

5. Марчук В.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1977. – 456 с.
6. Wesseling P. An introduction to multigrid methods. – John Wiley & Sons, 1992. – 284 p.
7. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. – М.: Научный мир, 2000. – 316 с.
8. Гавурин М.К. Лекции по методам вычислений. – М.: Наука, 1977. – 250с.
9. Лук'яненко С.О. Адаптивні обчислювальні методи моделювання об'єктів з розподіленими параметрами. – К.: ІВЦ "Політехніка", 2004. – 236 с.

УДК 621.311.245

А.М.Донець, В.А.Хілько (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

## Деякі питання створення продуктивних вітро дизельних електростанцій

*Визначено принципи забезпечення якості електроенергії автономної вітро дизельної електростанції в залежності від змін обсягу видачі електроенергії споживачам та мінливості вітрового навантаження вітрових електричних установок системи. Обґрунтовано заходи щодо оптимізації роботи автономної вітро дизельної електростанції за критеріями економії викопного палива та досягнення технічно можливої продуктивності.*

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, автономні системи електропостачання, вітро дизельні електричні станції, якість електроенергії, оптимізація продуктивності, система керування.

*Определены принципы обеспечения качества электроэнергии автономной ветродизельной электростанции в зависимости от изменений объема выдачи электроэнергии потребителям и изменчивости ветровой нагрузки ветровых электрических установок системы.*

*Обоснованы мероприятия по оптимизации работы автономной ветродизельной электростанции по критериям экономии ископаемого топлива и достижения технически возможной производительности.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, автономные системы электроснабжения, ветродизельные электрические станции, качество электроэнергии, оптимизация продуктивности, система управления.

**Загальна частина.** Впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до існуючих автономних енергосистем, які працюють на викопному (органічному) паливі, забезпечує ряд вигод як економічного характеру, так і пов'язаних з охороною навколишнього середовища. Такі вигоди включають зниження рівня споживання палива і зниження рівня викидів, а також сприяння довготривалій стабільності витрат на виробництво електроенергії. Для систем, розташованих у віддалених місцевостях, зниження споживання палива може зменшити ризик, пов'язаний із впливом на навколишнє середовище, шляхом зниження кількості запасів палива і витрат на транспортування. У той час, коли електроенергія від ВДЕ перевищує вимоги по навантаженню, надлишок енергії може використовуватися для інших виробничих цілей, таких як опалення та накачування води. Однак для успішної інтеграції компонентів, що працюють на основі ВДЕ, ускладнюється конструкція традиційних енергогене-

руючих систем і додається спеціалізоване технічне та програмне забезпечення.

Автономні системи електропостачання з викори-станням ВДЕ широко застосовуються у всьому світі там, де є труднощі з приєднанням до централізованої електроенергетичної мережі та з доставкою палива для електричних станцій. Досвід створення таких систем у Внутрішній Монголії (Китай), Австралії, на Алясці, островах північної Ірландії, на островах Середземного моря та в Антарктиді свідчить про їх ефективність. Найбільш переважним варіантом є вітро дизельні електричні станції (ВДЕС), в яких у комбінації з енергією дизельних генераторів використовується легкодоступне і тому найбільш дешеве джерело енергії – вітер.

### Принцип роботи ВДЕС.

У зв'язку з малою потужністю і замкнутістю мережі, принциповою особливістю автономної електричної системи є висока чутливість до дії

збурюючих факторів. Ними є природні коливання вітрового навантаження, зміна споживання енергії з плином часу доби, стрибки споживання при включенні та відключенні електричних приладів у населення, а також нештатні ситуації в роботі генеруючого обладнання системи. З метою стабілізації (забезпечення стійкості) системи та підвищення якості виробленої електроенергії до неї додається розвинена система керування.

Графік навантажень ВДЕС являє собою криву, на якій значення потужності навантаження з часом змінюються. Технічні параметри системи керування повинні бути такими, щоб покрити будь-які зміни збурюючих факторів. Оскільки енергія, що виробляється ВЕУ, може перевищувати її споживання навантаженням, у складі обладнання станції необхідна наявність додаткового контрольованого стоку для електроенергії, що виробляється ВЕУ. Цим елементом є баластне навантаження.

Особливо необхідно відзначити істотну роль акумуляторів електроенергії в забезпеченні працездатності електростанції. Саме акумуляторна батарея є тією ланкою, яка здійснює "гасіння" непередбачуваних у часі сплесків споживання енергії. Вона ж виконує "підживлення" споживачів у періоди перехідних процесів на генеруючому обладнанні (старт ВЕУ, перемикання дизельних генераторів, тимчасове зниження вітрового навантаження і т.д.).

Завдання системи керування полягає у забезпеченні балансу між виробленням і споживанням електроенергії в автономній системі шляхом управління її складовими для компенсації змін навантаження або вітрового потенціалу.

