

ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИТРАТ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Отримано 06 січня. 2025; рекомендовано до публікації 14 бер. 2025
Доступно онлайн 01 квіт. 2025

**Коваленко М. А.¹, Реуцький М. О.²,
Коваленко І. Я.³, Базаров О. О.⁴, Тітов Є. О.⁵**

Автор для кореспонденції: Коваленко Михайло,
e-mail: kovalenko_ma@i.ua

Проведено аналіз використання джерела безперебійного живлення сумісно з автономним дизель-бензиновим електрогенератором з метою зниження експлуатаційних витрат. Такі системи мають місце при використанні автономної електрогенерувальної установки як єдиного джерела живлення споживачів, або в разі аварійних чи екстрених відключень електроенергії. Проведено аналіз існуючих систем автономного енергозабезпечення та обґрунтовано актуальність цього напрямку дослідження. На конкретному прикладі автономної електроустановки та певного переліку обладнання приватного будинку побудовано графіки навантажень залежно від часу доби. За розробленими алгоритмами проведено оцінку ефективності використання ДБЖ у парі з автономною дизель-бензиновою електрогенерувальною установкою. Використання ДБЖ дає змогу знизити експлуатаційні витрати за рахунок навантаження генератора до оптимального значення 75–80 % номінального, економити паливо, скоротити інтервали й періодичність технічного обслуговування та зменшити шкідливі викиди в атмосферу. Максимальна величина заощаджень залежно від режиму роботи системи, характеру навантаження й періодичності відключень становить від 39 до 76 %. Збільшити ефект енергозбереження можливо, якщо цю систему додатково спорядити сонячними панелями чи вітрогенератором. Це дозволить додатково заощаджувати паливо та ресурс роботи електрогенератора. Оцінку ефективності цього технічного рішення планується провести під час майбутніх досліджень.

Ключові слова: автономний електрогенератор, безперебійне живлення, автономні дизель-бензинові електроустановки, відновлювальна енергетика, електромеханічний перетворювач.

¹ канд. техн. наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>

² канд. техн. наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0003-1870-2222>

³ PhD, асистент
<https://orcid.org/0000-0003-1097-2041>

⁴ аспірант
<https://orcid.org/0009-0008-8491-2678>

⁵ аспірант
<https://orcid.org/0009-0007-8222-7477>

^{1, 2, 3, 4, 5} Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

USING AN UNINTERRUPTED POWER SUPPLY TO REDUCE THE OPERATING COSTS OF AN AUTONOMOUS ELECTRIC GENERATOR

Received on January 06. 2025; accepted Mar. 14, 2025
Available online Apr. 01, 2025

**Kovalenko M.¹, Reutskyi M.², Kovalenko I.³,
Bazarov O.⁴, Titov Y.⁵**

Author for correspondence: Kovalenko Mykhailo,
e-mail: kovalenko_ma@i.ua

An analysis of the use of an uninterruptible power supply in combination with an autonomous diesel/gasoline generator was conducted in order to reduce operating costs. Such systems can be used when using an autonomous power generating unit as the only power source for consumers, or in case of emergency or emergency power outages. An analysis of existing autonomous power supply systems was conducted and the relevance of this research direction was substantiated. Load schedules were constructed based on a

¹ Cand. of Tech. Science, Assoc. Prof.
<https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>

² Cand. of Tech. Science, Assoc. Prof.
<https://orcid.org/0000-0003-1870-2222>

³ PhD, assistant
<https://orcid.org/0000-0003-1097-2041>

⁴ PhD, assistant
<https://orcid.org/0009-0008-8491-2678>

⁵ PhD-student
<https://orcid.org/0009-0007-8222-7477>

^{1, 2, 3, 4, 5} NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

specific example of an autonomous power generating unit and a certain list of equipment in a private house, depending on the time of day. The developed algorithms were used to assess the effectiveness of using a UPS in conjunction with an autonomous diesel/gasoline generator. The use of a UPS allows you to reduce operating costs by loading the generator to an optimal value of 75-80% of the nominal, saving fuel, reducing maintenance intervals and frequency, and harmful emissions into the atmosphere. The maximum amount of savings, depending on the system operating mode, load nature, and frequency of outages, is from 39% to 76%. Additional energy saving effect can be achieved if this system is additionally equipped with solar panels or a wind generator. This will allow for additional fuel savings and generator life. It is planned to evaluate the effectiveness of this technical solution in future studies.

Keywords: *autonomous electric generator, uninterruptible power supply, autonomous diesel-petrol power plants, renewable energy, electromechanical converter.*

Перелік використаних позначень та скорочень

ДБЖ – джерело безперебійного живлення;
ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;
АКБ – акумуляторна батарея;
АВР – автоматичне ввімкнення резерву;
ККД – коефіцієнт корисної дії.

