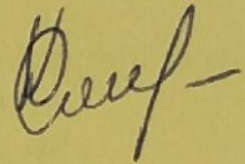


Міністерство освіти і науки України
Національний університет "Львівська політехніка"

КРАВЧИШИН ВІТАЛІЙ СТЕПАНОВИЧ



УДК 004.[89+942]

**ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ КОМПЛЕКСНОЮ СИСТЕМОЮ
ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

05.13.06 - Інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Медиковський Микола Олександрович,
Національний Університет “Львівська політехніка”,
директор Інституту комп’ютерних наук та інформаційних технологій

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Сеньківський Всеволод Миколайович,
Українська академія друкарства,
завідувач кафедри комп’ютерних наук та інформаційних технологій

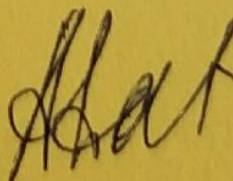
доктор технічних наук, доцент
Осипенко Володимир Васильович,
Київський національний університет технологій та дизайну,
професор кафедри комп’ютерної інженерії та електромеханіки

Захист відбудеться “2” липня 2019 р. о 16³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12, ауд. 226, головного навчального корпусу

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий 29 травня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



А.Є. Батюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Раціональне використання поновлювальних джерел енергії є одним із важливих напрямів розвитку економіки. При реалізації сучасних вітрових електричних станцій, які за наявності енергоакумулюючого елемента можна віднести до комплексних систем генерації електричної енергії, необхідно враховувати можливості існуючих систем електропостачання, сучасних особливостей процесів споживання електроенергії та обмеження щодо можливості використання вітрових електричних установок (ВЕУ). Цим зумовлюється складність проектування та експлуатації таких систем. Ефективним елементом усунення (пом'якшення) ряду деяких обмежень є застосування засобів акумулювання електричної енергії. Але при цьому виникають нові наукові завдання, які стосуються управління енергодинамічними режимами у складній технічній системі за невизначеності окремих параметрів.

Сучасний стан розвитку автоматизованих систем диспетчерського управління (АСДУ) енергодинамічними режимами потужних вітрових електростанцій (ВЕС) характеризується тим, що крім завдань виробництва електроенергії згідно з заданим графіком одночасно таким об'єктам ставляться завдання компенсації реактивної потужності, покриття пікових навантажень, тощо. Причому, реалізація таких режимів нерідко відбувається за умов невизначеності багатьох параметрів.

Відомі наукові результати, на яких базуються алгоритми функціонування автоматизованих систем диспетчерського управління складними енергетичними системами (Руденко Ю.М. (основи автоматизованого оперативного управління великими енергетичними системами), Веніков В.А. (моделювання потужних енергетичних систем, стійкості електроенергетичних систем, методів їх автоматичного регулювання режимів), Сергієнко І.В (дослідження моделей і методів дискретної оптимізації, розробка інтелектуальних технологій для вирішення завдань трансобчислювальної складності, автоматизація процесів обробки і аналізу даних математичними методами), Беллман Р (основи динамічного програмування) та ін.).

Разом з тим, такі особливості структури вітрової електростанції як: розподіленість елементів ВЕС на значних площах; наявність у їх структурі вітрових установок (ВЕУ) з різними номінальними параметрами, різною готовністю до використання; випадковий характер первинного енергетичного потенціалу; різні функції, які виконують елементи ВЕС, енергетична ємність акумулятора, не дають змоги безпосередньо застосовувати відомі результати для коректного аналітичного розв'язування оптимізаційних завдань, зокрема, щодо формування активного складу вітрової електростанції, тобто визначення множини ВЕУ, які необхідно задіяти в даний час для генерації енергії. Водночас, відомі методи обґрунтування складу ВЕС застосовуються переважно для одноразового аналізу параметрів енергодинамічного режиму роботи. При цьому не розглядаються умови покриття потреб споживачів з активним використанням акумуляторів у складі ВЕС.

Аналіз сучасних результатів досліджень свідчить, що для удосконалення технологічних процесів та автоматизації процесу підтримки і прийняття рішень перспективним напрямом вважається інтелектуалізація систем управління (Бідюк П.І. – розроблення і реалізація інформаційних систем підтримки прийняття рішень на

основі сучасних методів обробки даних, математичного моделювання, прогнозування та прийняття рішень, Філатов В.О. – інформаційні системи, інтелектуальний аналіз даних, Поспелов Д.А. – нові методи управління складними системами, дослідження проблем інтелектуальної архітектури та штучних нейронних мереж, Чебан В.М. – фазове керування режимами електроенергетичних систем, Чукреев Ю.Я. – забезпечення балансової надійності при плануванні розвитку електроенергетичних систем та оперативне управління режимами їх функціонування в режимі реального часу, Стогній Б.С. – автоматизація електричних систем, розробка принципів побудови та оптимізації систем управління електроенергетичними об'єктами).

Таким чином, підвищення рівня інтелектуалізації АСДУ сучасних ВЕС за наявності енергоакумулюючого елемента шляхом розроблення засобів інтелектуальної підтримки прийняття рішень є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота відповідає науковому напряму кафедри автоматизованих систем управління Національного університету “Львівська політехніка” – методи, моделі та компоненти інформаційних управляючих систем і технологій. Дисертація виконана у межах держбюджетної науково-дослідної роботи “Розроблення компонентів для синтезу інтегрованих автоматизованих систем управління”, державна реєстрація № 0114U001232 та науково-дослідної роботи кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка»: “Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону”, державна реєстрація № 0117U1004450.

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є інтелектуалізація системи управління енергодинамічними режимами комплексної генерації енергії сучасною ВЕС з використанням засобів підтримки прийняття рішень щодо набору (складу) вітрових агрегатів для підвищення ефективності використання енергетичного обладнання та гарантованого енергозабезпечення споживачів.

Об'єкт дослідження – процеси управління енергетичними режимами вітрової електростанції за наявності акумулюючого елемента з урахуванням вимог графіка навантажень та можливостей генерації енергії.

Предмет дослідження – методи та засоби інтелектуалізації автоматизованої системи управління (АСУ) енергетичними режимами вітрової електричної станції за наявності засобів акумулювання.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язано такі завдання:

1. Розроблено метод статистичного аналізу швидкості вітру для визначення ймовірнісного діапазону робочих швидкостей вітру, для оцінювання потужності ВЕС.
2. Удосконалено метод визначення активного складу вітрової електричної станції з оптимізацією за параметром відхилення потужності вітропарку від навантаження споживачів.
3. Розроблено модель управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції на основі продукційних правил з метою зменшення

числа перемикачів активного складу ВЕС та забезпечення потреб споживачів в періоди несприятливих погодних умов, за наявності засобів акумулювання енергії.

4. Досліджено вплив енергетичної ємності засобів акумулювання електричної енергії на оптимізацію режимів комплексної генерації електричної енергії.
5. Досліджено залежність кількості перевизначень активного складу вітрової електричної станції від енергетичної ємності енергоакумулюючого елемента.
6. Розроблено засоби інтелектуалізації автоматизованої системи управління енергодинамічними режимами вітрових електростанцій

Методи дослідження. У дисертаційній роботі використано: метод аналізу ієрархій (метод Сааті) – для визначення вагових коефіцієнтів важливості параметрів вітроенергетичної установки; методи інтегрального оцінювання систем – для визначення ефективності ВЕУ; метод статистичного аналізу швидкості вітру, з використанням двопараметричних сімейств неперервних розподілів для визначення ймовірнісних діапазонів швидкостей вітру; метод динамічного програмування для розв'язання задачі пакування рюкзака при вирішенні оптимізаційного завдання визначення набору увімкнених вітрових електроустановок; теорія штучних нейронних мереж для короткострокового прогнозування швидкості вітру та побудови ситуаційних карт особливостей для моніторингу стану системи комплексної генерації в режимі реального часу.

Наукова новизна одержаних результатів. У процесі розв'язання поставлених завдань отримано такі нові наукові результати:

вперше:

- розроблено метод статистичного аналізу швидкості вітру з використанням сімейств двопараметричних неперервних розподілів, що забезпечило можливість визначення ймовірнісного діапазону робочих швидкостей вітру, для оцінювання потужності ВЕС;

- розроблено модель управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції на основі бази продукційних правил з врахуванням ємності енергоакумулюючого елемента, що забезпечує можливість інтелектуалізації процесів управління енергодинамічними режимами;

удосконалено:

- метод динамічного програмування для розв'язання задачі пакування рюкзака при визначенні активного складу ВЕС введенням адитивної функції мети, що враховується на кожному кроці алгоритму та забезпечує необхідний коефіцієнт ефективності набору і мінімізує відхилення результату від заданого навантаження;

отримав подальший розвиток:

- метод визначення активного складу вітрової електростанції, який ґрунтується на удосконаленому методі динамічного програмування, експертних оцінках параметрів, використовує узагальнений критерій ефективності вітрової електроустановки, енергетичну ємність акумулюючого елемента та забезпечує можливість прийняття рішень в режимі реального часу.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблений метод статистичного аналізу швидкості вітру з використанням сімейств двопараметричних неперервних розподілів забезпечує можливість визначення ймовірнісного діапазону робочих швидкостей вітру, для оцінювання діапазону робочих потужностей ВЕС.

Дослідження залежності кількості перевизначень активного складу вітрової електричної станції від встановленої ємності енергоакumuлюючого елемента забезпечує можливість економічного та технічного обґрунтування номінальних параметрів акумуляторної батареї.

Застосування розроблених методів та засобів, дає змогу визначати склад вітрової електростанції в режимі реального часу з врахуванням навантаження споживачів, енергетичного потенціалу вітру, потужностей ВЕС та енергетичної ємності енергоакumuлюючого елемента. Оптимізація складу вітрової електричної станції сприяє зростанню економічної та технічної ефективності використання вітрових електроустановок. Обґрунтовані та розроблені методи використані при розробці інтелектуальної інформаційної технології підтримки прийняття рішень для системи управління комплексною генерацією електричної енергії.

