

УДК 64-5:620

Ощипок І. М.,

him1960@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-5427-3376, Researcher ID: F-4641-2019, д.т.н., проф.,
завідувач кафедри харчових технологій, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА ГЕНЕРАТОРАМИ МІКРОМЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ТОРГІВЛІ

Анотація. У статті розглянуто систему електропостачання, відому як локальна електрична мікромережа (micro-grid) з визначеними електричними межами, яка працює мов єдиний керований об'єкт. Створення таких систем дозволяє радикально змінити відношення споживачів до управління процесами генерації та розподілу електроенергії. При цьому існує можливість оперативного підключення споживачів до загальної електромережі у випадку перевантаження та коливань напруги, що суттєво підвищує надійність електрозабезпечення. Охарактеризовані тенденції розвитку світового та українського ринків бензо- і дизель-генераторів (БДГ). Поставлені важливі питання про тарифікацію електроенергії, яка повинна бути взаємовигідною для виробників, постачальників та споживачів електричної енергії під час роботи автономної системи електроживлення. Запропонована методика, яка дозволить на науковій основі, виходячи зі складу обладнання, враховувати режими роботи машин, розраховувати нормативну кількість палива, необхідну для вироблення запланованої кількості електроенергії та ефективності її використання. Показані переваги застосування бензо- і дизель-генераторів, їх конструктивне виконання. Проаналізовані важливі вимоги щодо режимів роботи БДГ за рівнем генерованої потужності відповідно до стандарту ISO 8528, які висувуються до всіх їх типів у складі Microgrid. Наведені чотири класи регулювання, які визначають якість електроенергії БДГ з точки зору стабільності, напруги і безперебійності. Показано перспективний шлях вирішення питання енергоефективності БДГ. Передбачено, що в автономній мікромережі, яка має власні джерела електроенергії, доповнені системою накопичення енергії, потрібно визначити їх номенклатуру й умови ефективною експлуатації. Для контролю за виконанням норм на підприємствах повинен бути організований облік виробленої електроенергії і витрат палива за допомогою приладів, встановлених відповідно з правилами технічної експлуатації.

Ключові слова: мікромережа, паливо, генератор, потужність, електропостачання, контроль.

Ошчупок І. М.,

him1960@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-5427-3376, Researcher ID: F-4641-2019, Doctor of Engineering,
Professor, Head of the Department of Food Technologies, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

SUBSTANTIATION OF FUEL CONSUMPTION BY GENERATORS OF MICRO-GRID OF FOOD INDUSTRY AND TRADE ENTERPRISES

Abstract. The article examines a power supply system known as a local electrical micro-grid with defined electrical boundaries, which works as a single controlled object. The creation of such systems makes it possible to radically change the attitude of consumers to the management of electricity generation and distribution processes. At the same time, there is a possibility of prompt connection of consumers to the general power grid in case of overload and voltage fluctuations, which significantly increases the reliability of power supply. The development trends of the world and Ukrainian markets of gasoline and diesel generators (GDG) are characterized. Important questions were raised about electricity pricing, which should be mutually beneficial for producers, suppliers and consumers of electricity during the operation of the autonomous power supply system. The proposed technique will allow, on a scientific basis, based on the composition of the equipment, to take into account the modes of operation of the machines, to calculate the standard amount of fuel necessary for the production of the planned amount of electricity and the efficiency of its use. The advantages of using gasoline and diesel generators and their design are shown. The important requirements regarding the modes of operation of the GDG according to the level of generated power in accordance with the ISO 8528 standard, which are put forward for all their types as part of the micro-grid, are analyzed. There are four classes

of regulation that determine the quality of GDG electricity from the point of view of stability, voltage and continuity. A promising way to solve the issue of energy efficiency of GDG is shown. It is assumed that in an autonomous micro-grid, which has its own sources of electricity, supplemented by an energy storage system, it is necessary to determine their nomenclature and conditions for effective operation. In order to control compliance with the regulations, enterprises must organize accounting of generated electricity and fuel consumption with the help of devices installed in accordance with the rules of technical operation.

Key words: micro-grid, fuel, generator, power, power supply control.

