панелі можна визначити за радіацією на поверхні землі; температуру панелі за температурою навколишнього середовища, швидкістю вітру і вологістю.

На ряду з кластерним аналізом був проведений регресійний аналіз. Регресійний аналіз виявляє кількісну залежність ознаки-фактора (залежної змінної) від одного або декількох ознак-факторів (незалежної змінної).

Графічне представлення результатів цього аналізу показано на рис. 8. Коефіцієнти регресії зведені в табл. 1.

Основна частина висновків підтвердила результати наведені вище. Крім того підтвердила достатньо складну залежність між додатковими метеопараметрами.

Відповідно до коефіцієнтів регресії впливовість параметрів можна розташувати в такій послідовності:

- радіація на поверхні землі;
- температура навколишнього середовища;
- вологість;
- швидкість вітру.

Таблиця 1 – Результати регресійного аналізу

	Активна потужність	Радіація 0	Радіація 25	Температура	Температура панелі	Швидкість вітру	Вологість
Активна потужність	1,00	0,94	0,97	0,28	0,73	0,14	-0,46
Радіація 0	0,94	1,00	0,95	0,34	0,75	0,15	-0,49
Радіація 25	0,97	0,95	1,00	0,24	0,71	0,12	-0,45
Температура	0,28	0,34	0,24	1,00	0,80	0,07	-0,28
Температура панелі	0,73	0,75	0,71	0,80	1,00	0,047	-0,42
Швидкість вітру	0,15	0,15	0,12	0,07	0,04	1,00	-0,18
Вологість	-0,46	-0,49	-0,45	-0,28	-0,42	-0,17	1,00

Радіація 0 – радіація на поверхні панелі, Радіація 25 – радіація на поверхні землі.

Оскільки точність прогнозування виробітку електроенергії ФЕС напряму залежить від точності прогнозу метеопараметрів, виникає логічне питання аналізу основних метео-сервісів, щодо отримання таких даних.

Аналіз джерел прогнозування метеопараметрів. Незважаючи на величезний вибір інтернет-сайтів про погоду, лише деякі з них використовують власні прогнози. Наприклад, погоду на сайті Sinoptic.ua не можна уточнити у Yandex, оскільки обидва сервіси використовують дані фінської метеорологічної служби Foreca. Також навряд чи істотні відмінності в прогнозі знайдуться у британської BBC і російського rp5. Обидва сервіси користуються даними британського метеорологічного бюро MetOffice.

Американські сервіси такі як, Weather Underground, AccuWeather, Weather Channel будують свої прогнози на основі американської чисельної моделі прогнозування GFS (Global Forecast System).

На сьогодні в світі існує три головні глобальні чисельні моделі прогнозування погоди, або гідродинамічні моделі атмосфери. Тобто дані з усіх метеостанцій світу, супутників, аналізуються, збираються й обробляються трьома способами на основі нелінійних рівнянь.

Foreca - один з провідних світових постачальників "погодного" контенту використовує модель ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Ця модель є найновішою, швидко розвивається та спеціалізується на довгострокових прогнозах.

Модель UkMet використовується метеорологічною службою MetOffice – Британського урядового метеобюро. Дана модель спеціалізується на короткостроковому прогнозі.

Щодо американської моделі GFS, то вона має найбільше покриття (практично вся земна куля). Модель GFS оперується NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – Національним центром атмосферних і океанічних досліджень США. Зараз вихідні дані GFS знаходяться у відкритому безкоштовному доступі на американських серверах.

Використання даної моделі для широт України не є доцільним, оскільки вона не враховує снігові покриви.

Багато метеоресурсів комбінують дані основних глобальних моделей та використовують різноманітні додаткові "поправки на вітер" від провідних світових метеорологічних організацій. Інші ресурси, наприклад, Gismeteo, розробляють власні унікальні моделі. Є й альтернативні моделі. Приміром, український Meteorprog будує свій прогноз на основі перспективної моделі WRF – що є похідною моделлю GFS.

1. <http://www.gismeteo.ua>. У базі сайту понад 15 000 міст України й близько 50000 міст світу, в компанії використовують власну унікальну модель прогнозування погоди на основі даних GFS і UKMET.

2. <http://sinoptik.ua>. Сайт надає інформацію про погоду в Україні у всіх 29815 населених пунктах та для 104 000 міст світу. Прогнози на Sinoptic беруть у Foreca, а інформацію про фактичну погоду - в українського гідрометцентру.

3. <http://www.meteorprog.ua>. Прогноз для 15 000 міст світу і 1209 населених пунктів України складається на власному високопродуктивному комп'ютерному кластері Meteorprog на основі чисельної моделі прогнозу погоди WRF (Weather Research and Forecasting).

4. <http://pogoda.yandex.ua>. Дані для 12146 міст у 228 країнах для Яндекс надає фінська служба Foreca, що складає прогноз погоди за моделлю ECMWF. Окрім Yandex, клієнтами Foreca є Google, Microsoft, AOL, фінські та шведські авіакомпанії та безліч інших організацій.