Результати дослідження використані в роботі ТОВ "ЕКО-ОПТИМА", при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи "Розроблення компонентів для синтезу інтегрованих автоматизованих систем управління", науково-дослідної роботи "Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону" та у навчальному процесі НУ "Львівська політехніка". Впровадження матеріалів досліджень підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: метод короткострокового прогнозування швидкості вітру на основі штучних нейронних мереж [1, 16], метод визначення активного складу вітрової електростанції, який ґрунтується на експертних оцінках параметрів, удосконаленому методі динамічного програмування та використовує енергетичну ємність акумуляюючого елемента [1, 2, 9], модифікація методу динамічного програмування для розв'язання задачі пакування рюкзака при визначенні активного складу ВЕС [2], аналіз особливостей застосування акумуляторних батарей у структурі вітрової електричної станції [3, 14], база продукційних правил управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції за наявності енергоакumuлюючого елемента [3], метод статистичного аналізу швидкості вітру з використанням сімейств двопараметричних неперервних розподілів [4, 15], алгоритм моделювання динаміки параметрів навантаження [5, 12, 13], аналіз методів та алгоритмів оцінювання стратегічних даних [6]; аналіз методів оперативної обробки даних в інтегрованих системах автоматизованого управління енергоефективністю регіону [7, 8], аналіз засобів прогнозування швидкості вітру [10, 11].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи представлялися на таких наукових конференціях: міжнародній науковій конференції "Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту" ISDMCI'2013 (м. Євпаторія, 2013); X міжнародній

конференції “Перспективні технології і методи проектування MEMC” MEMSTECH-2014 (м. Львів, 2014); міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК” (м. Київ, 2014); міжнародній науково-технічній конференції “Комп’ютерні науки та інформаційні технології” CSIT 2014 (м. Львів, 2014); XI міжнародній науковій конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту” ISDMCI'2015 (м. Залізний Порт, 2015); 16 міжнародній конференції “Обчислювальні проблеми електротехніки” SPEE 2015 (м. Львів, 2015); XII міжнародній науковій конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту” ISDMCI'2016 (м. Залізний Порт, 2016); XI міжнародній науково-технічній конференції “Комп’ютерні науки та інформаційні технології” CSIT 2016 (м. Львів, 2016); XXIV міжнародній конференції з автоматичного управління “Автоматика 2017” (м. Київ, 2017); регулярних наукових семінарах кафедри автоматизованих систем управління Національного університету “Львівська політехніка” (2012-2016).

Публікації. Основні результати дослідження опубліковані в 16 наукових публікаціях, з яких 4 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав та 1 стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз, 9 тез доповідей та матеріалів конференціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 197 сторінок, 52 рисунки, 15 таблиць, список літератури із 192 найменувань та 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначені предмет та об’єкт дослідження, показано зв’язок з науковими програмами, планами, темами, відображено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Наведено дані про впровадження результатів у практику, особистий внесок здобувача у розроблення наукових результатів, а також відомості про апробацію та публікацію основних результатів роботи.

У **першому розділі** здійснено аналіз сучасного стану систем керування поновлювальними джерелами енергії. Виконано порівняння режимів роботи системи управління вітровою електричною станцією та визначено проблеми, які виникають при прийнятті рішень щодо можливості та обсягів генерації електричної енергії вітровою електростанцією. Вивчено відомі методи обґрунтування необхідної потужності генерації залежно від навантаження, сформульовано основні завдання дослідження.

Встановлено, що сучасні вимоги щодо режиму роботи вітрової електричної станції передбачають підвищення ефективності використання енергетичного обладнання шляхом виконання конкретних регулюючих функцій та вироблення чітко заданої кількості електричної енергії, яка визначається графіком навантаження споживачів (вказаний режим роботи є економічно вигідним з точки зору технологічних і ресурсних затрат). Для підвищення ефективності управління означеним режимом базовим вважається завдання визначення активного складу (використовуваних вітроенергетичних установок) вітрової електростанції з врахуванням динаміки навантаження, швидкості вітру, потужності вітрової електричної станції та ефективності вітрових електроустановок.

Здійснено аналіз методів визначення активного складу вітрової електричної станції, який передбачає розв'язання задачі пакування рюкзака, одним з методів багатокритеріальної оптимізації (при визначенні результуючого набору слід враховувати динаміку навантаження, швидкість вітру та ефективність вітрової електричної станції) : методом повного перебору, методу гілок та границь і методу динамічного програмування. Встановлено, що метод динамічного програмування забезпечує найкращу швидкодію при великих обсягах даних, в порівнянні з іншими, за основу для подальших досліджень обрано саме цей метод.

Встановлено, що більшість сучасних систем управління енергодинамічними режимами вітрових електричних станцій побудовані на базі промислових контролерів, які призначені для збирання та первинного опрацювання інформації з давачів, що розміщуються на вітрових електроустановках, та передачі їх на вищий рівень ієрархії в комп'ютеризовані системи, де відбувається їх подальша обробка представлення в інтуїтивно зрозумілому вигляді диспетчеру.

На основі аналізу сучасних досліджень обґрунтовано застосування технології OPC (Open Platform Communications або Відкрита платформа комунікацій) при створенні єдиного інтерфейсу для забезпечення ефективної роботи програмного продукту з пристроями або системами різних виробників. Використання даного стандарту забезпечує уніфікацію розроблених засобів для контролерів різних виробників. Технологія OPC включає в себе два класи програм: OPC-сервер, який працює з контролерами апаратури та OPC-клієнт, основне призначення якого є отримання та передача на опрацювання даних від OPC-сервера та надсилання йому команд керування (рисунок 1).

Виконано системний аналіз засобів контролю та управління поновлюваними джерелами енергії (зокрема у вітроенергетиці) та визначено проблеми прийняття рішень, пов'язані з визначенням диспетчером конкретної альтернативи (із запропонованої сукупності) при наявності інформації про стан об'єкта і системи управління, параметри критеріїв і ін.

Тому актуальним є завдання підвищення ефективності використання енергетичного обладнання вітрової електростанції та надійності енергозабезпечення шляхом інтелектуалізації системи управління енергодинамічними режимами з використанням розроблених засобів підтримки прийняття рішень.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету та завдання дослідження.

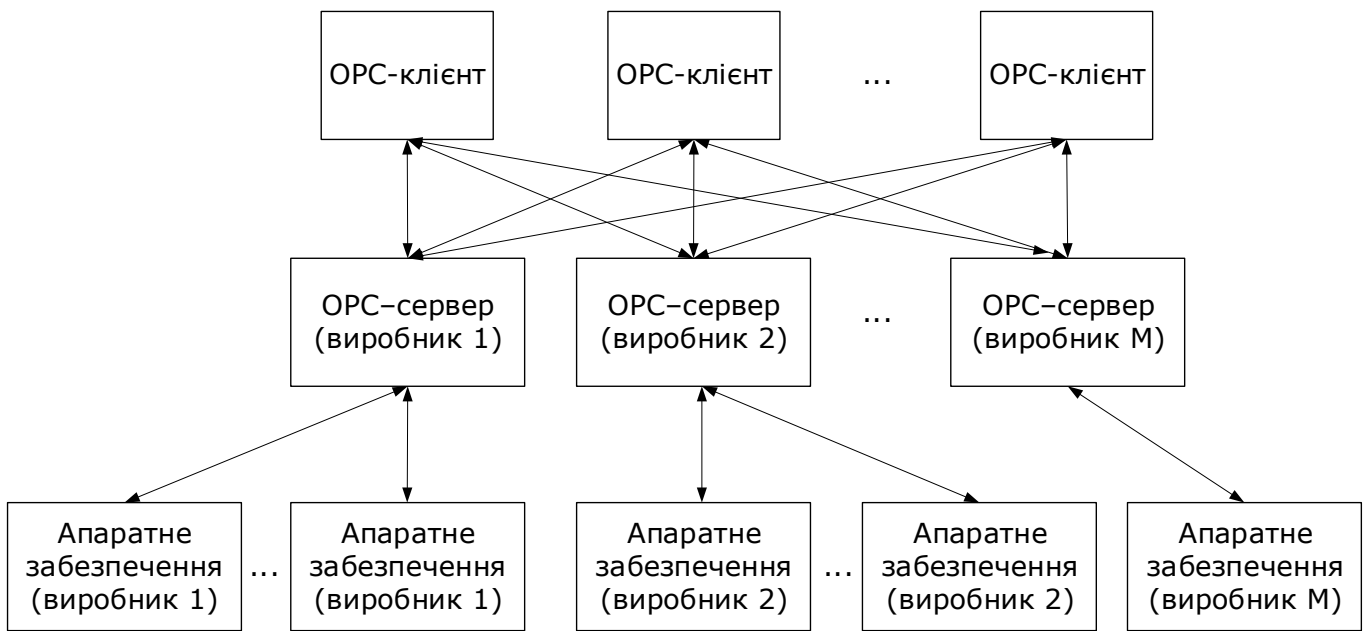


Рисунок 1 – Взаємодія обладнання, OPC-серверів і OPC-клієнтів

У другому розділі досліджено процеси управління енергодинамічними режимами ВЕС за наявності енергоакумулюючого елемента, визначено діапазони зміни вхідних даних системи управління (швидкість вітру, навантаження споживачів, ємність акумуляторної батареї), розроблено базу продукційних правил управління енергодинамічними режимами ВЕС.

