

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОБУЛОЧНОЇ
ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ**

В. В. МОМОТЮК, здобувач*

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

Анотація. Розроблено та апробовано методологію використання когенераційного обладнання у складі електротехнологічного комплексу хлібокомбінату з метою економії фінансових ресурсів на виробництво продукції, із використанням спеціалізованого програмного забезпечення компанії «Синапс». Враховано можливість управляти включенням обладнання у часи мінімальної вартості електроенергії. Розроблено систему автоматичного регулювання температурного режиму в котельні, за якою можливо визначити, чи достатня для нормального режиму функціонування котельні кількість теплової енергії, яку виробляє когенераційна установка.

Розроблено методуку управління генерацією та розподілом енергетичних ресурсів хлібокомбінату згідно з добовою зонною вартістю електроенергії (споріднена «Smart Grid»-концепції), що дало змогу підвищити економічну ефективність використання когенераційного обладнання до 10%.

Ключові слова: електротехнологічний комплекс, енергоефективність, когенераційна установка

Актуальність. Додатково до існуючої номенклатури технологічного обладнання хлібокомбінату встановлюється когенераційна установка, що викликано можливістю генерації та споживання як тепла, так і електроенергії.

Завдання такого обладнання – передача теплової енергії (гарячої води чи пари) у котельню підприємства та генерація економічно обґрунтованих обсягів електроенергії для виробничих споживачів цього енергетичного ресурсу.

Такий підхід відповідає концепції розподіленої генерації («Smart Grid»-технологіям), що дозволяє розраховувати на такі ефекти:

1. Підвищення споживчої надійності.
2. Енергобезпеку – за рахунок розширення видів палива, залучення місцевих енергоресурсів.
3. Оптимізацію керування навантаженням і резервуванням.
4. Забезпечення функції гнучкості «розумних мереж» (у частині генерації).

5. Енергоефективність – оптимізація графіка навантаження, зниження втрат у процесі передачі / розподілу енергії, розширення когенерації тощо.

6. Зниження навантаження на довкілля (викидів CO₂).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Запропоноване рішення можна віднести до технології «Smart Grid» за наступними інноваційними властивостями, що відповідають новим потребам електротехнічних комплексів та систем, серед яких можна виокремити такі:

- активна двонаправлена схема взаємодії в реальному масштабі часу інформаційного обміну між елементами і учасниками мережі, від генераторів енергії до кінцевих пристроїв енергоспоживання;

- охоплення всього технологічного ланцюжка електроенергетичної системи, від енерговиробників (як центральних, АЕС, ТЕЦ, ГЕС, так і автономних – когенераційної установки);

- забезпечення інформаційного обміну даними в «Smart Grid» передбачено використання цифрових комунікаційних мереж та інтерфейсів обміну даними.

Мета дослідження – розробка та апробація методології використання когенераційного обладнання у складі електротехнологічного комплексу хлібокомбінату з метою економії фінансових ресурсів на виробництво продукції.

Матеріали і методи дослідження. Однією з найважливіших цілей «SmartGrid» є забезпечення практично безперервного керованого балансу між попитом і пропозицією енергії. Для цього елементи мережі повинні постійно обмінюватися між собою інформацією про параметри енергії, режими споживання і генерації, кількість споживаної енергії та плановане споживання, комерційною інформацією. Тоді комплексне завдання системи управління електротехнологічним комплексом включатиме реалізацію двох каналів керування (рис. 1): виключення електротехнологічних агрегатів згідно з асортиментним завданням із врахуванням зонності тарифікації; регулювання передачі теплоносіїв у котельню.



Рис. 1. Схема функціонування системи управління електротехнологічним комплексом хлібокомбінату

Керування включенням обладнання, згідно з асортиментним завданням та зонним тарифом, забезпечується інтелектуальною системою. Відповідно, було розроблено систему автоматичного регулювання температурного режиму в котельні за якою можливо визначити, чи достатня для нормального режиму функціонування котельні та кількість теплової енергії, що виробляється когенераційною установкою.