Як показано на рис. 1, структура гіпотетичної вітродизельної системи (із зазначеними вище умовами та обмеженнями, тому більш проста, ніж реальна) складається з наступних основних компонентів:

- Одна або кілька ВЕУ.
- Один або декілька дизельних генераторів.
- Акумулятори енергії.
- Баластне навантаження.
- Навантаження від споживачів енергії.
- Система керування.

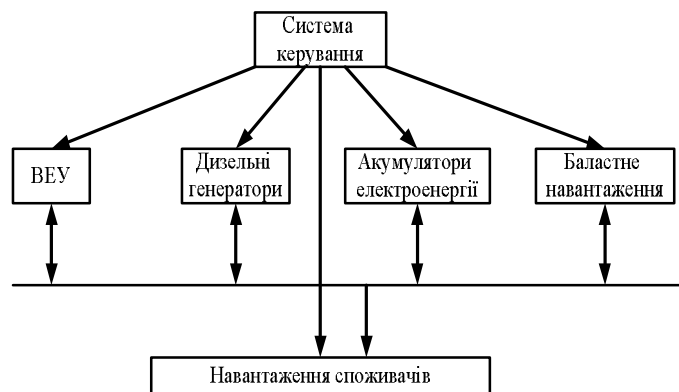


Рис. 1. Структурна схема гіпотетичної вітродизельної системи.

**Структура навантажень.** Крива навантажень електростанції має складну форму, тобто навантаження характеризується значною мінливістю потужності в часі. Це в першу чергу пов'язано з особливістю роботи основних споживачів енергії, які забезпечують життєдіяльність населення об'єкта і мають велику одиничну (нероздільну) потужність. Також на графік навантажень накладаються збурення, пов'язані з комунальними потребами (витрати енергії для приготування їжі, освітлення в темний час доби, опалення і т.д.). Коли стартують ВЕУ, також виникають збурення, споживаючи великі величини струмів у моменти після замикання головного контактора ВЕУ. Звідси слід зробити висновок, що проект електростанції, з точки зору якісного забезпечення електроенергією, досить складний.

Одиничне навантаження складає частину навантаження від споживачів об'єкта. Воно являє собою або фізично неподільне навантаження (наприклад, електричний двигун), або нерозривний ланцюжок електричних приладів, які одночасно вмикаються (наприклад, електричні світильники на території об'єкта). Для побудови графіка навантажень необхідно розкрити склад електричних приладів на об'єкті, визначити характер одиничних споживачів, які входять до нього, і виділити одиничну потужність кожного з них.

З метою визначення навантаження електростанції потрібно отримувати та аналізувати літні та зимові графіки електричних навантажень від споживачів енергії.

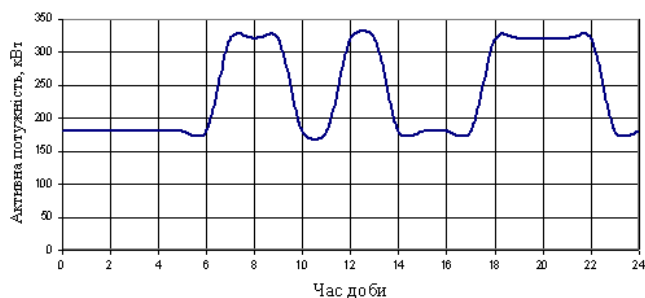


Рис. 2. Приклад теоретичного графіка навантаження електростанції встановленою потужністю 500 кВт.

Необхідність підготовки графіків по сезонах пояснюється тим, що в літні місяці збільшується тривалість світлового дня, виключаються витрати на обігрів приміщень та ін. З цих причин сезонні графіки навантажень будуть істотно відрізнятися один від одного. На кожному з графіків слід вказати номінальну потужність найбільшого за величиною одиничного навантаження, його характер (ємнісний або індуктивний) і величину коефіцієнта потужності.

На підставі опрацьованого графіка навантажень електростанції визначаються конкретні кількісні та якісні параметри електротехнічного обладнання системи.

**Джерела забезпечення продуктивності ВДЕС.** Задача щодо оптимізації продуктивності автономної ВДЕС полягає у розв'язанні двох питань. По-перше, при сприятливому вітровому навантаженні відключити всі дизельні генератори системи, забезпечивши живлення всього навантаження тільки за рахунок ВЕУ. По-друге, використати усю вироблену енергію шляхом когенерації.

Живлення споживачів у режимі роботи системи "тільки ВЕУ" є основною відмінною рисою систем із високим класом проникнення енергії. У системах з високим класом проникнення енергії ВЕУ може бути отримана така кількість енергії, що в кінцевому рахунку це може перевищити обсяг енергії, який необхідний для загального забезпечення навантаження від споживачів.

Когенерація являє собою комбінований процес одночасного виробництва тепла та електричної енергії.

У дизельному генераторі джерелом електроенергії та тепла є газовий двигун внутрішнього згоряння з електричним генератором на валу. Теп-

лова енергія виробляється за рахунок утилізації теплових втрат первинного приводного двигуна: утилізація тепла охолоджуючої рідини, мастила, стислої газоповітряної суміші та вихлопних газів. Причому, в середньому на 100 кВт електричної потужності від дизельного двигуна можна отримати 150-160 кВт теплової потужності.