Ймовірнісний характер параметрів вітру (швидкість, напрямок) зумовлює ряд динамічних обмежень на генерацію енергії вітровою електричною станцією. Тому, для підвищення ефективності використання ВЕС необхідно ввести в систему енергоакумулюючий елемент, який би забезпечив можливість пом'якшити наслідки перехідних енергодинамічних процесів в періоди критичних погодних умов (в умовах недостатньої або надлишкової швидкості вітру) та навантажень споживачів. Використання акумуляторної батареї (АБ), як додаткового джерела живлення дає змогу підвищити енергетичну автономність вітрової електричної станції, та збільшити частку використання ВЕС в розподільчих мережах, шляхом більш ефективного використання енергії вітру.

Наявність додаткового елемента (акумуляторної батареї) в структурі вітрової електричної станції розширює можливості системи, створює нові зв'язки між компонентами та дозволяє сформулювати та розв'язати такі основні завдання: забезпечення навантаження споживачів в періоди несприятливих погодних умов; мінімізація перемикачів складу вітрової електричної станції з метою збільшення періоду експлуатації ВЕС та покращення технічного стану окремих ВЕУ.

Такі завдання вирішуються з використанням моделі управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції на основі бази продукційних правил з врахуванням ємності енергоакумулюючого елемента, яка забезпечить можливість ефективно управляти наявними можливостями станції задля забезпечення максимальної ефективності.

Для забезпечення можливості реалізації описаних сценаріїв, розроблена структурна схема ВЕС, яка містить ряд додаткових елементів (рисунок 2).

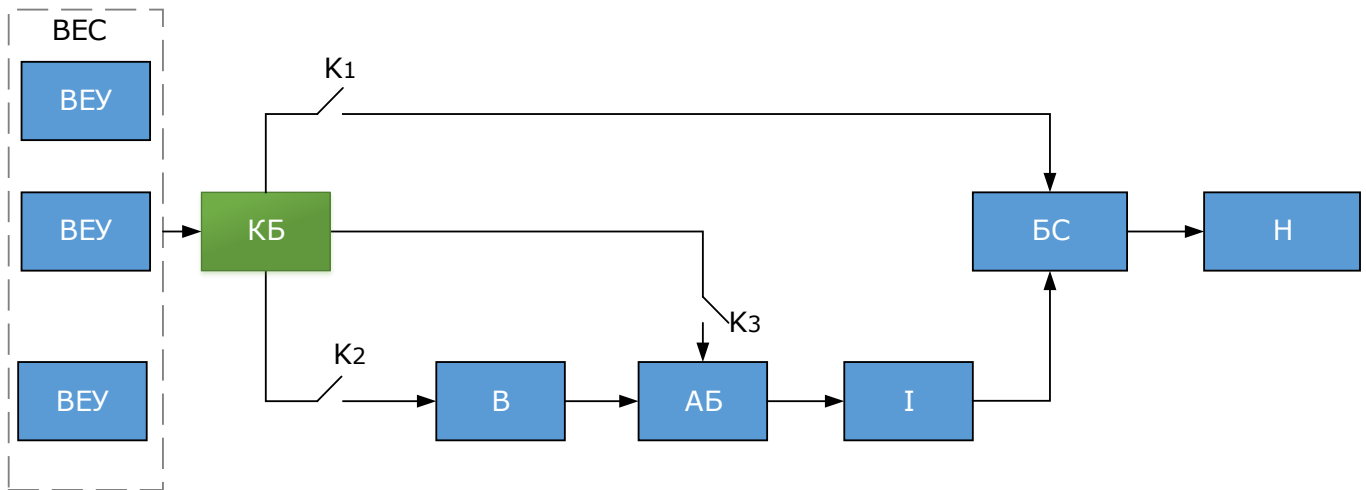


Рисунок 2 – Структурна схема вітрової електростанції з використанням акумуляуючого елемента

де КБ – керуючий блок (інтелектуальний блок управління), В – випрямляч, який призначений для перетворення змінного струму в постійний, АБ – акумуляторна батарея, І – інвертор, призначений для перетворення постійного струму в змінний, БС – блок синхронізації, Н – навантаження, К₁, К₂, К₃ – ключі перемикання режимів.

Використання енергоакумуляуючого елемента в складі вітрової електричної станції суттєво ускладнює алгоритм роботи керуючого блоку (інтелектуального блоку управління), оскільки розподілення потоків енергії системи може відбуватися одночасно між вітровою електричною станцією, навантаженням та енергоакумуляуючим елементом.

Інтелектуальний блок управління (керуючий блок) складається з трьох основних модулів (компонентів): модуль вхідних даних, модуль опрацювання даних, модуль візуалізації результатів.

Модуль вхідних даних, забезпечує отримання та попереднє опрацювання вхідних значень, а саме швидкості вітру та енергетичної ємності енергоакумуляуючого елемента, які отримуються з давачів, а також технічних параметрів ВЕУ та значення навантаження споживачів, які задаються диспетчером.

Модуль опрацювання даних забезпечує визначення набору вітрових електричних установок, які необхідно увімкнути (активний склад) в даний момент та використовує інтелектуальну систему побудовану на продукційних правилах, для формування інформаційних порад диспетчеру, щодо управління перетоками енергії, для забезпечення навантаження споживачів, ефективного використання енергоакумуляуючого елемента та ефективного функціонування вітрової електричної станції.

Модуль візуалізації забезпечує відображення отриманих результатів у інтуїтивно зрозумілому вигляді та забезпечує побудову ситуаційних карт особливостей, які надають можливість моніторингу стану системи в режимі реального часу.

Структурну схему інтелектуального блоку управління вітровою електричною станцією наведено на рисунку 3:

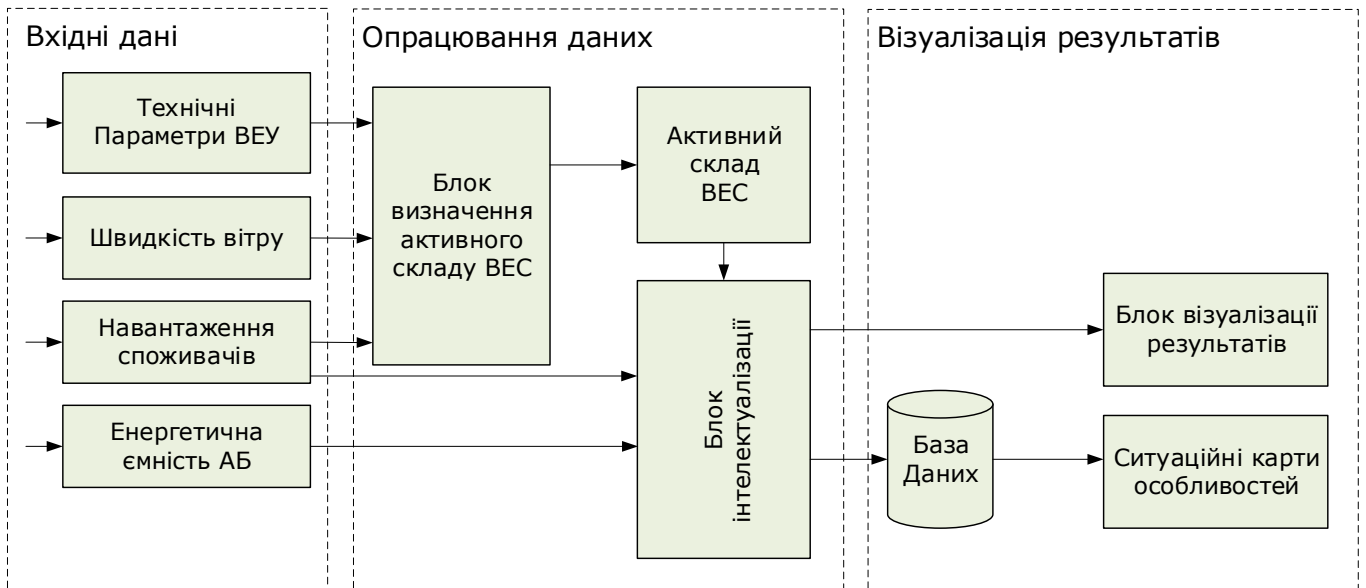


Рисунок 3 – Структурна схема інтелектуального блоку управління вітровою електричною станцією з використанням акумулюючого елемента в складі

Енергетичний потенціал вітру є важливим параметром при обґрунтуванні ємності енергоакумулюючого елемента. Тому актуальним завданням є розроблення методу статистичного аналізу швидкості вітру, що забезпечить можливість визначення ймовірнісного діапазону робочих швидкостей вітру, для оцінювання потужності ВЕС.

Опрацювання архівних даних швидкості вітру за конкретний період часу дозволяє з високою точністю описати розподіл густини ймовірності частоти повторюваності швидкості вітру за допомогою диференціального розподілу та двопараметричних сімейств неперервних розподілів таких як: логнормальний розподіл, гамма розподіл, розподіл Вейбула. Використання обґрунтованих функцій густини розподілів дає змогу більш точно оцінити ймовірність появи заданої швидкості вітру, очікувану потужність вітрового потоку та тривалість робочої швидкості вітру в кожному конкретному регіоні.

В роботі виконано статистичний аналіз результатів замірів швидкості вітру на основі даних з метеостанцій м. Дрогобич, м. Івано-Франківськ та м. Асканія-Нова в період з 1 січня 2015 року по 31 грудня 2015 року. Заміри проводились щоденно о 2:00, 5:00, 8:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00, 23:00 годинах на висоті 10-12 метрів.

Ймовірність кожного конкретного значення швидкості вітру визначено за диференціальним розподілом, розподілом Вейбула, Гамма розподілом та Логнормальним розподілом. Для коректної роботи кожного з алгоритмів було виконано нормування значень швидкості вітру до діапазону [10; 15].

На рисунку 4 наведено розподіл ймовірностей повторення кожного конкретного значення швидкості вітру за диференціальним розподілом, розподілом Вейбула, логнормальним розподілом та гамма розподілом для міста Асканія-Нова. Аналогічні залежності побудовано для міст Дрогобич та Івано-Франківськ.