Вибір типу й потужності когенераційної установки здійснюється на основі проведеного обстеження об'єкта енергопостачання з метою визначення його теплового навантаження в гарячій воді і парі, а також обсягу споживання електричної енергії.

При виборі електричної потужності когенераційної установки використовують такі підходи:

- виходячи з теплового навантаження об'єкта енергопостачання;
- виходячи з необхідного обсягу електричної енергії, тобто з електричного навантаження.

Для подальшого розрахунку необхідно визначити максимальне, мінімальне і середньогодинне навантаження когенераційної установки. Визначення максимального та мінімального навантажень встановлюється в результаті обстеження або при проектуванні об'єкта.

Середньогодинні навантаження визначаються таким чином:

$$Q_{\text{час}} = Q_{\text{рік}} / T_{\text{рік}}, \text{ Гкал/год}, \quad (1)$$

$$\text{Або } E_{\text{час}} = E_{\text{рік}} / T_{\text{рік}}, \text{ кВт год}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{час}}$ – середньодобове теплове навантаження, Гкал/год;

$Q_{\text{рік}}$ – річне споживання теплової енергії, Гкал;

$E_{\text{час}}$ – середнє електричне навантаження, кВт год;

$T_{\text{рік}}$ – число годин роботи за рік, годин.

Виходячи з отриманих даних, вибирають когенераційну установку (дві або більше) для покриття частини максимального теплового навантаження (приблизно 85%). При цьому для покриття пікового теплового навантаження використовується зазвичай додатково поставлений котел. Із середньогодинного і мінімального навантаження визначаємо необхідну кількість когенераційних установок з метою забезпечення максимального числа годин використання встановленої потужності.

Число використання встановленої потужності:

$$T_{\text{вст}} = Q_{\text{рік}} \cdot 0,95 / Q_{\text{вст}}, \quad (3)$$

де $Q_{\text{вст}}$ – встановлена теплова потужність прийнятої за аналог когенераційної установки, Гкал/год (при поправочному коефіцієнті на використання пікового навантаження водогрійного котла – 0,95).

Для розрахунку економії палива при впровадженні когенераційних установок необхідно знати витрати палива на виробництво електричної і теплової енергій на ній.

Для цього потрібно:

1. За паспортними даними обраного аналога когенераційної установки визначити коефіцієнт корисної дії при виробництві електричної енергії за конденсаційним циклом і розрахувати питому витрату палива на її виробництво:

$$b_e = 123 / \eta_e \cdot 100, \text{ г у.п./кВт год}, \quad (4)$$

де η_e – коефіцієнт корисної дії когенераційної установки за конденсаційним циклом, %.

Для перевірки можна використовувати представлені підприємствами-виробниками когенераційних установок витрати природного газу на установку.

2. Визначення годинної витрати умовного палива на виробництво електроенергії за конденсаційним циклом:

$$B_e = b_e \cdot N_{\text{вст}} / 1000, \text{ кг у.п./год}, \quad (5)$$

де $N_{\text{вст}}$ – встановлена електрична потужність когенераційної установки, кВт.

3. Для спрощення розрахунків при порівнянні витрат на вироблення електроенергії на класичних електростанціях і витрат на комбіновану генерацію електроенергії на когенераційних установках, питома витрата палива на відпуск теплової енергії приймається на рівні питомої витрати палива котельні, що працює на газі, $b_{me} = 165 \text{ кг у.п. / Гкал}$ і визначається витрата палива на відпуск теплової енергії:

$$B_{\text{те}} = b_{me} \cdot Q_{\text{вст}}, \text{ кг у.п./год}. \quad (6)$$

4. Визначення часової витрати умовного палива на вироблення електроенергії на обраній когенераційній установці за комбінованим циклом:

$$B_{\text{еє}} = B_e - B_{me}, \text{ кг у.п.} \quad (7)$$

5. Визначення питомої витрати палива на виробництво електричної енергії на когенераційній установці:

$$b_{\text{еє}} = B_{\text{еє}} / N_{\text{вст}} \cdot 1000, \text{ г у.п. / кВт год}. \quad (8)$$