JEL Classification: C52, L23, L64, L94, M40, O29
DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-09

Постановка проблеми. В сучасних умовах російської агресії проти України і значного руйнування ворогом енергетичної інфраструктури для забезпечення роботи підприємств харчування, готельно-ресторанного бізнесу і торгівлі доводиться використовувати генератори, які працюють на дизельному і бензиновому паливі. Таких генераторів може знаходитися в експлуатації до декількох тисяч різних марок потужністю від 30 до 900 кВт у рік під час експлуатації генератори можуть споживати більше 100 тис. т палива і виробляти сотні тисяч кВт·год електроенергії. До повного відновлення енергосистеми України буде продовжуватися вироблення електроенергії генераторами.

Основними типами машин для підприємств торгівлі і харчових підприємств залишаються машини одиничної потужності 100 і більше кВт із питомою витратою умовного палива від 200 до 300 г/(кВт·год) при номінальній потужності двигуна.

Система електропостачання для таких умов відома як мікромережа [2] (MicroGrid). Мікромережа – це локальна електрична мережа з визначеними електричними межами, що діє як єдиний керований об'єкт. Вона здатна працювати в мережевому та острівному режимах [2], [3]. Якщо мікромережа підключена до мережі, вона зазвичай працює синхронно з традиційною глобальною мережею (макромережею), але при певних умовах може від'єднуватися від взаємопов'язаної мережі та функціонувати автономно в острівному режимі відповідно до технічних або економічних умов [5]. Отже, такі системи покращують безпеку постачання в осередку мікромережі та можуть забезпечувати аварійне живлення, перемикаючись між острівним і підключеним режимами [5], [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. мікромережа організована шляхом інтегрування малопотужних джерел енергії та максимальної їх адаптації до режимів електроспоживання. Створення таких систем дозволяє радикально змінити

відношення споживачів до управління процесами генерації та розподілу електроенергії [9]. У загальному вигляді система MicroGrid складається з декількох джерел електроенергії, пристроїв її акумулювання та засобів регулювання потоків електроенергії. При цьому існує можливість оперативного підключення споживачів до загальної електромережі у випадку перевантаження та коливань напруги, що суттєво підвищує надійність електрозабезпечення.

Математичний опис таких оптимізаційних алгоритмів у реальному часі є досить складним завданням. Головним чином це обумовлено нелінійностями при визначенні навантажень, невизначеністю профілів навантаження та стохастичного характеру вхідних параметрів системи і змінних, що описують процес генерації електроенергії. У випадку підключення до загальної електромережі необхідно враховувати диференційні тарифи на електроенергію енергопостачальних компаній. На даний час тарифна політика енергопостачальних компаній в Україні не стимулює кінцевого споживача до радикальної зміни графіків електроспоживання, однак тарифні зони зовнішньої мережі доцільно враховувати при математичному моделюванні та розрахунках оптимізаційних алгоритмів функціонування MicroGrid. слід зауважити, що у зв'язку з економічними реформами, які проводяться в Україні у відповідності до Протоколу про приєднання до Енергетичного Співтовариства та Угоди про асоціацію з ЄС, конкуренція між постачальниками електроенергії буде зростати через зменшення державного контролю над енергетичним ринком. Тому при техніко-економічному обґрунтуванні MicroGrid та оптимізації її алгоритмів необхідно враховувати тенденції на енергетичному ринку загалом. Особливим питанням при розробці MicroGrid є врахування шкідливих викидів в атмосферу при роботі локальних джерел електрогенерації (дизель-генераторів, мікротурбін, паливних елементів тощо) [10].

Під час перехідних процесів роботи мікромережі змінюється рівень генерації електроенергії, що ускладнює тарифікацію електроенергії з використанням статичних моделей. Розроблено низку методів для динамічного визначення вартості електроенергії в умовах змінного рівня генерації електроенергії автономними та розосередженими системами електроживлення. Питання підвищення точності визначення кількості генерованої електроенергії в осередку мікромережі системою електроживлення вимагає подальшого дослідження, оскільки відомий метод визначення вартості, розроблений без врахування динамічної зміни параметрів енергогенеруючої системи під час перехідних процесів, не досконалий [7].