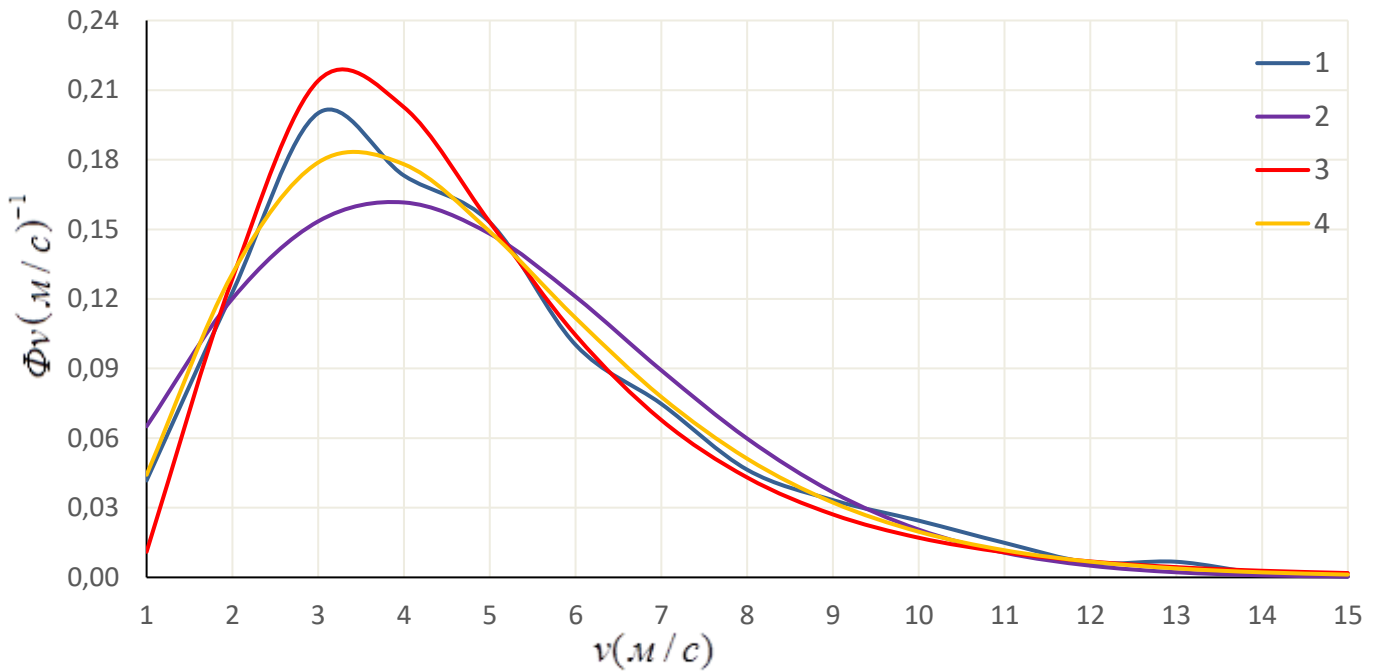


Рисунок 4 – Розподіл повторюваності швидкості вітру (м. Асканія-Нова): 1 – диференціальний розподіл, 2 – розподіл Вейбула, 3 – логнормальний розподіл, 4 – гамма розподіл

Для визначення адекватності опису вхідної вибірки розраховано коефіцієнти детермінації для логнормального розподілу, гамма розподілу та розподілу Вейбула після опрацювання архівних даних м. Дрогобич, м. Асканія-Нова та м. Івано-Франківськ наведено в таблиці 1:

Таблиця 1

Коефіцієнт детермінації R^2

Розподіл \ Місто	Вейбула	Логнормальний	Гамма
Дрогобич	0,872	0,794	0,886
Асканія-Нова	0,941	0,965	0,988
Івано-Франківськ	0,788	0,511	0,745

Розроблений метод статистичного аналізу швидкості вітру з використанням сімейств двопараметричних неперервних розподілів забезпечує можливість визначення ймовірнісного діапазону робочих швидкостей вітру, для оцінювання потужності ВЕС.

У **третьому розділі** наведено результати модифікованого методу динамічного програмування для розв'язання задачі пакування рюкзака при визначенні активного складу вітрової електричної станції, розроблено структуру алгоритму визначення складу вітрової електростанції з використанням розробленого методу та здійснено порівняльний аналіз результатів застосування інших методів.

Застосування методу динамічного програмування для розв'язання задачі пакування рюкзака при визначенні активного складу ВЕС, дає змогу з множини вітроенергетичних установок за параметрами “потужність” та “ефективність”, відібрати певну кількість таким чином, щоб отримати максимальну сумарну

ефективність, при одночасному дотриманні вимог щодо сумарної потужності набору ВЕУ, яка не повинна перевищувати навантаження споживачів. Тобто розв'язок повинен містити такий набір предметів сумарна вага яких, має бути максимально близькою до місткості рюкзака. Різниця між навантаженням, яке необхідно забезпечити (далі навантаження) та потужністю активного складу ВЕС виражена у відсотковому еквіваленті, визначає відсоток недопакування. Такий розв'язок отримати складно з методологічних і технічних причин. Використання даного методу зумовлює виникнення проблем із стовідсотковим забезпеченням навантаження, оскільки сумарна потужність ВЕС у більшості випадків буде меншою від навантаження споживачів. При цьому досліджено два підходи.

Перший полягає у збільшенні вхідного параметру “навантаження” на експериментально встановлений відсоток. Для цього проводиться комп'ютерне симулювання роботи ВЕС. На вхід кожної ітерації подається навантаження і за допомогою методу динамічного програмування визначається набір ВЕУ, потужність ВЕС, а також значення коефіцієнта недопакування. На кожній наступній ітерації навантаження збільшується на величину коефіцієнта недопакування, отриманого на попередній ітерації, що відображається таким виразом:

$$P_{i+1} = P \times (1 + k_i) \quad (1)$$

де $i \in [1; n]$, k_i – коефіцієнт недопакування i -ої ітерації, P – навантаження, яке необхідно забезпечити.

Недолік вказаного підходу полягає в тому, що коефіцієнт недопакування не є статичною величиною, а корелюється з багатьма параметрами, такими як, швидкість вітру, активний склад вітрової електричної станції. Тому, він не забезпечує точного коригування необхідної потужності.

Другий підхід – модифікація методу розв'язку задачі пакування рюкзака, яка полягає в зміні функції мети так, щоб враховувались проміжний коефіцієнт ефективності та відсоток недопакування.

Для цього формалізуємо задачу. Якщо дано N вітрових електроустановок, i -а має потужність $p_i > 0$ та коефіцієнт ефективності $k_i > 0$, то необхідно вибрати такий набір ВЕУ, щоб:

$$\Delta P = \left[\sum_{i=1}^N b_i p_i - P \right] \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^N b_i k_i}{\sum_{i=1}^N b_i} \rightarrow \max, \quad (3)$$

де ΔP – відхилення потужності ВЕС від потужності навантаження, \bar{K} – проміжний коефіцієнт ефективності набору, P – потужність навантаження, яке необхідно забезпечити.

Для розв'язання завдання визначення набору вітрових електроустановок вводиться адитивна функція мети W , яка залежать від двох параметрів $\Delta P, \bar{K}$:

$$W(\Delta P, \bar{K}) = a_1 \bar{K} + a_2 (1 - \Delta P) \rightarrow \max \quad (4)$$

де α_1 та α_2 – вагові коефіцієнти. Функція такого виду має діапазон значень $(-\infty; 1]$, що й зумовило її використання.

В даному випадку задача визначення набору вітрових електроустановок вирішується застосуванням рекурсивного алгоритму. Недоліком даного підходу є велика кількість обчислень, тому для зменшення їх кількості використано мемоізацію, яка дозволить зменшити час роботи з $O(N) = 2^N$ до $O(N) = NP$.

Для застосування вказаного оптимізаційного підходу необхідно дискретизувати ваги елементів з певною частотою, наприклад, 1. Звідси випливає, що існує скінчена кількість різних оптимальних наборів, які можна записати в вигляді матриці розмірністю N на P та при потребі звертатися до них. Позначимо ці набори як $S(i, p)$. Елементи матриці $S(0, p)$ заповнюються нулями.

Елементи $S(i, p)$ розраховуються на основі знайдених на попередніх кроках алгоритму елементів, записаних в комірках $S(i-1, p)$, $S(i-1, \lfloor p - p_i \rfloor)$, $S(i-1, \lceil p - p_i \rceil)$. Для цього, знаходиться значення функції мети, у випадку не включення i -тої ВЕУ $S(i, p)$.

У випадку включення i -тої вітрової електроустановки в набір, необхідно знайти набір потужністю $p - p_i$, тобто $S(i-1, p - p_i)$. Оскільки елементами матриці є значення функції мети тільки для цілих значень потужності, необхідно використати значення що максимально наближенні до необхідного, тобто $S(i-1, \lfloor p - p_i \rfloor)$ та $S(i-1, \lceil p - p_i \rceil)$.

У випадку, коли $\lfloor p - p_i \rfloor = \lceil p - p_i \rceil$, розраховується тільки одне значення функції мети. Максимальне значення функції мети записується в $S(i, p)$. Аналогічно заповнюються всі комірки.