Вступ. Автономні електроенергетичні установки, в тому числі автономні дизель-бензинові електрогенерувальні пристрої, є важливим джерелом енергопостачання різноманітних об'єктів. Вони використовуються при аварійних відключеннях світла, проведенні ремонтних робіт, при нестабільному централізованому живленні, як резервні джерела живлення. Окрема сфера застосування таких систем – віддалені від загальної електромережі об'єкти або автономні об'єкти (судна, потяги, транспортні засоби і т. ін.) [1].

Проте експлуатація таких систем супроводжується значними витратами, пов'язаними з паливом, технічним обслуговуванням, заміною компонентів, поточним та капітальним ремонтом.

Одним з ефективних способів оптимізації роботи електрогенераторів є інтеграція з джерелами безперебійного живлення (ДБЖ) [2]. Використання ДБЖ дозволяє не лише забезпечити безперервність електропостачання, але й значно зменшити експлуатаційні витрати завдяки зниженню навантаження на генератор і раціоналізації використання палива двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) [3].

Використання ДБЖ також сприяє підвищенню надійності електропостачання. ДБЖ забезпечують миттєвий перехід між джерелами живлення, уникаючи перебоїв навіть при виникненні короточасних аварій [4, 5]. Це особливо важливо для критичних об'єктів, де стабільність енергопостачання має вирішальне значення.

При оцінці вартості 1 кВт виробленого змінного струму використання інвертора є дорожчим, ніж генератора. Це пояснюється більшою вартістю системи ДБЖ з акумуляторами порівняно з вартістю генератора необхідної потужності. Додавання інвертора до системи генератора змінного струму сприяє не лише зниженню шуму від його роботи та роботи ДБЖ при відносно невеликих ($\approx 0\text{--}30\%$) навантаженнях, а й дає змогу:

- заощадити паливо;
- заощадити кошти й час за рахунок збільшення інтервалів технічного обслуговування;
- подовжити термін служби генератора в цілому;
- забезпечити цілодобову доступність живлення змінного струму.

Актуальність цієї роботи обумовлена необхідністю пошуку нових рішень для підвищення енергоефективності та зниження витрат при експлуатації автономних дизель-бензинових електрогенерувальних установок. Також інтеграція ДБЖ у систему електроживлення дозволяє мінімізувати час роботи генератора на низьких навантаженнях, що є однією з основних причин підвищеного зносу двигунів та надмірної витрати палива. Крім того, інтеграція сучасних систем зберігання енергії, таких як акумуляторні батареї, сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин, що відповідає глобальним екологічним трендам [6, 7].

Особливо актуальним є використання таких систем у різних галузях, включно з легкою та важкою промисловістю, медициною, інформаційними технологіями та житловим сектором. За інформацією в джерелах літератури [8, 9], застосування систем ДБЖ дає змогу знизити витрати на паливо до 20 % за рахунок оптимізації роботи генератора в режимах змінного навантаження або ефективнішого керування навантаженням. Інші дослідження [10, 11] показують, що інтеграція ДБЖ із системами автономного енергопостачання підвищує їх надійність, дозволяючи мінімізувати ризики аварійних відключень.

Основна ідея використання ДБЖ сумісно з автономним електрогенератором полягає в тому, щоб зменшити час роботи генератора під високими навантаженнями або у випадках короточасних відключень основного живлення. Інший спосіб полягає в навантаженні генератора інвертором до рівня 75–85 % його номінальної потужності. При такому рівні навантаження електрогенерувальна установка має найбільш оптимальне співвідношення вартості виробленого 1 кВт до витрати 1 л/год палива. А при невеликих рівнях навантаження взагалі існує можливість переходу на живлення від ДБЖ. Наприклад, у дослідженні [12, 13] продемонстро-

вано, що ДБЖ, оснащені сучасними батареями великої ємності, можуть забезпечити безперервне живлення критично важливих систем протягом кількох годин, тоді як генератор активується лише в разі тривалих перебоїв [14].

Однак очевидно, що в таких систем є і суттєвий недолік – ціна та складність системи, що знижує надійність комплексу в цілому, потребує регулярних технічних оглядів, ревізій. Монтаж системи з ДБЖ потребує встановлення додаткових апаратів керування, комутації та захисту, що також ускладнює таку систему та збільшує її вартість.

Ще одним важливим аспектом є впровадження систем моніторингу та автоматичного керування, що дозволяють оптимізувати роботу генераторів і ДБЖ. Наприклад, за результатами досліджень [15], автоматизація процесів перемикання між джерелами живлення знижує кількість людських помилок і підвищує ефективність енергоспоживання.

Окрему увагу слід приділити економічним перевагам використання ДБЖ. Зменшення кількості запусків генератора значно подовжує його ресурс, що в довгостроковій перспективі скорочує витрати на технічне обслуговування та ремонт [16].

Таким чином, інтеграція ДБЖ в систему автономного енергопостачання має значний потенціал для зниження експлуатаційних витрат і підвищення надійності електропостачання. Аналіз сучасних підходів до використання ДБЖ для оптимізації роботи автономних електрогенераторів з урахуванням технічних, економічних і екологічних аспектів є актуальним науково-технічним завданням.