Отже, когенерація може задовольнити потреби об'єкта в електроенергії та низькопотенційному теплі. Головна її перевага над звичайними системами полягає в тому, що виробництво енергії відбувається з більшою ефективністю, чим досягається значне зменшення витрат на створення одиниці енергії. Оптимізація цього процесу за принципом економії енергетичних ресурсів здійснюється автоматичною системою керування електростанцією.

Слід взяти до уваги, що у ВДЕС є два основних джерела "попутної" теплової енергії: тепло, що виділяється дизельними двигунами, і тепло від баластного навантаження.

Крім того, істотною обставиною, характерною виключно для автономної електричної системи, є можливість відсутності попиту на вироблену електричну енергію. Наприклад, ця ситуація може виникнути при високих вітрових навантаженнях у нічний час, коли величина попиту на електроенергію низька. У таких випадках виникає джерело електричної енергії, яке повинне бути використане для живлення вторинного навантаження шляхом перетворення у додаткову теплову енергію, або використане в системі накопичення енергії.

**Напрямки використання вторинного навантаження.** Вторинне навантаження по суті являє собою таке навантаження системи, яке використовується замість баластного, але, в протилежність тому, енергія там не втрачається, а навпаки – має економічне значення.

Використання вторинного навантаження необхідне як з точки зору максимального використання виробленої ВЕУ електроенергії, так і з точки зору управління попитом на електроенергію. Вторинним навантаженням можуть бути системи обігріву, теплового водопостачання тощо.

Часто можна використовувати енергію, яка розсіюється у баластному навантаженні, що може

значно підвищити економічний успіх проекту. Наприклад, тепло, яке виділяється в баластному навантаженні, може підігрівати рідкий теплоносій у системі опалення приміщень. У цьому випадку баластне навантаження розглядається як вторинне навантаження, оскільки енергія в ньому практично використовується.

Інші види вторинного навантаження включають навантаження, що допускає затримку живлення, і умовні навантаження.

Навантаженнями, що допускають затримку, є такі навантаження, які необхідно обслуговувати автономною енергосистемою, але є деяка гнучкість щодо того, коли вони можуть бути обслужені. Типовим навантаженням, що допускає затримку, є закачування води в бак з метою зберігання.

Умовними навантаженнями є такі навантаження, які можуть обслуговуватися або не обслуговуватися автономною енергосистемою. Прикладом такого навантаження є опалення приміщень. Типовими умовними навантаженнями є обладнання резервних джерел тепла, які служать для заміни обладнання первинних джерела тепла, в яких використовується мазут.

Живлення вторинного навантаження за рахунок "попутної" теплової енергії буде заощаджувати близько 60-70% енергетичних ресурсів. Використання всіх доступних джерел енергії поліпшує експлуатаційні показники ВДЕС.

**Накопичення енергії.** Накопичення і зберігання електроенергії ефективно знижує рівень непостійності енергії вітру шляхом поглинання надлишкової електроенергії та подачі відсутньої електроенергії в короткий термін і таким чином дозволяє мати менший резерв генеруючого обладнання. Кінцевим результатом накопичення є скорочення стоку енергії на баластне навантаження, збільшення тривалості часу роботи системи в режимі "тільки ВЕУ", а також скорочення використання дизельного палива. Зворотною

стороною є збільшення вартості системи, оскільки великі блоки батарей є дорогими.

З метою економії дизельного палива, в системі постачання теплової енергії повинні бути включені теплові акумулятори та сонячні колектори. Дані пропозиції повинні бути пов'язані з проектними рішеннями з енергопостачання об'єкта, відображеними у розрахунку прогнозного балансу електричних і теплових навантажень.

**Висновки.** Принцип, закладений у забезпечення працездатності автономної електросистеми, полягає у створенні балансу між виробленням і споживанням електроенергії шляхом управління складовими системи для компенсації зміни обсягу споживання енергії або мінливості вітрового потенціалу.

Оптимізація роботи автономної ВДЕС досягається впровадженням систем із високим класом проникнення вітрової енергії та заходами щодо використання усієї виробленої енергії шляхом когенерації.

Головна перевага когенерації полягає у можливості використовувати те тепло, яке зазвичай просто втрачається. При цьому знижується потреба в додатковій енергії на величину виробленої теплової енергії, що сприяє зменшенню виробничих витрат.

Проект електростанції, з точки зору забезпечення споживачів якісною електроенергією, має досить складний характер. У порівнянні з традиційними електричними системами на базі дизельних генераторів, ускладнюється конструкція системи, зокрема додається автоматична система керування.

1. *Edited by Ray Hunter and George Eliot (UK). Wind-Diesel Systems: A Guide to the Technology and Its Implementation. Cambridge University Press. 03/03/1994.*

2. *Northern Power Systems. Abecedary on autonomous power systems. P.O. Box 999. Waitsfield, Vermont 05673. USA. 04/17/2002.*