Для аналізу особливостей роботи бензо- і дизель-генераторів (БДГ) у Microgrid коротко охарактеризуємо тенденції розвитку світового та українського ринків. Згідно зі звітом компанії Grand View Research, опублікованим у 2018 році, світовий ринок БДГ зростатиме зі швидкістю 6,8 % на рік і до 2022 р. сягне 21,37 млрд дол. [9]. У 2014 році найбільшим був сегмент малопотужних БДГ (за класифікацією компанії, це пристрої до 350 кВт), який займав 49 % ринку, однак із 2021 р. його частка може істотно скоротитися через стрімке зростання продаж високопродуктивних електростанцій. Малопотужні БДГ стикаються із зростаючою конкуренцією з боку установок на природному газі, хоча у високопродуктивному сегменті дизельні станції за вартістю експлуатації обходяться дешевше, ніж газові. Market Research Future (MRFR) прогнозує: до 2023 року світовий ринок БДГ буде зростати щорічно зі швидкістю 6,5 %. Дана компанія вважає, що домінуючим і найбільш швидкозростаючим залишатиметься найнижчий сегмент (у даному дослідженні до 500 кВт), це пов'язано з попитом на портативні та малопотужні генератори серед приватних осіб і малого бізнесу.

Постановка завдання. Автономні системи електроживлення широко використовуються у складі електротехнічних комплексів у різних секторах економіки та географічних регіонах України. Одним із важливих питань при роботі автономної системи електроживлення є тарифікація електроенергії, яка повинна бути взаємовигідною для виробників, постачальників та споживачів електричної енергії. На теперішній час для автономних систем електроживлення прийнятій механізм регулювання ціни на основі усталених режимів роботи та відповідних статичних моде-

лей. Таким чином, актуальне завдання полягає у розробці тарифікації на основі побудови моделі, що містить рівняння економічного балансу та рівняння перехідних процесів електротехнічної системи. необхідно запропонувати методику, яка дозволить на науковій основі, виходячи зі складу обладнання, холодильних машин і враховуючи режими їх роботи, розрахувати нормативну кількість палива, необхідну для вироблення запланованої кількості електроенергії та ефективності його використання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Автономні бензо- і дизельні електростанції є основними виробниками енергії там, де з різних причин централізоване електропостачання недоступне або якість його поставок залишає бажати кращого. Великий моторесурс і довговічність можна віднести до безперечних переваг БДГ. В якості первинного двигуна у БДГ використовуються двигуни внутрішнього згоряння з запалюванням палива від іскри чи стисненого повітря – дизелі. Механічна робота на валу двигуна використовується для вироблення електроенергії генератором електричного струму.

Областями використання БДГ є: резервне, допоміжне або основне джерело електроенергії в аеропортах, готелях; вузлах зв'язку, підприємствах торгівлі, харчування, системи життєзабезпечення (в ряді інших випадків) в автономному режимі або спільно з централізованими системами електропостачання.

Основними перевагами бензо- і дизель-генераторів є представлені на рис. 1.

Доцільність і переваги застосування бензо- і дизель-генераторів показані на рис. 2.

Варіанти конструктивного виконання бензо- і дизельних електростанцій показані на рис. 3.

Важливою вимогою, що висувається до всіх типів БДГ у складі Microgrid, є економічність [10], [11]. Рівень економічності оцінюють, вихо-