Мета роботи. Метою роботи є оцінка ефективності використання ДБЖ в системі автономного енергопостачання на базі електрогенератора з двигуном внутрішнього згоряння. Це дозволить оптимізувати роботу автономних енергоустановок, знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність роботи системи.

На рис. 1 наведено структурну схему системи безперебійного живлення електроустановок на основі ДБЖ. Основою такої системи може бути будь-який сучасний ДБЖ (Victron Energy, Deye, Must, Daxtromn та ін.) з наявністю інтерфейсу RS485 (чи інших) з розширеними можливостями налаштувань та кастомізації режимів роботи перетворювача. Крім того, з метою додаткового енергозбереження, ця система може бути оснащена сонячними панелями чи вітрогенератором, що дозволить додатково заощаджувати паливо та ресурс роботи електрогенератора. Таке технічне рішення планується реалізувати авторами в майбутніх роботах.

Система працює таким чином: при наявності мережі живлення через магнітний контактор 4 надходить до

входу (In) ДБЖ та транзитом проходить на навантаження (Out). При цьому система моніторингу стану АКБ (БМ) відслідковує стан та рівень заряду АКБ. В разі потреби живлення споживачів відбувається від АКБ, або відбувається заряджання АКБ за рахунок енергії, що поступає від мережі. Багатофункціональна панель контролю виконує онлайн-моніторинг стану системи: величину та характер навантаження, рівень заряду АКБ та дозволяє полегшити програмування параметрів роботи системи в цілому.

Якщо головна мережа зникає (або вона взагалі відсутня), залежно від стану АКБ та навантаження, подається сигнал на запуск генератора. Після проходження певного часу (необхідного для прогріву конструктивних елементів генератора) ДБЖ переходить на живлення від електрогенератора через переключення контакторів АВР (4, рис. 1).

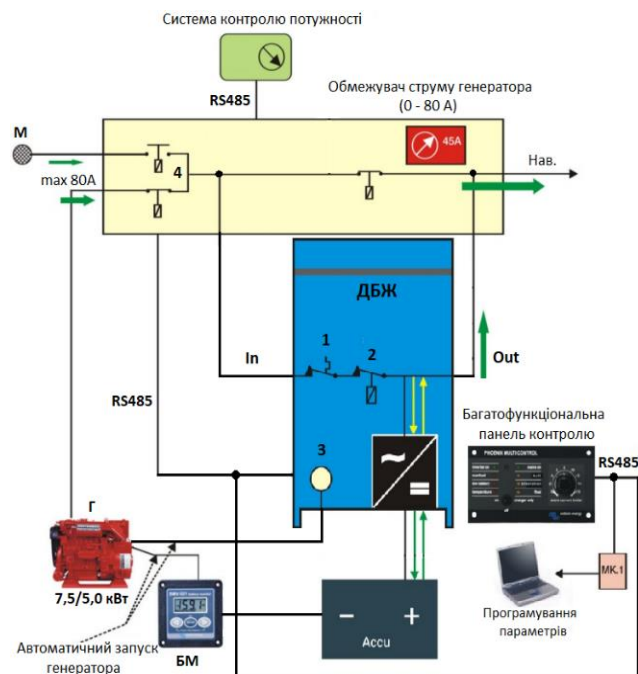


Рис. 1. Конфігурація системи безперебійного живлення на основі ДБЖ: 1 – вбудоване теплове реле; 2 – захисне (аварійне) реле; 3 – мультифункціональний додатковий вхід ДБЖ; 4 – перемикач вводу (система АВР); Г – автономний генератор; БМ – система моніторингу стану АКБ

Fig. 1. Configuration of an uninterruptible power supply system based on a UPS: 1 – built-in thermal relay; 2 – protective (emergency) relay; 3 – multifunctional additional UPS input; 4 – input switch (ABA system); G – autonomous generator; BM – battery monitor system

Складові запропонованої схеми для зниження експлуатаційних витрат реалізовано з використанням комплектуючих, перелік яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Основні складові запропонованої системи
Table 1. Main components of the proposed system

№	Найменування обладнання	Характеристики	Вартість, \$
1	Victron MultiPlus 24/3000/70	Потужність: 2,4 кВт; Вхідна напруга: 187–265 В	1350
2	Тяговий акумулятор Sunlight (10 PzS 600) LiFePO4	Номинальна напруга: 24 В; Номинальна ємність: 600 А·Г	3030
3	SDMO HX 7500 T C	Повна потужність: 7,5 кВА Номинальна активна потужність: 6,0 кВт Витрати палива: 2,3 л/год при 75 % навантаження	2000
4	Багатофункціональна панель контролю	Victron Energy GX Touch 50	240
5	Система моніторингу стану АКБ	Battery Monitor BMV-712 Smart 9–90 В	215
6	Всього		6835

На основі комплектуючих, наведених у табл. 1 відбувається подальший розрахунок ефекту зниження експлуатаційних витрат автономного електрогенератора.