Графічне представлення структурної схеми алгоритму визначення активного складу ВЕС наведено на рисунку 5:

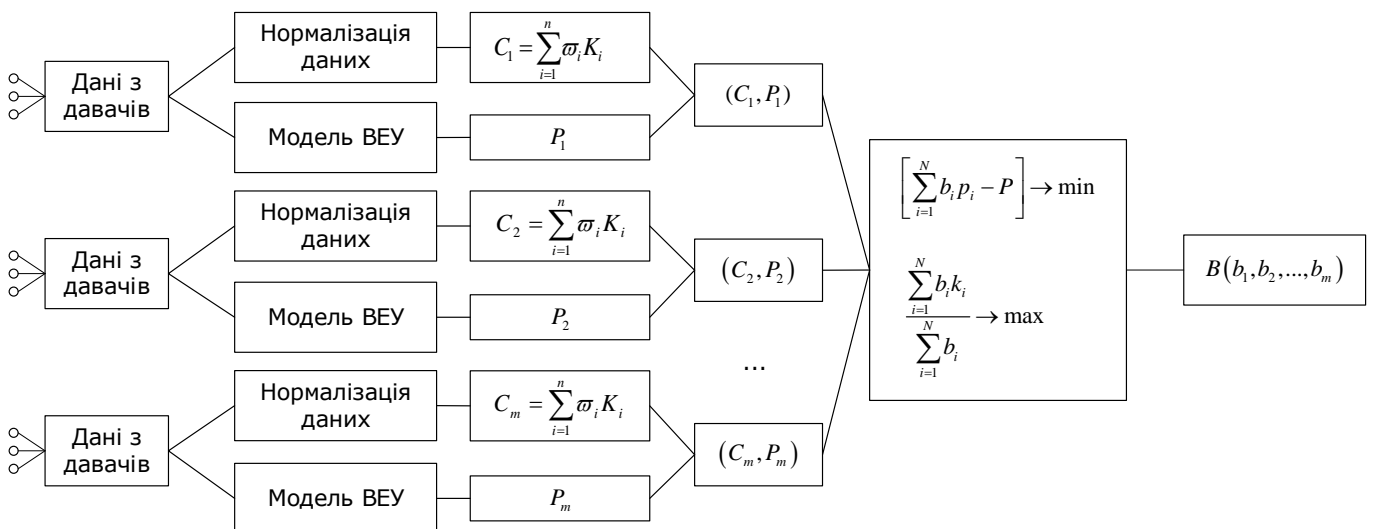


Рисунок 5 – Структура алгоритму визначення активного складу ВЕС

Для верифікації досліджуваних алгоритмів проведено комп'ютерне симулювання роботи системи управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції з використанням кожного з методів, а саме: класичного методу динамічного програмування (Метод 1); методу динамічного програмування з підвищенням вхідного параметру “навантаження” на експериментально встановлений відсоток (Метод 2); модифікований метод динамічного програмування (Метод 3).

Досліджувалися режими роботи вітрової електричної станції, яка складається з 45 ВЕУ. Сформовано тестовий набір з 500 значень навантаження в інтервалі [5000; 15000] кВт. Аналогічно, сформовано тестовий набір з 500 значень швидкості вітру в інтервалі [10; 15] м/с.

На основі аналізу отриманих результатів обґрунтовано ефективність використання модифікованого методу динамічного програмування для визначення активного складу ВЕС, оскільки даний метод дає змогу мінімізувати відхилення сукупної потужності ВЕС від потужності навантаження споживачів та одночасно максимізувати ефективність вітропарку. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні систем управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції, а також для підвищення ефективності існуючих ВЕС.

Відхилення потужності ВЕС від навантаження споживачів, при розв'язанні задачі пакування рюкзака за допомогою трьох досліджуваних методів наведено на рисунку 6:

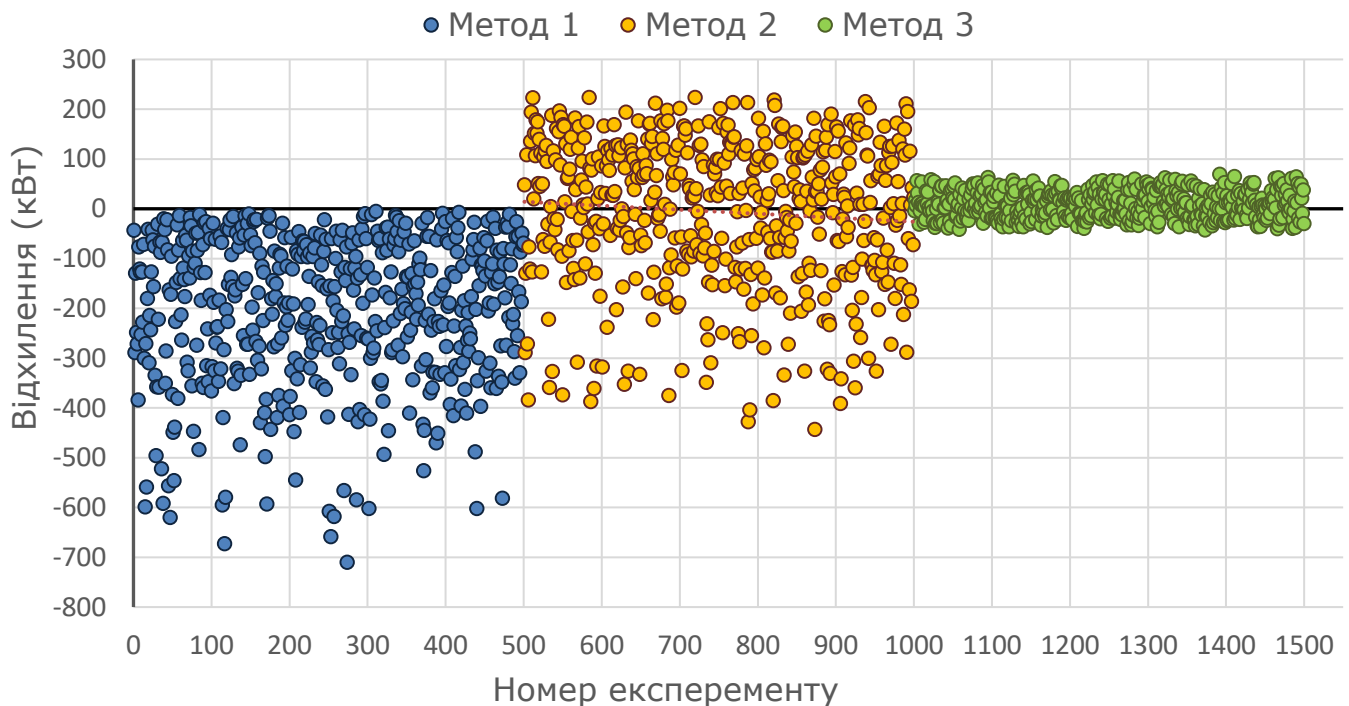


Рисунок 6 – Розподіл відхилень для досліджуваних методів

У **четвертому розділі** розроблено систему підтримки прийняття рішень системи керування вітровою електричною станцією. Для визначення активного складу програмно реалізовано алгоритм з використанням модифікованого методу динамічного програмування. Використано сучасні принципи проектування програмних застосунків: наслідування, інкапсуляцію логіки, використання сучасних

шаблонів проектування та фреймворків.

Засобами розроблення програмного забезпечення визначено: Eclipse, як середовище для створення програмного продукту; мову програмування Java та платформу розроблення SWT; шаблон проектування MVC для організації архітектури додатку; бібліотеку Spring для проектування додатку.

Важливою особливістю системи підтримки прийняття рішень, в основі якої лежить аналіз енергодинамічних процесів, має бути можливість швидкого перевизначення активного складу. У зв'язку з цим для створення такої системи використано розроблені алгоритми, що забезпечують обчислення в режимі реального часу.

Для збору та інтелектуального опрацювання даних, необхідною умовою є автоматизація процесів з використанням SCADA – систем. Будь-які сучасні SCADA–системи є відкритими (сумісні з стандартом OPC, ActiveX, COM, DLL), містять вбудовані алгоритмічні мови програмування (Visual C++, Java та інші), і забезпечують можливість інтеграції з іншими відкритими системами, а також модульність – можливість замінити частину системи аналогічними модулями іншого виробника.

Інтелектуальна інформаційна система управління виконує такі функції: 1) отримання даних від контролерів; 2) опрацювання даних з використанням розробленого алгоритму; 3) прийняття рішень та формування на їх основі інформаційних вказівок диспетчеру.

Розроблена інформаційна система управління побудована з використанням OPC UA стандарту, що дає змогу взаємодіяти з промисловими контролерами, є окремою бібліотекою, та може бути інтегрована у сучасні SCADA – системи. Підтримка в SCADA–системах інтеграції ActiveX і COM об'єктів третіх виробників, дає змогу інтегрувати розроблену СППР і тим самим адаптувати SCADA з апаратурою, яка не підтримує стандарт OPC. В стандарті OPC передбачено два класи програм: OPC-сервер, який взаємодіє безпосередньо з апаратурою; OPC-клієнт, який отримує дані від OPC-сервера, та передає до нього команди управління.

Для розроблення інформаційної системи використано такі елементи стандарту OPC UA:

- OPC DA (Data Access) – найбільш широко вживаний елемент, використовується для обміну даних в режимі реального часу;
- OPC HDA (Historical Data Access) – надає доступ до архівних даних;
- OPC AE (Alarms & Events) – надає функції повідомлення про різні події, аварійні ситуації, інформаційні повідомлення;

Узагальнена структура системи підтримки прийняття рішення подана на рисунку 7. У даній структурі реалізована база даних, що містить такі таблиці: “вітрова електрична установка”; “продукційні правила ВЕУ”; “результати роботи ВЕС ”; “історичні дані ВЕУ”; “енергоакumuлюючий елемент”; “історичні значення швидкості вітру”; “набір ВЕУ”.

Таблиця бази даних “Вітрова електрична установка” вміщає основні параметри вітрової енергоустановки (модель, номінальна потужність, діаметр ротора, мінімальна та максимальна швидкості вітру для ВЕУ), параметри які визначають ефективність вітрової електроустановки (кількість включень/виключень, кількість

виробленої енергії, технічний стан, час напрацювання), та залученість в активний склад ВЕС.