Рис. 1. переваги бензо- і дизель-генераторів

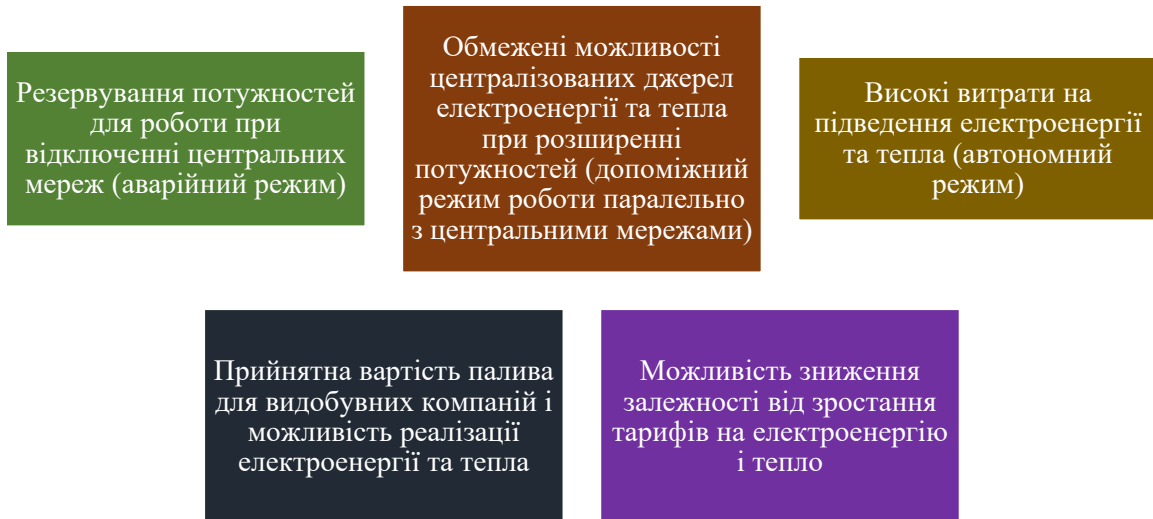


Рис. 2. Переваги застосування БДГ

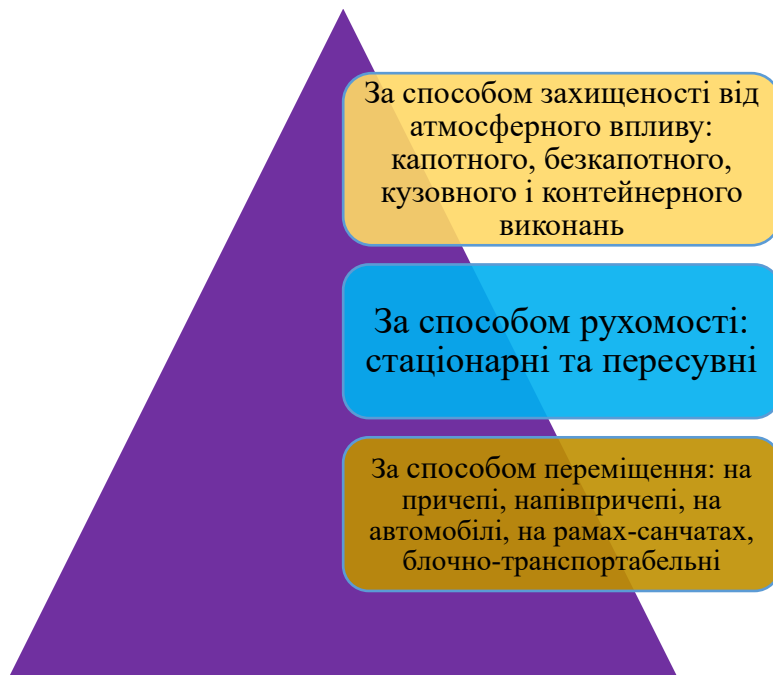


Рис. 3. Конструктивне виконання БДГ

дячи з обсягу пального, необхідного для генерації одного кіловата електроенергії протягом години. Таку систему оцінки використовують у країнах Європи та більшості країн Азії. Режими роботи БДГ щодо рівня генерованої потужності відповідно до стандарту ISO 8528 розділяють наступним чином:

- COP (Continuous power) – необмежений час експлуатації при постійному навантаженні. Можливість роботи на 100 % заявленої в цьому рейтингу потужності (приклад: безперервне джерело живлення паралельно з мережею);

- PRP (Prime power) – необмежений час експлуатації при змінному навантаженні, що не перевищує в середньому 70 % заявленої потужності (приклад: основне джерело електроживлення при відсутності живлення мережі);

- LTP (Limited time running power) – обмежений час експлуатації (не більше 500 год./рік) при постійному навантаженні (приклад: базове джерело для зняття піків при паралельній роботі);

- ESP (Emergency standby power) – обмежений час експлуатації (не більше 200 год./рік) при

змінному навантаженні (приклад: резервне джерело живлення).