6. Визначення виробленої електроенергії на когенераційній установці за рік:

$$E_{\text{ген}} = N_{\text{вст}} \cdot T_{\text{вст}}, \text{ кВт год}. \quad (9)$$

7. Визначення кількості електроенергії, відпущеної когенераційною установкою:

$$E_{\text{вїл}}^{\text{КГУ}} = E_{\text{ген}} \cdot (1 - \alpha_{\text{ен}}^{\text{ЕЕ}}), \text{ кВт год}, \quad (10)$$

де $\alpha_{еп}^{EE}$ – коефіцієнт споживання електроенергії на власні потреби когенераційної установки (на пускові пристрої та інше електричне обладнання), (0,2–1,0).

8. Необхідна кількість електроенергії, відпущеної з шин електростанцій, з урахуванням втрат в електричних мережах на її транспортування до вводів струмоприймачів підприємства:

$$E_{від}^{EM} = E_{ген}^{KГУ} \cdot (1 + \Delta E_{вт}), \text{ кВт год}, \quad (11)$$

де $E_{ген}^{KГУ}$ – електроенергія, відпущена турбогенератором і спожита підприємством, кВт год;

$\Delta E_{вт}$ – коефіцієнт втрат в електричних мережах на транспортування електроенергії.

9. Визначення економії палива від застосування обраної когенераційної установки:

$$\Delta B^{KГУ} = E_{ген}^{EM} \cdot b_{еe}^{cp} - B_{ен}, \text{ кг у.п.}, \quad (12)$$

де $E_{ген}^{EM}$ – кількість електроенергії, відпущеної з шин електростанцій, з урахуванням втрат в електромережах на транспортування електроенергії, тис. кВт год;

$b_{еe}^{cp}$ – питома витрата палива на відпуск електроенергії г у.п. / кВт год.

Визначення укрупнених капіталовкладень на впровадження когенераційних установок на підприємствах включає теж ряд етапів:

1. Вартість обраної когенераційної установки визначається за даними підприємства-виробника аналога, прийнятого для розрахунку.

2. Вартість електротехнічних пристроїв становить орієнтовно 10–15% від вартості когенераційної установки.

3. Вартість тепломеханічної частини (підведення води, трубопроводи технічної води тощо) – 15–20% від вартості когенераційної установки.

4. Вартість будівельно-монтажних робіт залежно від: розміщення когенераційної установки в уже існуючій будівлі – 15–20% від вартості обладнання; розташування когенераційної установки в окремій будівлі – 20–30% від вартості обладнання.

5. Вартість проектно-розвідувальних робіт – 5–10% від вартості будівельно-монтажних робіт.

6. Вартість пусконаладжувальних робіт – 3–5% від вартості обладнання.

7. Вартість обладнання:

$$B_{обл} = B_{мz} + (0,1 - 0,15) \cdot B_{мz} + (0,15 - 0,2) \cdot B_{мz}, \text{ грн.} \quad (13)$$

8. Капіталовкладення в проект:

$$K_{тг} = B_{обл} + (0,05 - 0,1) \cdot B_{бмр} + (0,15 - 0,3) \cdot B_{обл} + (0,03 - 0,03) \cdot B_{обл}, \text{ грн.}$$

(14)

9. Визначення терміну окупності проекту:

$$T_{\text{окуп}} = K_{\text{мг}} / (\Delta B^{\text{КГУ}} - B_{\text{пал}}), \text{ років,} \quad (15)$$

де $K_{\text{ТГ}}$ – капіталовкладення в захід, грн.;

$B_{\text{пал}}$ – вартість т у.п., уточнюється на момент складання розрахунку.