5. <http://www.meteo.gov.ua/>. Сайт українського Гідрометцентру - урядового синоптичного джерела, яке постачає офіційні дані для українських ЗМІ. Прогноз в Гідрометцентрі складається на основі моніторингу 10 000 наземних метеостанцій, 189 з яких знаходяться в Україні, 100 аерологічних станцій на суші та на кораблях, 100 дрейфуючих станцій, 600 буїв, а також даних із космічних супутників.

6. Worldweatheronline.com. Мережа американської метеорологічної служби Worldweatheronline охоплює понад 2 мільйони локацій по всьому світу. Для розрахунку прогнозів погоди тут використовують власну глобальну модель: ансамбль ECMWF, американської NOAA GFS2, дані Всесвітньої метеорологічної організації, дані із супутників NASA, дані японської моделі JMA - Japan Meteorological Agency.

7. <http://www.intellicast.com>. Професійний американський метеосайт використовує результати моделі з охопленням по всій земній кулі.

8. <http://www.bbc.co.uk/weather/>. Погодна служба BBC від одного з провідних світових інформативних агентств і надає інформацію про погоду за ліцензією британської метеорологічної служби MetOffice, тобто використовує прогностичну модель Ukmnet. Зараз прогноз складається для 5000 міст світу.

9. www.weather.com. Сервіс американського телевізійного каналу про погоду The Weather Channel (TWC). Використовують прогностичну модель GFS. Погоду від weather.com ретранслює пошуковик Yahoo.

10. <http://www.accuweather.com>. Американська комерційна погодна служба на основі моделі GFS з 2 мільйонами локацій по всьому світу в базі даних. Зараз служба спеціалізується на платних сервісах для метеорологів, продажем прогностичного контенту у вигляді файлів XML й розробкою зручного "погодного" софту для PC, смартфонів та планшетів.

Висновки. В роботі проаналізовані засади функціонування нового закону про оптовий ринок електроенергії. Умови його впровадження передбачають генерування станцій на базі відновлювальних джерел енергії по заявленому на добу наперед графіку. За невиконання заявленого графіка, законом передбачається введення штрафів, що до 2025 року, будуть відповідати повній сумі небалансу між заявленою та генерованою потужністю, за виключенням $\pm 5\%$, що надається регулятором, для зменшення збитків власників станцій від неточності прогнозу та врахування похибки вимірних пристроїв. Враховуючи залежність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС, від метеопараметрів, було визначено такі, що найбільше впливають на погодинний виробіток електроенергії ними. Для отримання точних результатів аналізувались дані різних метеосервісів та порівнювались з вимірними на метеопості, що встановлений безпосередньо на станції.

Список використаних джерел

1. Burykin O. V. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / O. V. Burykin, J. V. Malogulko, Y. V. Tomashevskiy, P. Komada, N. A. Orshubekov, M. Kozhamberdievya, A. Sagymbekova // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. – R. 93. – NR 3/2017. – P. 97-102.

2. Попов В. Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей / В. Попов, Е. Ярмолук, П. Замковой // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 2. – P. 61-68.

3. Kulyk V. V. Operational control of the flow of reactive power in the distribution of electrical dispersed generation / V. V. Kulyk // Proceedings of the Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences. Collected Works. Special-start you. – 2013. – P. 151-158.

4. Intelligent electricity networks: elements and modes / Ed. OV Kirilenko. – Kyiv: Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, 2016. – 400 p.

5. Buslavets O. Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O. Buslavets, P. Legnuk, O. Rubanenko // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2015. – No. 2/8 (74). – P. 35-41.

6. Lezhniuk P. D. Evaluation of probability characteristics of solar power generation in the problem of intellectualization of local electric systems / P. D Lezhniuk, V. A Komar, S. V. Kravchuk // Vestnik NTU "KPI" Series: New solutions in modern technologies. – Kharkov: NTU "KPI", 2016. – №18 (1190). – P. 92-100.

7. Закон України про "Про ринок електричної енергії" від 13.04.2017 № 2019-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.

Анотація

АНАЛИЗ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОЧАСОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА СУТКИ ВПЕРЕД

Лежнюк П. Д., Комар В. А.,
Кравчук С. В., Дидиченко Е. С.

В работе представлен анализ механизмов функционирования новой модели оптового рынка электроэнергии. Согласно которому работа станций, основанных на использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности фотовольтаических электростанций (ФЭС), должна происходить по заявленному собственником станции почасовом графике генерирования на сутки вперед. С целью обеспечения точности прогнозируемого графика, было проведено исследование, по определению метеопараметров, что в наибольшей степени влияют на выработку электроэнергии на фотовольтаических электрических станциях.

Abstract

METEOFARAMETER ANALYSIS FOR PROGNOSIS OF ELECTRICITY DEVELOPMENT OF PHOTO-VOLTAGE ELECTRICAL POWER PLANT DAY AHEAD

P. Lezhniuk, V. Komar,
S. Kravchuk, E. Didichenko

The paper presents an analysis of the mechanisms of functioning of the new model of the wholesale electricity market. According to which the work of stations based on the use of renewable energy sources (RSE), in particular photovoltaic power plants (PPP), should occur according to the declared owner of the station by hourly generation schedule for the day ahead. In order to ensure the accuracy of the predicted graph, a study was carried out to determine the meteorological parameters, which most affected the generation of electricity at photovoltaic electric stations.