Матеріали і результати досліджень.

Для оцінки ефекту зниження експлуатаційних витрат візьмемо типовий перелік обладнання приватного будинку (квартири чи таунхаусу). Перелік обладнання наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Перелік обладнання

Table 2. Equipment list

№	Прилади	Потужність, Вт	Кількість
1	Освітлення	20	15
2	Телевізор	120	1
3	Холодильник	140	1
4	Бойлер	2000	1
5	Насос скважини	800	1

№	Прилади	Потужність, Вт	Кількість
6	Пральна машина	1500	1
7	Персональний комп'ютер	500	1
8	Роутер+камери відеоспостереження	50	3
9	Пилосмок	800	1
Всього			≈5930 Вт

На рис. 2 показано типовий графік споживання обладнання залежно від часу доби, відповідно до даних, наведених у табл. 2.



Рис. 2. Система з використанням 7,5 кВА генератора

Fig. 2. System using 7.5 kVA generator only

На рис. 2 видно, що існує ранковий пік споживання 3 кВт протягом двох годин, пік $\approx 2,5$ кВт в обідній час і вечірній пік 6 кВт. Між ранковим і полуденним піком та між обіднім і вечірнім піком споживання є відносно низьким, в середньому близько 500 Вт. Після вечірнього піку середнє споживання становить близько 1 кВт протягом кількох годин.

У разі систематичних відключень світла чи аварії електромережі та при використанні генератора як єдиного джерела живлення потужністю 7,5 кВА, генератор повинен працювати 17 годин на день. До того ж 70 % часу генератор працює з навантаженням менше ніж на 15 % його номінальної потужності.

Якщо до системи додати ДБЖ з АКБ необхідного типу та ємності, то він може забезпечити необхідну потужність більшу частину часу роботи обладнання. Під час пікового споживання генератор автоматично запускається, надлишок потужності використовується для зарядки акумуляторів.

На рис. 3 показано графік споживання обладнання з додаванням перетворювача типу ДБЖ (на прикладі Victron MultiPlus).

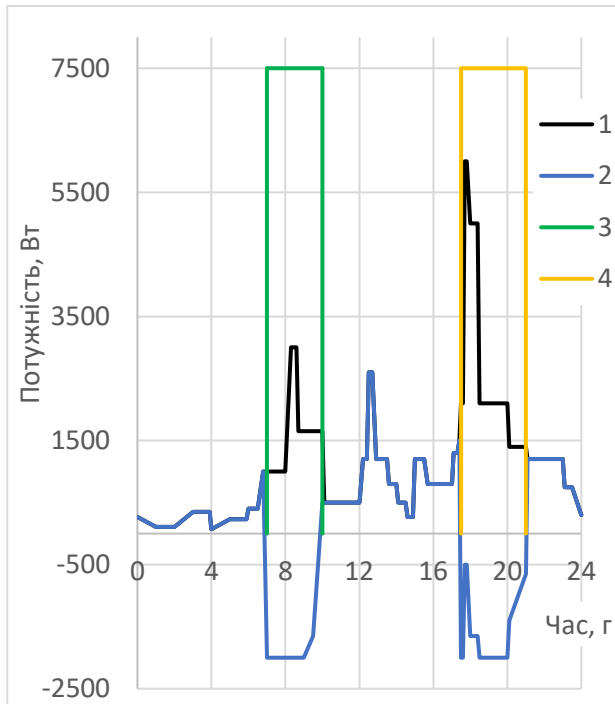


Рис. 3. Графік навантаження при використанні ДБЖ у системі: 1 – навантаження споживачів; 2 – потужність ДБЖ; 3, 4 – потужність генератора

Fig. 3. Load schedule when using a UPS in the system: 1 – consumed load; 2 – UPS power; 3, 4 – generator power

Це приводить до скорочення часу роботи генератора до 5 год на день, оскільки більшість часу потужність обладнання не перевищує 2,5–3,0 кВт і його потреби покриваються за рахунок АКБ. Коли синя лінія (2, рис. 3) розташована нижче нуля, надлишок потужності від генератора витрачається на зарядку АКБ. Потужність заряджання обмежується надлишком потужності генератора та можливостями зарядного пристрою перетворювача. В цьому прикладі, з урахуванням ККД зарядного пристрою перетворювача, максимальна потужність заряджання АКБ становить 2,0 кВт·год. Коли синя лінія більше нуля, потреби енергоспоживання відбуваються за рахунок енергії АКБ. При цьому 12 год обладнання працює в тиші. Коли генератор працює, він завантажений до 70 % своєї потужності.

Для обчислення необхідної ємності АКБ необхідно розрахувати середнє навантаження споживачів (крива 1, рис. 3). Середнє навантаження розраховується так:

$$P_{av} = \frac{P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P_n \cdot t_n}{n} \quad (1)$$

де: P_{av} – середнє значення споживаної потужності на t_n інтервалі часу; P_n , t_n – значення потужності навантаження на конкретному інтервалі часу.