Виходячи з такої послідовності (1–15), з урахуванням можливості управляти включенням обладнання у часи мінімальної вартості електроенергії та з використанням спеціалізованого програмного забезпечення компанії «Синапс», досліджуємо економічні аспекти експлуатації когенераційного обладнання у складі електротехнологічного комплексу хлібокомбінату, прийнявши такі початкові дані:

- потреби в електроенергії – 3690 кВт/добу;
- потреба у тепловій енергії (хлібопекарські печі) – 340 м³/добу природного газу (принята мінімальна теплота згорання – 8169 ккал/м³);
- тариф за електроенергію – тризонний;
- тарифи станом на січень 2017 року;
- для виконання завдання генерації тепла та електричної енергії вибрали три когенераційні установки німецької фірми GE JENBACHER (JMS-320) із електричним ККД – 40,78%, тепловим ККД – 45,64%, сумарним – 86,42%;
- обслуговуючий персонал – 4 чол. (середня заробітна плата 300 євро);
- амортизаційна норма – 6%.
- У процесі теоретичних досліджень розраховували:
- економію витрат на оплату за електроенергію;
- прибуток від впровадження когенераційного обладнання.

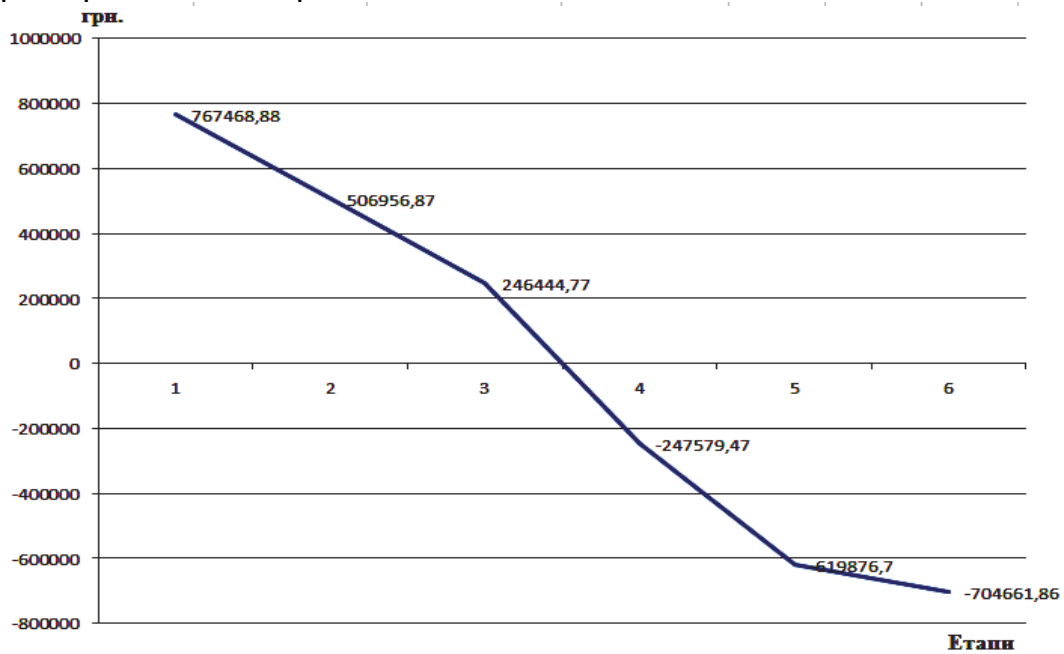
Моделювання включало ряд етапів, завданням яких було виявлення наявності впливу зонної вартості електроенергії на економічну ефективність використання когенераційної установки (табл.1).

Результати дослідження та їх обговорення.