Номинальна потужність генератора розраховується для задоволення максимальної потреби в електричних навантаженнях, які вимагають, зокрема, резервного живлення. Існує чотири класи регулювання, що визначають якість електроенергії БДГ з точки зору стабільності, напруги і безперебійності. Чим вищий клас, тим жорсткіші вимоги:

- Клас G1 – електрогенератори для навантажень загального призначення (системи загального застосування – освітлення та інші прості традиційні електричні навантаження).

- Клас G2 – електрогенератори для систем, де нормативи не є критичними і допускаються тимчасові відхилення (системи освітлення; насоси, вентилятори і підйомники).

- Клас G3 – електрогенератори для систем, де вимоги до характеристик енергопостачання помірно жорсткі (телекомунікаційна апаратура та напівпровідникові системи керування, пристрої силової електроніки, які не повинні спотворювати синусоїдальність кривої напруги).

- Клас G4 – електрогенератори для систем, які вимагають жорстких характеристик енергопостачання (системи обробки даних або обчислювальні системи). Підвищення енергетичної ефективності БДГ є одним із найбільш актуальних завдань побудови Microgrid [5].

Одним із перспективних шляхів вирішення питання енергоефективності є розробка “інверторних” t_{ij} -установок, які передбачають переведення двигуна генератора на змінну частоту

обертання, відповідно до його поточного завантаження. Вихідна напруга такої установки приводиться до стандартних параметрів за допомогою перетворювача частоти. Умови роботи БДГ в складі такого енергетичного комплексу характеризуються можливістю зниження частоти обертання до 40 % відносно номінальної залежно від ступеня завантаження станції. Залежно від завантаження магнітоелектричного генератора від частоти обертання привідного двигуна встановлюється зв'язок між вхідним струмом напівпровідникового перетворювача і частотою за умови мінімальної питомої витрати палива двигуна (рис. 4). Дані залежності можуть бути корисні при формуванні алгоритму керування перетворювачем.

Отже, взаємопов'язані зміни генерованої потужності та частоти обертання синхронного генератора, що працює в складі інверторної БДГ, за критерієм мінімальної витрати палива, скорочує діапазон зміни вихідної напруги генератора і змінює його коефіцієнт завантаження, що трохи полегшує умови роботи магнітоелектричного генератора і вентильного перетворювача.

Відомо, що фактична питома витрата палива технічно справного генератора часто перевищує паспортну номінальну витрату і визначається навантаженням двигуна за потужністю, кодом електрогенератора, витратою електроенергії на власні потреби, тривалістю роботи на холостому ходу, частотою пусків тощо. При навантаженні двигуна до 50 % від номінальної питома витрата палива відповідно до навантажувальних характеристик зростає на 12-14 %, витрата палива збіль-

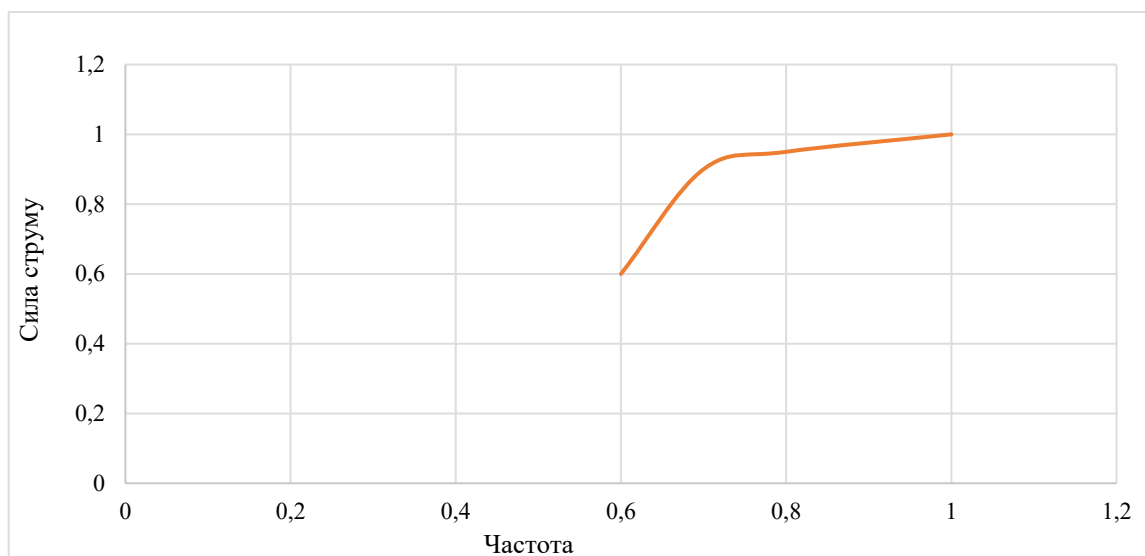


Рис. 4. Залежність сили струму навантаження I_n від частоти f синхронного генератора