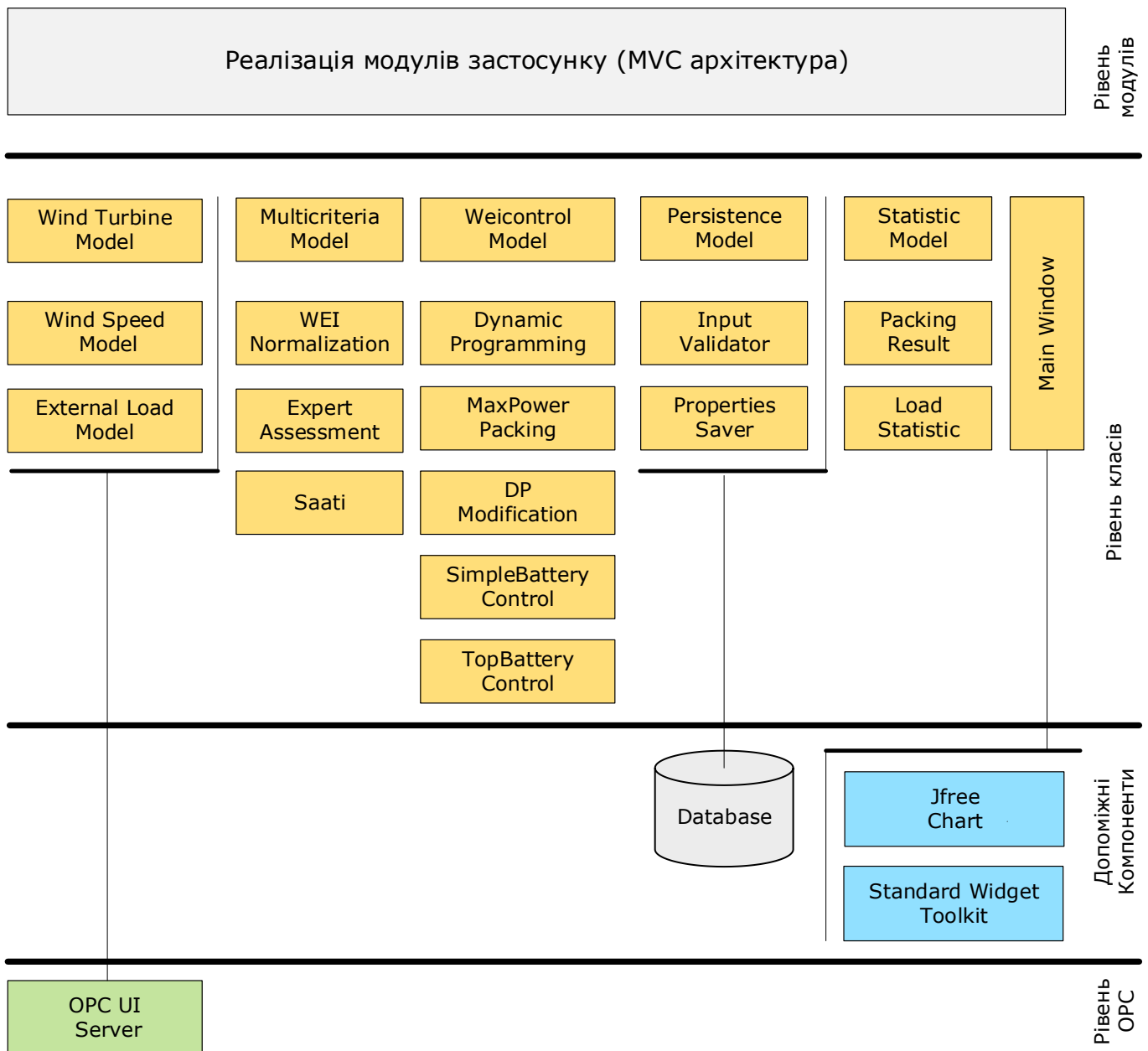


Рисунок 7 – Узагальнена структура системи підтримки прийняття рішення

Таблиця бази даних “Продукційні Правила ВЕУ” містить інформацію про критичні параметри вітрової електроустановки. Дані в таблиці зберігаються у вигляді триплетів, тобто в основі лежить послідовність “об’єкт – атрибут – значення”. У даному конкретному випадку об’єктом є конкретний вид ВЕУ (ідентифікатор ВЕУ), атрибутом є унікальний ключ, а значення – це власне межа існування правила.

У системі використовуються такі ключі (атрибути): TechnicalState (Технічний стан ВЕУ), WorkingTime (Напрацьований час), MinStartWindSpeed (Мінімальна стартова швидкість вітру), SwitchCount (Кількість включень/виключень ВЕУ)

Таблиця бази даних “Енергоакумулюючий елемент” містить технічну інформацію про акумуляторну батарею, а саме номінальну та енергетичну ємність АБ, рівень заряду та відомості про технічний стан енергоакумулюючого елемента.

В системі передбачено засоби зберігання інформації про стан системи на момент прийняття рішення, що дає змогу аналізувати результати в певних часових проміжках. Окрім інформації щодо прийнятих рішень, в базі даних зберігаються параметри ВЕУ, основні параметри ВЕС, значення вагових коефіцієнтів важливості, навантаження споживачів.

Для визначення оптимальної, за параметром числа перевизначень, ємності енергоакумуляуючого елемента у відсотковому еквіваленті відносно номінальної потужності вітропарку здійснено комп'ютерне симулювання роботи системи управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції, з використанням тестових даних. Сформовано тестовий набір з 1000 значень навантаження в інтервалі [10000; 12000] кВт. Досліджувалися режими роботи вітрової електричної станції, яка складається з 60 ВЕУ. Аналогічно, сформовано тестовий набір з 1000 значень швидкостей вітру в інтервалі [10; 15] м/с. Здійснено по 1000 експериментів для кожної енергетичної ємності акумуляторної батареї.

На рисунку 8 наведено результат імітаційного моделювання роботи системи управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції за наявності енергоакумуляуючого елемента різної ємності (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%) з використанням модифікованого методу динамічного програмування (МДП).

Отримані результати підтверджують доцільність використання енергоакумуляуючого елемента в структурі ВЕС, оскільки забезпечується можливість суттєвого зменшення числа перевизначень активного складу вітрової електричної станції, для прикладу використання енергоакумуляуючого елемента ємністю 10% від номінальної потужності вітропарку забезпечує зменшення кількості повторних визначень в 2,25 рази з 806 до 383.

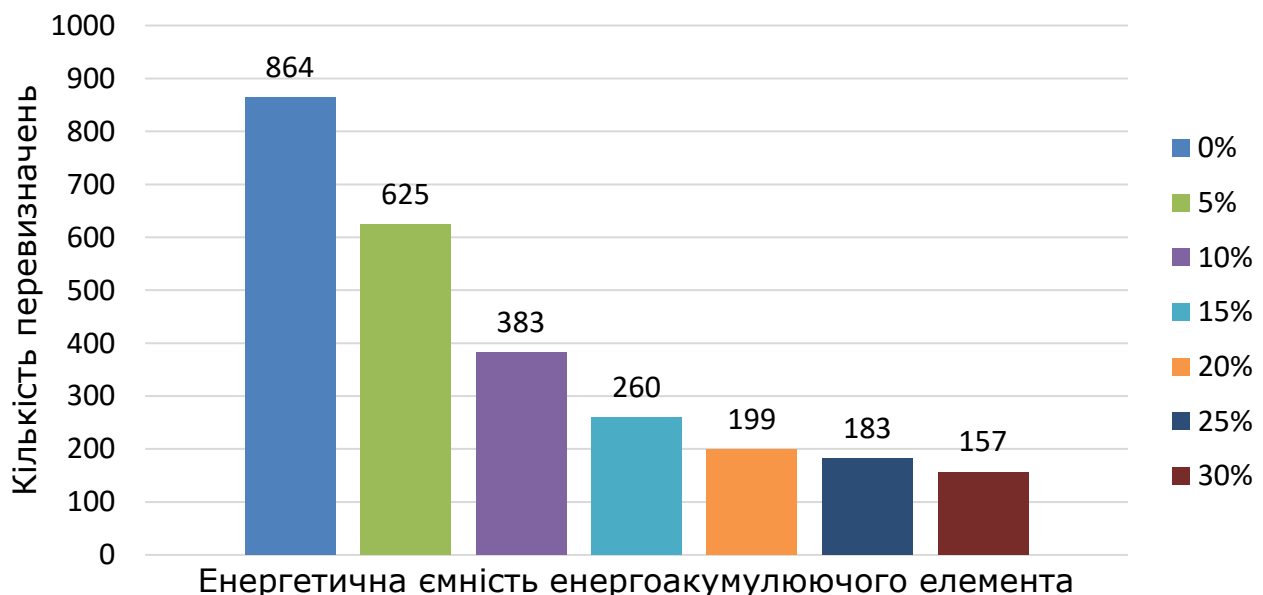


Рисунок 8 – Залежність числа перемикачів активного складу ВЕС від енергетичної ємності акумуляторної батареї при використанні модифікованого методу динамічного програмування

Ефективність розробленої інформаційної технології прийняття рішення

досліджено шляхом комп'ютерного симулювання. Поведінку системи в часі відтворено засобами дискретно-подієвого моделювання. Результати реалізації імітаційної моделі наведено в таблиці 2:

Таблиця 2

Результати реалізації імітаційної моделі

Енергетична ємність акумулятора (% від встановленої потужності ВЕС)		0	5	10	15	20	25	30
Середнє відхилення	КДП, КВт	386	277	173	133	155	122	113
	МДП, КВт	203	137	96	62	81	84	85
	Різниця (%)	90	100	81	110	93	46	36
Кількість перевизначень на 1000 експериментів	КДП	887	625	394	273	244	203	184
	МДП	864	612	383	260	199	183	157
	Різниця, %	2,66	2,1	2,87	5,00	22,61	10,93	17,20
Ефективність набору	КДП	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
	МДП	0,57	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57
	Різниця, %	3,04	2,94	2,83	3,57	3,03	2,99	2,81

Результати кожного окремого експерименту записувались у масив даних, після чого здійснювалось оцінювання сукупності експериментів. Для моделювання обґрунтовано множину вхідних даних. Експеримент реалізовано засобами OPC-сервера.