Необхідна ємність АКБ визначається з таких міркувань: спочатку визначається P_{av} , потім потужність генератора P_g (крива 3, 4 рис. 3.). В інший час робота споживачів забезпечується за рахунок енергії, накопиченої в АКБ (крива 2, рис. 3):

$$P_b = P_{av} - P_g \quad (2)$$

У загальному випадку необхідна енергія АКБ (W_b) обчислюється за таким виразом:

$$W_b = P_b \cdot t_b \quad (3)$$

де: W_b – необхідна енергія АКБ (Вт·год); t_b – час роботи обладнання від АКБ (без генератора).

Необхідна ємність АКБ обраховується :

$$Q_b = \frac{P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + P_3 \cdot t_3}{U_b} \quad (4)$$

де: U_b – номінальна напруга АКБ (В); P_1 , P_2 , P_3 – середня потужність при роботі системи від перетворювача (3 зони на рис. 3); t_1 , t_2 , t_3 – час роботи ДБЖ на кожній ділянці без генератора.

Залежно від величини навантаження час роботи в системі від АКБ розраховується в такий спосіб:

$$T_b = \frac{Q_b \cdot \eta_i \cdot U_b}{U_1 \cdot I_1} \quad (5)$$

де: η_i – ККД перетворювача (інвертора ДБЖ); U_1 – напруга споживачів змінного струму; I_1 – струм навантаження споживачів.

Отже, встановлена ємність АКБ у цьому разі необхідна менша, ніж при розрахунку роботи системи без генератора. У наведеному прикладі вибрано акумулятор 24 В. Згідно з проведеними розрахунками АКБ розряджається до 166 А·год безпосередньо перед запуском генератора вранці та до 285 А·год безпосередньо перед запуском генератора ввечері.

Розрахована за формулами (4), (5) ємність АКБ становить ≈ 658 А·год. Серійно виготовляються АКБ на 24 В/600 А·год, що є достатнім з резервним запасом. Якщо вибирати АКБ з напругою 48 В, очевидно, що ємність знадобиться меншою за 300 А·год.

Генератор потужністю 7,5 кВА споживає близько 1,5 л/год дизельного палива при низькому навантаженні (до 25–30 %) та 2,3 л/год при навантаженні 75 %. Таким чином, при роботі системи лише з генератором споживання становить $\approx 25,5$ л дизельного палива на день. Водночас використання генератора у поєднанні з ДБЖ зменшує споживання до 11,5 л/день для забезпечення тієї самої потужності споживачів. Це забезпечує економію 5110 л дизельного палива на рік. Якщо вартість 1 л становить 1,3 дол. США, це дорівнює економії приблизно 6643 дол. на рік (не враховуючи час і кошти,

заощаджені на заправці). Результати детального розрахунку експлуатаційних витрат наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Розрахунок експлуатаційних витрат

Table 3. Calculation of operating costs

	Лише генератор	Генератор + ДБЖ	Заощадження
Робочий час год/день	17 год	5 год	12 год
Споживання дизелю/день	25,5 л	11,5 л	14 л
Споживання дизеля/рік	9307 л	4197 л (2070 л)	5110 л/рік 6643 дол./рік
Заміна оливи/рік	41	12	29
Споживання мастила/рік	205 л/рік	60 л/рік	145 л/рік 705 дол./рік
Навантаження генератора	15 % навантаження 70 % робочого часу	70 %	
Щорічна економія палива та мастила (без урахування втррати довшого терміну служби)	7348 дол./рік		2691 дол./рік
Економія за 5 років	36 740 дол.		

За рекомендацією виробників заміна масла повинна виконуватись кожні 150 год роботи (при використанні мінеральної оливи). При роботі генератора без системи ДБЖ генератор працює 6205 год, що відповідає 41 заміні мастила на рік. З використанням у системі інвертора / зарядного пристрою час роботи скорочується до 1825 год, що відповідає 12 замінам масла на рік. Економія становить 29 заміни масла на рік.

Для вибраного прикладу генератора об'єм мастила становить 5 л, це дає щорічне заощадження 145 л мастила. При ціні 5 дол. за літр це відповідає економії 725 дол. на рік (не враховуючи час, витрачений на заміну масла та вартості таких деталей, як масляні, повітряні та паливні фільтри).

Під час аварійних відключень електроенергії, за умови роботи генератора лише при ранковому або вечірньому піку споживання, система дає змогу заощадити 2070 л пального на рік, що забезпечує економію ≈ 2691 дол./рік.

Тобто при роботі генератора сумісно з ДБЖ під час екстрених та аварійних відключень електроенергії (8 год електроенергія є, 16 год немає), за умови роботи генератора один раз на день (2,5 год) при піку електроспоживання заощадження становить ≈ 76 %.

В разі використання автономного електрогенератора як єдиного джерела електроенергії, або при систематичних відключеннях, сумісно із ДБЖ зменшення експлуатаційних витрат становить ≈ 39 %.