шується на 7-12 % через електромеханічні втрати в генераторі, 3-4 % електроенергії витрачається на власні потреби.

Таким чином, технологічна питома витрата палива генератором може перевищувати паспортну на 22-25 %. Тому фактичну питому витрату палива для різних підприємств харчування і торгівлі слід враховувати за коефіцієнтом витрати палива для різних умов виробництва і моделей генератора.

Для оцінки ефективності використання палива для генераторів запропонуємо методику, яка дозволить на науковій основі, виходячи зі складу обладнання, холодильних машин і враховуючи режими їх роботи, розрахувати нормативну кількість палива, необхідну для вироблення запланованої кількості електроенергії.

Будь-яка методика чи інструкція з нормування витрати палива повинна задовольняти наступним вимогам:

- максимальної мобілізації внутрішніх резервів із економії палива і досягнення передбачуваних високих показників;

- визначення індивідуальних норм витрати розрахунково-аналітичним шляхом, виходячи з нормативних характеристик паливоспоживаючих агрегатів;

- застосування нормування лише до технічно справних агрегатів в умовах правильно організованої експлуатації;

- обміну витрат палива, пов'язаних із холостим ходом при запуску і зупинці, а також експлуатаційних витратах палива у разі розрахункових режимних і технічних умов експлуатації.

Важливою особливістю експлуатації є її різноманітний характер навантаження, що пояснюється широким застосуванням холодильних машин та різноманітного технологічного обладнання підприємств харчової промисловості і торгівлі. Аналіз роботи діючих генераторів різної одиничної потужності показує, що середнє навантаження впродовж тривалого часу роботи складає всього до 50 % від номінальної потужності.

Навантажувальні характеристики двигунів різних марок суцільно індивідуальні, проте відносне збільшення питомої витрати палива при

зниженні навантаження регламентується державними нормами і забезпечується заводом-виробником, яке вимагає від двигунів, призначених для роботи за навантажувальною характеристикою і приводів генераторів змінного струму, того, що значення питомої витрати палива при навантаженні 75 і 50 відсотків номінальної потужності не повинно перевищувати значень 105 і 110 відсотків від витрат на номінальній потужності.

З лінійної залежності, яка зв'язує відносну витрату палива \bar{B} двигуном і його відносне навантаження \bar{N} в даних умовах

$$\bar{B} = 0.1 + 0.9\bar{N} \quad (1)$$

випливає залежність відносної питомої витрати від відносного навантаження для будь-якого двигуна, оскільки технічні умови (при $\bar{N} = N / N_{ном.}$):

$$K = \bar{B} / \bar{N} = 0.9 + 0.1N_{ном.} / N \quad (2)$$

Коефіцієнт K показує, у скільки разів питома витрата палива при деякому навантаженні N більша від витрати палива при номінальному навантаженні $N_{ном.}$

З формули (2) можна показати, що коливання навантаження біля деякого середнього значення викличуть додаткову витрату палива.

Так, змінна робота з навантаженням 30 і 70 % при середньому навантаженні 50% викликає збільшення витрати палива на 3,7 %. При зниженні навантаження на кожні 25 % ккд електричного генератора зменшується приблизно на 1 %. Врахування двох останніх поправок дозволяє описати коефіцієнт витрати палива виразом

$$K_p = 0,87 + 0,13N / N_{ом.} \quad (3)$$

У табл. 1 наведемо коефіцієнти витрати палива залежно від навантаження двигуна.

Індивідуальні норми витрати палива на вироблення електроенергії визначають як для кожного генератора, так і для електростанції в цілому при задіянні декількох генераторів. Норму необхідно обчислювати на основі ряду даних, які характеризують джерело енергії, обсяг і режим її вироблення.