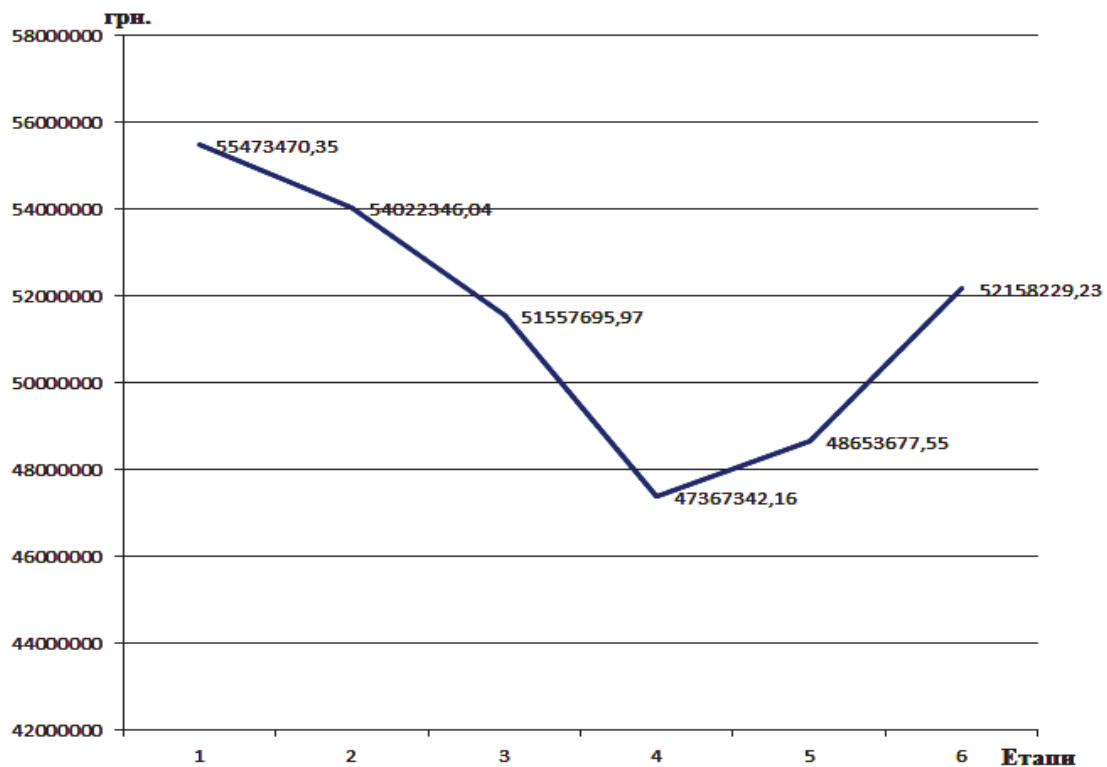
1. Вхідні дані дослідження впливу зонної тарифікації на ефективність використання когенераційного обладнання в електротехнологічному комплексі хлібокомбінату

№ етапу	Відсоток споживання електроенергії в кожну зону доби		
	1,8 тарифу, %	1,02 тарифу, %	0,25 тарифу, %
1	33,33	33,33	33,33
2	30,3	33,3	36,4
3	26,66	33,3	40,04
4	20	33,33	46,67
5	16,67	36,66	46,77
6	16,67	39,99	43,34