З урахуванням вартості обладнання, монтажу, пуско-наладжувальних робіт та при використанні автономного електрогенератора як єдиного джерела електроенергії таке технічне рішення окупиться $\approx$ протягом 1–1,5 року. В іншому разі, при роботі генератора сумісно з ДБЖ при екстрених та аварійних відключеннях електроенергії, термін окупності системи становить $\approx 2,5$ –3 роки.

Генератори з дизельним привідним двигуном мають більший термін експлуатації при роботі під навантаженням, порівняно з роботою без навантаження або з низьким навантаженням. Деякі виробники не рекомендують роботу генератора з мінімальним навантаженням, 25–30 %, щоб запобігти передчасному виходу з ладу.

При додаванні ДБЖ до системи живлення, навантаження на генератор зростає з менш ніж 15 % до навантаження 70 %. Це сприяє додатковому збільшенню терміну експлуатації генератора.

Інший аспект роботи генератора сумісно з ДБЖ полягає в зниженні експлуатаційних витрат, а саме у контексті зменшення вартості 1 кВт/год виробленої електроенергії.

Вартість виробленої електроенергії залежно від потужності, що розвиває генератор при роботі на навантаження, показана на рис. 4.

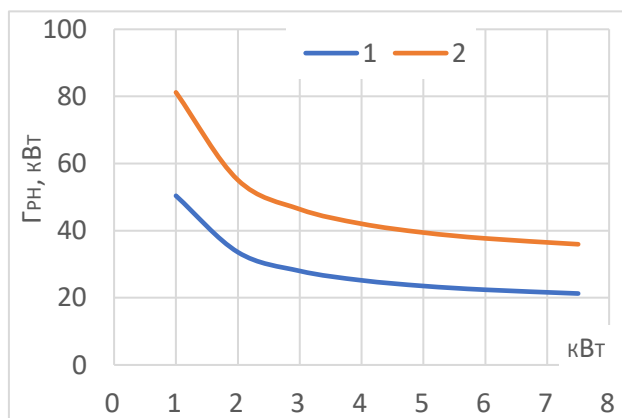


Рис. 4. Вартість електроенергії залежно від вихідної потужності електрогенератора: 1 – для генератора потужністю 7500 кВА з дизельним привідним двигуном; 2 – для генератора потужністю 7500 кВА з бензиновим привідним двигуном

Fig. 4. Cost of electricity based on the output power of the electric generator: 1 – for a 7500 kVA generator with a diesel drive engine; 2 – for a 7500 kVA generator with a gasoline drive engine

Порівняння експлуатаційних витрат для автономного електрогенератора потужністю 7500 кВА з бензиновим та дизельним привідним двигуном наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Порівняння експлуатаційних витрат для дизельного та бензинового палива

Table 4. Comparison of operating costs for diesel and gasoline fuel

Р, кВт	1	2	3	4	5	6	7,5
№							
1	13,3	26,7	40	53,3	66,7	80	100
2	1,4	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,65
3	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,85
4	0,9	0,6	0,5	0,45	0,42	0,4	0,38
5	1,4	0,95	0,8	0,72	0,68	0,65	0,62
6	50	34	28	25	23	22	21
7	81	55	46	42	39	37	36

У табл. 4 позначено: 1 – навантаження генератора, % повної потужності; 2 – споживання генератора з бензиновим привідним двигуном, л; 3 – споживання генератора з дизельним привідним двигуном, л; 4 – витрата палива генератора з дизельним привідним двигуном у перерахунку на 1 л/кВт; 5 – витрата палива генератора з бензиновим привідним двигуном у перерахунку на 1 л/кВт; 6 – вартість 1 кВт/год виробленої електроенергії для генератора з дизельним привідним двигуном; 7 – вартість 1 кВт/год виробленої електроенергії для генератора з бензиновим привідним двигуном.

За отриманими даними можна зробити висновок, що автономний електрогенератор доцільно експлуатувати з навантаженням вище 66–70 % від номінального, оскільки при такому навантаженні вартість виробленої електроенергії є мінімальною. Крім того, заощаджується ресурс вузлів та агрегатів автономної електроустановки.

Саме за рахунок використання ДБЖ з АКБ сумісно з автономним електрогенератором дозволяє довантажити його до необхідного рівня у часи низького енергоспоживання. Це відбувається завдяки заряджанню АКБ від енергії електрогенератора, тобто АКБ у цьому разі виступає як позитивна баластна потужність.

Висновки

Використання ДБЖ сумісно з автономним дизель-бензиновим електрогенератором крім очевидної переваги «безшумного» живлення забезпечує економію палива та скорочення витрат на технічне обслуговування. При систематичних відключеннях, сумісно з ДБЖ зменшення експлуатаційних витрат становить ≈ 39 %. Під час екстрених та аварійних відключень електроенергії заощадження становить ≈ 76 %. Це досягається за рахунок того, що електрогенератор працює лише 2,5 год під

час одного з піків навантаження. Весь інший час живлення відбувається за рахунок енергії АКБ. У цьому разі заряджання АКБ може здійснюватися як від мережі так і при роботі від електрогенератора.