1. Модель генератора і його номер.
2. Номінальна потужність двигуна $N_{ном.}$, кВт.

Таблиця 1

Витрати палива при різному навантаженні двигуна

Відношення середньорічного навантаження до номінальної потужності двигуна	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Коефіцієнт витрати палива	1,00	1,014	1,032	1,056	1,087	1,130	1,195

3. Питома витрата палива при номінальній потужності U_q , кг /кВт·год.

4. Ккд електрогенератора η_q .

5. Звітне вироблення електроенергії за год кВт·год.

6. Число годин роботи двигуна, год., τ .

7. Число пусків двигуна за год., n .

8. Коефіцієнт витрати електроенергії на власні потреби, K_v .

9. Коефіцієнт витрати палива на холостому ходу, K_h .

При плануванні вироблення електроенергії число пусків двигуна протягом року n і річну тривалість роботи двигуна під навантаженням приймають на основі даних експлуатації генератора, в попередній період із урахуванням графіку технічного обслуговування і ремонту, завдання з вироблення електроенергії і порівняльної економічності окремих агрегатів.

Індивідуальну норму витрат палива обчислюємо у наступному порядку.

1. Середньорічне навантаження двигуна, кВт

$$N_{cp} = W / (\eta_g \tau) \quad (4)$$

2. Коефіцієнт витрати палива при роботі із середньорічним навантаженням (3).

3. Розрахункова питома витрата палива при роботі генератора з середньорічним навантаженням N_{cp} кг/кВт·год.

$$r_c = K_v \tau_g / \eta_g \quad (5)$$

витрат палива при роботі двигуна на холостому ходу, кг

4. Річна витрата палива при роботі двигуна на холостому ходу, кг

$$R_x = K_h \cdot \sigma_g \tau_x n N_{ном} \quad (6)$$

5. Індивідуальна норма витрати палива на вироблення електроенергії генератором, кг/кВт·год.

$$I_N = \tau_c + R_x / W \quad (7)$$

6. Індивідуальна норма витрати умовного палива, кг/(кВт·год)

$$\tau_u = 1.45 / N \quad (8)$$

7. Норма витрати умовного палива для електростанції на вироблення електроенергії кг/(кВт·год)

$$\tau_{uc} = \tau_{u1} \frac{W_1}{W_0} + \tau_{u2} \frac{W_2}{W_0} + \dots + \tau_{ui} \frac{W_i}{W_0} \quad (9)$$

де $\tau_{u1}, \tau_{u2}, \dots, \tau_{ui}$ – норми витрати палива генераторами електростанції, кг/(кВт·год)

W_1, W_2, \dots, W_i – річне вироблення електроенергії кожним генератором, кВт·год

$W_0 = W_1 + W_2 + \dots + W_i$ – загальне вироблення електроенергії всіма генераторами, кВт·год.

8. Індивідуальна норма витрати умовного палива на відпуск електроенергії електростанцією, кг/(кВт·год)

$$\tau_{uw} = \tau_{uc} / (1 - K_v) \quad (10)$$

Для оцінки ефективності використання палива фактичну питому витрату його генератором необхідно порівняти з нормою витрати для тих самих виробничих умов. Якщо фактична витрата вища за норми, необхідно проаналізувати роботу генератора з метою виявлення й усунення причин невірної перевитрати палива.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Індивідуальні норми витрати палива на підприємствах харчової промисловості і торгівлі для конкретних умов роботи генераторів у відповідності з нормативними документами затверджуються керівництвом підприємств. Їх необхідно систематично переглядати і вдосконалювати з урахуванням змін структури парку обладнання, режимів його роботи, досягнутих найбільших економічних показників.

Для контролю за виконанням норм на підприємствах повинен бути організований облік виробленої електроенергії і витрати палива за допомогою приладів, встановлених згідно з правилами технічної експлуатації. Контроль і захист для мікромережі пов'язані з труднощами, оскільки всі допоміжні послуги для стабілізації системи повинні генеруватися в межах мікромережі, а низькі рівні короткого замикання можуть бути складними для вибіркової роботи систем захисту. Важливою особливістю також є забезпечення інших корисних енергетичних потреб, окрім електроенергії, таких як опалення та охолодження, оскільки це дозволить замінити носії енергії та підвищити енергоефективність завдяки використанню відпрацьованого тепла для цілей опалення, гарячої води для побутових потреб та охолодження (міжгалузеве використання енергії).