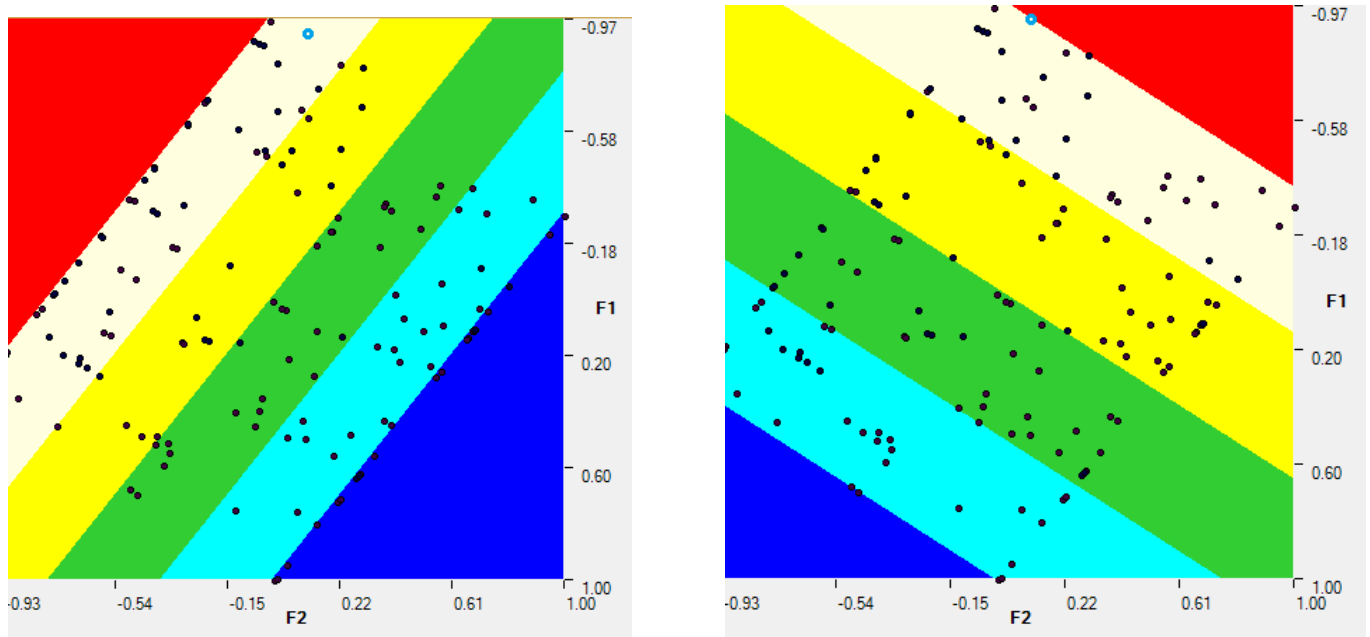
На підставі аналізу проведених експериментів встановлено, що застосування інтелектуалізованої системи управління з використанням модифікованого методу динамічного програмування зменшує відхилення виробленої потужності ВЕС від потужності навантаження на 90%, збільшує ефективність вибраного набору на 3,04% та зменшує кількість перевизначень активного складу на 2,66% порівняно з класичним методом динамічного програмування.

У випадку використання енергоакумуляючого елемента різної ємності, відхилення виробленої потужності ВЕС від потужності навантаження зменшується в середньому на 82%, ефективність вибраного набору збільшується на 3,03%, а кількість перевизначень активного складу в середньому зменшується на 9,02% порівняно з класичним методом динамічного програмування.

Для візуалізації представлення багатовимірних даних використовується графічне відображення множини вхідних даних на двовимірних ситуаційних картах особливостей (СКО). Побудова СКО здійснюється для усіх ознак вхідних даних, значення яких для кожної з точок (на виходах нейронної мережі) позначаються певним кольором на карті. Таким чином створюється атлас СКО, який описує об'єкт досліджень, що характеризується множиною вхідних даних.

На рисунку 9 наведено результати візуалізації вихідних параметрів за допомогою ситуаційних карт особливостей, де F1 і F2 – перша та друга головні компоненти (фактори), вихідні значення першого та другого нейронів прихованого шару. З рисунків 9а, 9б видно, що параметри “ємність енергоакумуляючого

елемента” та “потужність ВЕС” мають обернену залежність, а саме при збільшенні генерації електричної енергії, зменшується використання ресурсу енергоакумулюючого елемента.



а) за параметром
“ємність енергоакумулюючого елемента”

б) за параметром
“потужність ВЕС”

Рисунок 9 – Візуалізація вихідних параметрів ситуаційними картами особливостей

На картах окремо відображається останній актуальний стан системи (окремим кольором), що забезпечує можливість моніторингу стану системи в режимі реального часу та швидкого реагування на критичні енергодинамічні режими.

В додатках наведено вихідні дані, умови проведення та результати експериментальних досліджень, якими підтверджено теоретичні положення дисертації, а також документи щодо впровадження розробки.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розв’язано актуальне наукове завдання інтелектуалізації системи управління енергетичними режимами вітрової електричної станції з використанням розроблених засобів підтримки прийняття оператором рішень щодо набору (складу) вітрових агрегатів, які доцільно використовувати в даний час (період часу) з врахуванням можливостей засобів акумулювання енергії.

При цьому отримано такі основні результати:

1. Розроблено метод статистичного аналізу швидкості вітру з використанням сімейств двопараметричних неперервних розподілів, що забезпечило можливість визначення ймовірнісного діапазону робочих швидкостей вітру для оцінювання потужності ВЕС.

2. Удосконалено метод динамічного програмування для визначення активного складу ВЕС, шляхом введення адитивної функції мети, який дає змогу зменшити середнє відхилення сукупної потужності вітропарку від потужності навантаження на 90% порівняно з класичним методом динамічного програмування.
3. Встановлено залежність числа перевизначень активного складу вітрової електричної станції з врахуванням потужності та ефективності ВЕУ, що забезпечує можливість обґрунтування необхідної енергетичної ємності енергоакумуляуючого елемента.
4. Розроблено модель управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції на основі бази продукційних правил з врахуванням ємності енергоакумуляуючого елемента, що забезпечує можливість інтелектуалізації процесів управління енергодинамічними режимами.
5. Розроблено інтелектуальний блок управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції за наявності енергоакумуляуючого елемента, який дає змогу забезпечити потреби споживачів в періоди несприятливих погодних умов та мінімізувати число перевизначень активного складу вітрової електричної станції.
6. Побудовано ситуаційні карти особливостей, на основі штучних нейронних мереж, які забезпечують візуалізацію вихідних параметрів в режимі реального часу, та дають змогу оперативного реагування на критичні значення параметрів навантаження та потужності вітрової електричної станції.
7. Розроблено систему підтримки прийняття рішень щодо активного складу ВЕС, яка реалізована з використанням стандарту OPC UA, чим досягається універсальність розробки та можливість застосування на контролерах різних виробників.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Kravchyshyn V. Optimization of wind farm structure control / V. Kravchyshyn, M. Medykovsky, R. Melnyk, M. Dilai // *Advances in Intelligent Systems and Computing II.– Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies, CSIT 2017.– Springer.– Vol. 689.– pp. 320-333*
2. Kravchyshyn V. Modification of the dynamic programming method for determining active structure of wind power plant / V. Kravchyshyn, M. Medykovsky, R. Melnyk // *Journal of Computational Problems of Electrical Engineering 2016.– Volume 6, Number 2.– pp. 83-90*
3. Кравчишин В.С. Дослідження режимів управління енергодинамічними процесами в системах електропостачання за наявності акумуляуючих елементів / Кравчишин В.С., Медиковський М.О., Мельник Р.В., Шуневич О.Б. // *Науковий вісник НЛТУ України, 2016.– т. 26, № 7.– с. 291 – 298*
4. Кравчишин В. С. Моделювання енергетичного потенціалу вітрової електричної станції / В. С. Кравчишин, М. О. Медиковський, М. О. Галушак // *Вісник*

- Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі.– 2016.– № 854.– с.80-87
5. Medykovskyy M. Analysis and modeling of load parameters of wind power station / M. Medykovskyy, V. Kravchyshyn, O. Shunevych // ECONTechMOD. AN INTERNATIONAL QUARTERLY JOURNAL .– Lublin – Rzeszow .– 2015.– Vol. 04, No. 2, pp. 19–24
 6. Медиковський М. О. Методи та алгоритми опрацювання стратегічних даних / М. О. Медиковський, О. І. Цмоць, В. С. Кравчишин // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. - 2013. - Вип. 69. - С. 131-140
 7. Медиковський М. О. Методи оперативного опрацювання даних в інтегрованих системах автоматизованого управління енергоефективністю регіону / М. О. Медиковський, І. Г. Цмоць, В. С. Кравчишин // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова “Моделювання та інформаційні технології”.– 2013.– Вип. 68.– с. 176-183
 8. Кравчишин В.С. Управління вітровою електричною станцією за наявності акумулюючого елемента / Кравчишин В.С., Медиковський М.О. // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2016 : зб. наук. пр. міжнар. наук. конф.– 24–28 трав. 2016.– Залізний Порт, Україна.– с 83-85
 9. Medykovskyy M. Structure optimization of wind power system / Medykovskyy Mykola, Shunevych Oleh, Kravchyshyn Vitaliy // papers of the Xth International Conference “Perspective technologies and methods in mems design”.– MEMSTECH-2014.– Lviv: NULP.– 2014.– p. 111
 10. Медиковський М. Моделювання входних параметрів системи управління вітровою електростанцією / М. Медиковський, В. Кравчишин, О. Шуневич // матеріали XI Міжнародної наукової конференції "Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2015)", Залізний Порт, Україна, 25-28 травня 2015.– с. 113-115
 11. Kravchyshyn V. Analysis of modeling methods of wind energy potential of a region / Vitalii Kravchyshyn, Mykola Medykovskyy // The papers of 11th International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT'2016), September 6-10.– 2016.– Lviv, Ukraine.– pp. 175-178
 12. Kravchyshyn V. Modeling of input load's parameters of control system of wind power system / Vitaliy Kravchyshyn, Mykola Medykovskyy, Oleh Shunevych // 16th International conference “Computational Problems of Electrical Engineering”.– CPEE 2015.– Lviv Polytechnic National University.– Lviv, Ukraine.– 2-5 September 2015.– pp.116-117
 13. Kravchyshyn V. Methods of prediction of wind speed / Vitaliy Kravchyshyn, Mykola Medykovskyy, Oleh Shunevych // The papers of 9th International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT'2014), November 18-22, 2014, Lviv, Ukraine.– pp. 160-161
 14. Kravchyshyn V. Using of neural networks in problems of forecasting wind speed values / Vitalii Kravchyshyn, Mykola Medykovskyy // Автоматика – 2017: XXIV