Крім того, окрему увагу заслуговує зменшення впливу на навколишнє середовище внаслідок зменшення шкідливих відходів вихлопу та моторної оливи.

Очевидно, що на величину заощадження впливають такі фактори, як потужність генератора, графіки відключень, характер навантаження тощо. В цій роботі проведено оцінку максимальної економії експлуатаційних витрат. В реальних умовах фактична економія може бути дещо нижчою. Ефективність зниження експлуатаційних витрат зростатиме при збільшенні піків споживання обладнання.

ПОСИЛАННЯ

1. Ismagilov, Flur & Khayrullin, Irek & Vavilov, Viacheslav & Bekuzin, Vladimir & Ayguzina, Valentina. (2017). Increasing Energy Parameters of High-Speed Magneto-Electric Generator for Autonomous Objects. International Review of Aerospace Engineering (IREASE). 10. 74. doi: 10.15866/irease.v10i2.11708.
2. Quliyev, Huseyngulu & Ibrahimov, Famil & Mammadov, Zaur. (2024). Determination of optimal dimensions of hybrid AC/DC distributed generation system with renewable sources for autonomous power supply of remote locations. E3S Web of Conferences. 584. 01020. doi: 10.1051/e3sconf/202458401020.
3. Khan A., Javaid N., Javaid S. Optimum unitsizing of stand – alone PV-WT battery hybrid system components using jaya. In: Proceedings of the 2018 IEEE 21st International multi Topic Conference, 2018, Nov. 1-2, Karachi, Pakistan, pp. 1–8. doi: 10.1109/inmic.2018.8595678.
4. Makedonski, Nikola & Parushev, Plamen. (2023). Experimental Study of an Autonomous Power Supply System with a Special Type of Electric Drive. 1–6. doi: 10.1109/BulEF59783.2023.10406266.
5. Baryshnikov, S. & Sakharov, V. & Chertkov, A.. (2024). Economical management of diesel generator sets by means of MATLAB digital technologies. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 16. 591–603. doi: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-591-603.
6. Avramenko, A. (2018). Review of the actual state of the market for autonomous energy supply systems. Power and Autonomous equipment. 1. 6–14. doi:10.32464/2618-8716-2018-1-1-6-14.
7. Janon A. Making a case for a Non-standard frequency axial-flux permanent-magnet generator in an ultra-low speed direct-drive hydrokinetic turbine system / Akraphon Janon, Krittattee Sangounsak, Warat

Sriwannarat. AIMS Energy, 2019, № 8(2), pp. 156–68. doi: 10.3934/energy.2020.2.156.

8. Makedonski, Nikola & Parushev, Plamen. (2023). Experimental Study of an Autonomous Power Supply System with a Special Type of Electric Drive. 1–6. doi:10.1109/BulEF59783.2023.10406266.
9. Chumack, V., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, M., Ponomarev, A., Tkachuk, I. 2020. Mathematical modeling of a synchronous generator with combined excitation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1, 5 (103) (Feb. 2020), 30–36. doi: 10.15587/1729-4061.2020.193495.
10. Головка В. М., Коваленко М. А., Коваленко І. Я., Галасун І. Р. Математичне моделювання автономної вітроустановки з синхронним генератором магнітоелектричного типу. Відновлювальна енергетика. 2020. № 4(63). С. 50–58. doi: 10.36296/1819-8058.2020.4(63).
11. Al-suod, Mahmoud. (2024). Improving the Control Quality of Gas Diesel Engine as Part of Autonomous Electric Power System. International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications. 13. 354–365. doi: 10.18178/ijeetc.13.5.354-365.
12. Chuienko, R. & Kaplun, Viktor & Makarevych, Svitlana & Sytnyk, Oleksandr. (2023). Asynchronous generator replacement scheme with internal capacitive reactive power compensation. Naukovij žurnal «Tehnika ta energetika». 14. 54–63. doi:10.31548/machinery/4.2023.54.
13. Chuprina, Nikolay & Pugachev, Alexander. (2023). SIMULATION OF «SYNCHRONOUS GENERATOR – FREQUENCY CONVERTER – SYNCHRONOUS MOTOR» SYSTEM. Automation and modeling in design and management. 89–96. doi: 0.30987/2658-6436-2023-3-89-96.
14. Gorodnov, A. (2020). Design of energy efficient electrotechnical complexes with an autonomous electric supply system. Power engineering: research, equipment, technology. 22. 64–78. doi: 10.30724/1998-9903-2020-22-4-64-78.
15. T. Menzhinsky, A. & Malashin, A. (2020). Simulation model “free-piston engine – electromechatronic converter on the basis of an electrical generator reciprocating”. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Physical-Technical Series. 65. 83–96. doi: 10.29235/1561-8358-2020-65-1-83-96.
16. Chumack V., Bazenov V., Tymoshchuk O., Kovalenko M., Tsyvinskyi S., Kovalenko I., Tkachuk I. Voltage stabilization of a controlled autonomous magnetoelectric generator with a magnetic shunt and permanent magnet excitation (December 21, 2021). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(5 (114), 56–62. doi:10.15587/1729-4061.2021.246601.