В автономній мікромережі, яка має власні джерела електроенергії, доповнені системою накопичення енергії, потрібно досліджувати їх номенклатуру й умови ефективної експлуатації. Вони використовуватимуться там, де передача та розподіл електроенергії від основного централізованого джерела енергії занадто віддалені та дорогі для експлуатації для можливості електрифікації сільської місцевості у віддалених районах

і на малих географічних островах. Автономна мікромережа може ефективно інтегрувати різні джерела розподіленої генерації, особливо відновлювані джерела енергії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Hu J., Lanzon A. Distributed finite-time consensus control for heterogeneous battery energy storage systems in droop-controlled microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2019. 10 (5): 4751–4761. doi:10.1109/TSG.2018.2868112. S2CID 117469364.
2. How Microgrids Work. U.S. Department of Energy, June 2014.
3. Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15. group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries forming a local electric power system at distribution voltage levels, that acts as a single controllable entity and is able to operate in either grid-connected or island mode.
4. Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15. group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries forming a local electric power system at distribution voltage levels, that cannot be connected to a wider electric power system.
5. Hu J., Bhowmick P. A consensus-based robust secondary voltage and frequency control scheme for islanded microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2020. 116: 105575. doi:10.1016/j.ijepes.2019.105575. S2CID 208837689.
6. Microgrids and Vehicle-Grid Integration. Berkeley Lab. Retrieved 21 June 2022.
7. Abinash Singh, Balwinder Singh Surjan MICROGRID: A REVIEW *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Volume: 03 Issue: 02 | Feb-2014.
8. Smart Grid European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. European Commission, 2005. URL: <http://www.smartgrds.eu>.
9. Zhuikov V. I., Boiko I. Y., Denysiuk S. P. Model of dynamic tariffing Microgrid's electricity consumption in local energy markets. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, IX (31), Issue: 250, 2021 Feb. – P. 50–53.
10. Diesel power plants – the main characteristics. URL: <https://pogliad.ua/news/com-news/profesiyniy-krugozir/dizelni-elektrostanciyi---osnovni-harakteristiki-374868>.
11. http://www.know-house.ru/avtor/0028/diesel_generator_fuel.html.

REFERENCES:

1. Hu J. and Lanzon A. (2019), Distributed finite-time consensus control for heterogeneous battery energy storage systems in droop-controlled microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 10 (5): 4751–4761. doi:10.1109/TSG.2018.2868112. S2CID 117469364.
2. How Microgrids Work. U.S. Department of Energy, June 2014.
3. Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15. group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries forming a local electric power system at distribution voltage levels, that acts as a single controllable entity and is able to operate in either grid-connected or island mode.
4. Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15. group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries forming a local electric power system at distribution voltage levels, that cannot be connected to a wider electric power system.
5. Hu J. and Bhowmick P. (2020), A consensus-based robust secondary voltage and frequency control scheme for islanded microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 116: 105575. doi:10.1016/j.ijepes.2019.105575. S2CID 208837689.
6. Microgrids and Vehicle-Grid Integration. Berkeley Lab. Retrieved 21 June 2022.
7. Abinash Singh, Balwinder Singh Surjan MICROGRID: A REVIEW *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Volume: 03 Issue: 02 | Feb-2014.
8. Smart Grid European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. European Commission, 2005, available at: <http://www.smartgrds.eu>.
9. Zhuikov, V. I. Boiko, I. Y. and Denysiuk, S. P. Model of dynamic tariffing Microgrid's electricity consumption in local energy markets. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, IX (31), Issue: 250, 2021 Feb. – P. 50–53.
10. Diesel power plants – the main characteristics, available at: <https://pogliad.ua/news/com-news/profesiyniy-krugozir/dizelni-elektrostanciyi---osnovni-harakteristiki-374868>.
11. http://www.know-house.ru/avtor/0028/diesel_generator_fuel.html.

Стаття надійшла до редакції 24 березня 2023 року