Міжнародна конференція з автоматичного управління.– м. Київ, Україна.– 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017.– с. 183-185

15. Кравчишин В.С. Інтелектуальні засоби прогнозування швидкості вітру / Кравчишин В.С., Медиковський М.О., Шуневич О.Б. // Матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК” – Київ: НУБІП, 2014.– с. 34
16. Медиковський М. О. Особливості оперативної обробки даних в інформаційно-аналітичній системі оцінювання енергоефективності промисловості регіону / М. О. Медиковський, І. Г. Цмоць, В. С. Кравчишин // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2013 : зб. наук. пр. міжнар. наук. конф., 20–24 трав. 2013 р., Євпаторія, Україна / Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. – Херсон, 2013. – С. 207–209

АНОТАЦІЇ

Кравчишин Віталій Степанович. Інтелектуалізація управління комплексною системою генерації електричної енергії. *На правах рукопису.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2019.

У дисертаційній роботі розв’язано актуальне наукове завдання інтелектуалізації системи управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції за наявності засобів акумулювання енергії з використанням розроблених засобів підтримки прийняття рішень диспетчером щодо набору вітрових агрегатів, які доцільно використовувати в даний час з врахуванням потреб споживачів, енергетичного потенціалу вітру та технічних характеристик акумуляторів. Розроблено модель управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції на основі бази продукційних правил з врахуванням ємності енергоакумулюючого елемента, яка забезпечує можливість ефективно досліджувати енергодинамічні процеси з метою аналізу їх параметрів. Для коректної реалізації алгоритму в заданому географічному регіоні, розроблено метод статистичного аналізу швидкості вітру, який забезпечує можливість визначення ймовірного діапазону робочих швидкостей вітру для оцінювання потужності ВЕС. Отримані результати покладено в основу розроблення блоку інтелектуалізації системи управління вітровою електричною станцією, який забезпечує визначення критеріїв ефективності окремих ВЕУ та попереднє опрацювання вхідних даних з врахуванням технічних параметрів ВЕУ та умов експлуатації.

Розроблено метод визначення активного складу вітрової електричної станції, який ґрунтується на модифікованому методі динамічного програмування, експертних оцінках параметрів, використовує узагальнений критерій ефективності вітрової електроустановки, енергетичну ємність акумулюючого елемента та забезпечує можливість приймати рішення в режимі реального часу. Розроблений метод використано при формуванні алгоритму функціонування інтелектуального блоку управління вітровою електричною станцією, який забезпечує визначення активного

складу вітрової електричної станції, використовує інтелектуальну систему побудовану на продукційних правилах, для формування інформаційних порад диспетчеру та забезпечує відображення отриманих результатів у інтуїтивно зрозумілому вигляді. Реалізовано засоби інтелектуалізації автоматизованої системи управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції, які забезпечують функціонування системи підтримки прийняття рішення диспетчером при управлінні енергодинамічними режимами.

Ключові слова: динамічне програмування, вітрова електрична станція, активний склад вітрової електричної станції, енергоакумуляуючий елемент, інтелектуальна система побудована на правилах, система підтримки прийняття рішень.

Кравчишин Віталій Степанович. Інтелектуалізація управління комплексной системой генерации электрической энергии. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - информационные технологии. Национальный университет "Львовская политехника", Львов, 2019.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача интеллектуализации системы управления энергодинамическими процессами ветровой электрической станции при наличии средств аккумулирования энергии с использованием разработанных средств поддержки принятия решений диспетчером по набору ветровых агрегатов, которые целесообразно использовать в настоящее время с учетом потребностей потребителей, энергетического потенциала ветра и технических характеристик аккумуляторов. Разработана модель управления энергодинамическими режимами ветровой электрической станции на основе базы продукционных правил с учетом емкости аккумулирующего элемента, обеспечивает возможность эффективно исследовать энергетические процессы с целью анализа их параметров. Для корректной реализации алгоритма в заданном географическом регионе разработан метод статистического анализа скорости ветра, который обеспечивает возможность определения вероятностного диапазона рабочих скоростей ветра, оценки мощности ВЭС. Полученные результаты положены в основу разработки блока интеллектуализации системы управления ветровой электрической станции, который обеспечивает определение критериев эффективности отдельных ВЭУ и предварительную обработку входных данных с учетом технических параметров ВЭУ и условий эксплуатации.

Разработан метод определения активного состава ветровой электрической станции, основанный на модификации метода динамического программирования, экспертных оценках параметров, использует обобщенный критерий эффективности ветровой электроустановки, энергетическую емкость аккумулирующего элемента и обеспечивает возможность принимать решения в режиме реального времени. Разработанный метод использован при формировании алгоритма интеллектуального блока управления ветровой электрической станцией, который обеспечивает определение активного состава ветровой электрической станции, использует интеллектуальную систему, построенную на производительных правилах, для

формирования аддитивных советов диспетчеру и обеспечивает отображение полученных результатов в интуитивно понятном виде. Реализовано средства интеллектуализации автоматизированной системы управления ветровой электрической станцией, которые обеспечивают функционирование системы поддержки принятия решения диспетчером при управлении энергодинамическими режимами.

Ключевые слова: динамическое программирование, ветровая электростанция, активный состав ветровой электрической станции, интеллектуальная система построена на правилах, энергоаккумулирующий элемент, система поддержки принятия решений.

Kravchyshyn V. S. Intellectualization of management of the complex system of electric energy generation. Manuscript copyright.

A thesis submitted in fulfilment of the candidate of sciences (Ph.D.) degree in technical sciences on specialty 05.13.06 «Information technologies» (122 – Computer Sciences). - Lviv Polytechnic National University, Ministry for Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019

In the dissertation work the solution of a scientific problem is presented, intellectualization of the system for management power dynamic processes of the wind power station which contains energy storage by using the developed decision support system which make decisions about wind turbines set advisable to use taking into account the consumers needs, wind energy potential and technical characteristics of batteries.

A model of management of energy-dynamic processes of a wind power station based on the production rules, which consider the battery capacity and provides an opportunity to effectively manage the existing generation capabilities to meet the consumers' needs, is developed. Production rules are constructed taking into account the changes of such parameters: wind speed, load of consumers, battery power capacity.

For correct implementation of the algorithm in a specific geographic region, a method of statistical analysis of wind speed is developed, and it provides the ability to determine the probabilistic wind speed range and to estimate the ratio between power of wind power station and battery capacity

The obtained results are the basis for the development of an intellectualization unit for a wind power station management system. It is based on a developed model that provides the obtaining and preliminary processing of input values taken from sensors and technical parameters of the wind turbine, the consumers load values asked by the dispatcher.

Method for determining the active composition of a wind power station is developed. Method based on the modification of the dynamic programming method, expert estimates of parameters and uses generalized wind turbine efficiency criteria, available battery capacity and provides the opportunity to make real time decisions. This method adds an opportunity to minimize the deviation of the total power of wind power station from the consumers load and to maximize the efficiency of the wind power station.

The developed method is used to format the algorithm of the intelligent control block of the wind power station. It provides determination of the active composition of the wind power station, uses an intelligent system built on product rules, to formulate additive tips to

the dispatcher about managing of the energy flow, to ensure the consumers load, the efficient use of battery and the effective operation of the wind power station and provides the reflection of the results in intuitively understandable mode and provides for the construction of situational maps of the features that gives an opportunity to monitor system status in real time. This method adds an opportunity to minimize the deviation of the total power of wind power station from the consumers load and to maximize the efficiency of the wind power station.

The intellectualization tools of the automated control system of the wind power station are developed, which ensure the functioning of the decision support system in the management of energy dynamical processes. Using of developed intellectualization tools for control system increases the average efficiency of the selected set by 3,04%, the average deviation between wind power station power (with battery) and consumers load decreases by 90%.

Situational maps of features based on artificial neural networks, which provide visualization of the output parameters in the real time, and allow the operator to react promptly to the critical values of the consumers load and wind power station power are developed.

Key words: dynamic programming, wind power station, active composition of wind power station, battery, intelligent system built on rules, decision support system.

Підписано до друку 24.05.2019 р.
Формат 60×90 1/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 1,5. Обл.-видав. арк. 0,89.
Тираж 120 прим. Зам. 190901

Поліграфічний центр
Видавництва Національного університету “Львівська політехніка”
вул. Ф.Колесси, 4, 79013, Львів
Ресстраційне свідоцтво серії ДК № 4459 від 27.12.2012 р.