REFERENCES

1. Ismagilov, Flur & Khayrullin, Irek & Vavilov, Viacheslav & Bekuzin, Vladimir & Ayguzina, Valentina. (2017). Increasing Energy Parameters of High-Speed Magneto-Electric Generator for Autonomous Objects. International Review of Aerospace Engineering (IREASE). 10. 74. doi: 10.15866/irease.v10i2.11708.
2. Quliyev, Huseyngulu & Ibrahimov, Famil & Mammadov, Zaur. (2024). Determination of optimal dimensions of hybrid AC/DC distributed generation system with renewable sources for autonomous power supply of remote locations. E3S Web of Conferences. 584. 01020. doi: 10.1051/e3sconf/202458401020.
3. Khan A., Javaid N., Javaid S. Optimum unitsizing of stand – alone PV-WT battery hybrid system components using java. In: Proceedings of the 2018 IEEE 21st International multi Topic Conference, 2018, Nov. 1–2, Karachi, Pakistan, pp. 1–8. doi: 10.1109/inmic.2018.8595678.
4. Makedonski, Nikola & Parushev, Plamen. (2023). Experimental Study of an Autonomous Power Supply System with a Special Type of Electric Drive. 1–6. doi: 10.1109/BulEF59783.2023.10406266.
5. Baryshnikov, S. & Sakharov, V. & Chertkov, A.. (2024). Economical management of diesel generator sets by means of MATLAB digital technologies. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 16. 591–603. doi: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-591-603.
6. Avramenko, A. (2018). Review of the actual state of the market for autonomous energy supply systems. Power and Autonomous equipment. 1. 6–14. doi:10.32464/2618-8716-2018-1-1-6-14.
7. Janon A. Making a case for a Non-standard frequency axial-flux permanent-magnet generator in an ultra-low speed direct-drive hydrokinetic turbine system / Akraphon Janon, Krittattee Sangounsak, Warat Sriwannarat. AIMS Energy, 2019, № 8(2), pp. 156-168. doi: 10.3934/energy.2020.2.156.
8. Makedonski, Nikola & Parushev, Plamen. (2023). Experimental Study of an Autonomous Power Supply System with a Special Type of Electric Drive. 1–6. doi:10.1109/BulEF59783.2023.10406266.
9. Chumack, V., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, M., Ponomarev, A., Tkachuk, I. 2020. Mathematical modeling of a synchronous generator with combined excitation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1, 5 (103) (Feb. 2020), 30–36. doi: 10.15587/1729-4061.2020.193495.
10. Holovko V. M., Kovalenko M. A., Kovalenko I. Ia., Halasun I. R. Matematychnе modeliuвання avtonomnoi vitroustanovky z synkhronnym heneratorom mahnitoelektrychnoho typu. Vidnovliualna

- enerhetyka. 2020. No. 4(63). S. 50–58. doi: 10.36296/1819-8058.2020.4(63).
11. Al-suod, Mahmoud. (2024). Improving the Control Quality of Gas Diesel Engine as Part of Autonomous Electric Power System. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*. 13. 354–365. doi: 10.18178/ijeetc.13.5.354-365.
12. Chuienko, R. & Kaplun, Viktor & Makarevych, Svitlana & Sytnyk, Oleksandr. (2023). Asynchronous generator replacement scheme with internal capacitive reactive power compensation. *Naukovij žurnal «Tehnika ta energetika»*. 14. 54–63. doi:10.31548/machinery/4.2023.54.
13. Chuprina, Nikolay & Pugachev, Alexander. (2023). SIMULATION OF «SYNCHRONOUS GENERATOR – FREQUENCY CONVERTER – SYNCHRONOUS MOTOR» SYSTEM. Automation and modeling in design and management. 89–96. doi: 0.30987/2658-6436-2023-3-89-96.
14. Gorodnov, A. (2020). Design of energy efficient electrotechnical complexes with an autonomous electric supply system. *Power engineering: research, equipment, technology*. 22. 64–78. doi: 10.30724/1998-9903-2020-22-4-64-78.
15. T. Menzhinsky, A. & Malashin, A. (2020). Simulation model “free-piston engine – electromechatronic converter on the basis of an electrical generator reciprocating”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Physical-Technical Series*. 65. 83–96. doi: 10.29235/1561-8358-2020-65-1-83-96.
16. Chumack V., Bazenov V., Tymoshchuk O., Kovalenko M., Tsyvinskyi S., Kovalenko I., Tkachuk I. Voltage stabilization of a controlled autonomous magnetoelectric generator with a magnetic shunt and permanent magnet excitation (December 21, 2021). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(5 (114), 56–62. doi:10.15587/1729-4061.2021.246601.