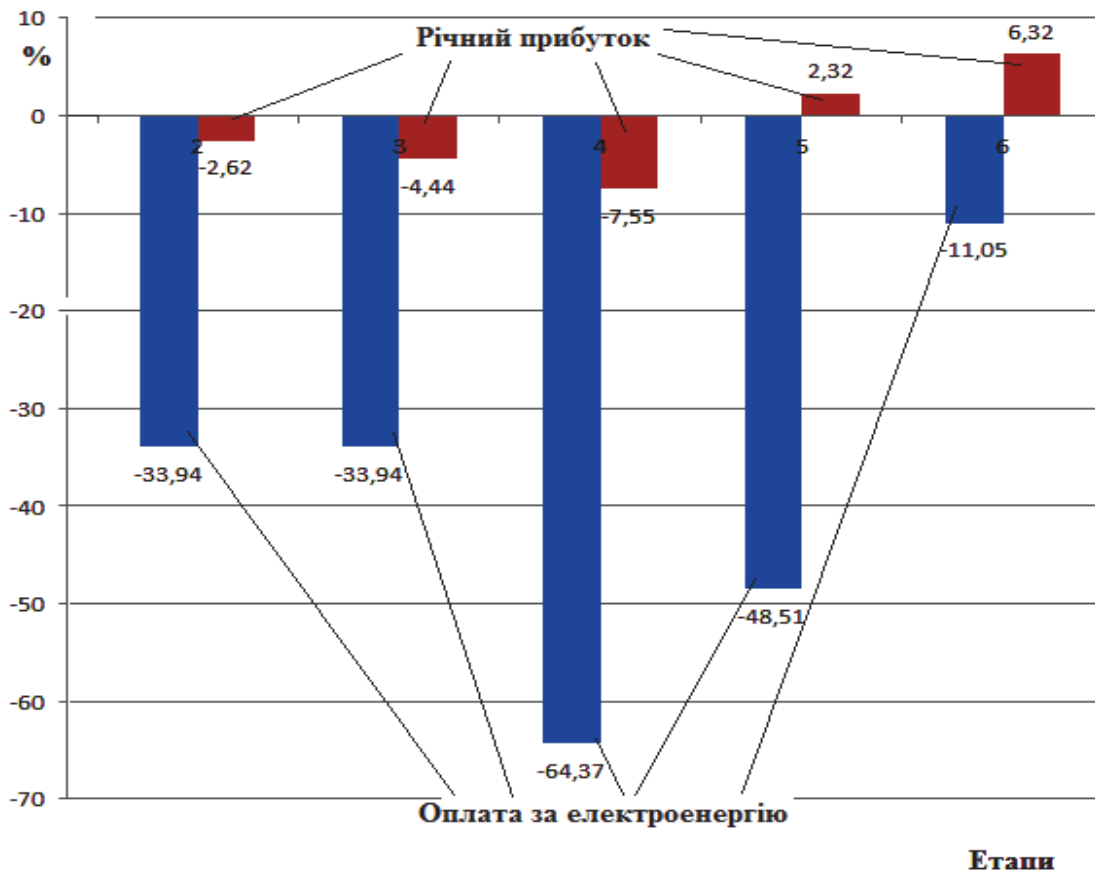
У результаті ми отримали характеристики впливу часу роботи електротехнологічного обладнання виробництва хлібобулочної продукції в різні добові тарифні зони, які продемонстрували техніко-економічну доцільність інтелектуального управління включенням агрегатів, які є енергоспоживачами (рис. 2). Тобто, концептуальний підхід «Smart Grid»-технологій доцільно використовувати і при забезпеченні енерго- та ресурсоефективного виробництва на хлібокомбінаті.



А)



Б)



В)

Рис. 2. Дослідження впливу часу функціонування обладнання електротехнологічного комплексу хлібокомбінату в різні добові зони вартості електроенергії на техніко-економічну ефективність використання когенераційного обладнання згідно з етапами табл. 1:

А – динаміка економії річних витрат на оплату електроенергії (нульове значення – без використання когенераційної установки); Б – річний прибуток від впровадження когенераційного обладнання (нульове значення – без використання когенераційної установки); В – відносні зміни економії витрат електроенергії та річного прибутку (порівняно з першим етапом досліджень)

Аналізуючи результати досліджень (рис. 2) стосовно електротехнологічного комплексу виробництва хлібобулочної продукції, можна констатувати, що при корегуванні включення обладнання у різні добові зони, навіть при збільшенні вартості оплати за споживану електроенергію (зменшення ефективності по генерації електроенергії) можна досягти збільшення загальної економічної ефективності проекту за рахунок збільшення рентабельності виробництва теплової енергії для хлібопекарської печі.

Наприклад, на 5 та 6 етапах досліджень при від’ємних значеннях економії витрат по електроенергії (відповідно -48,51% та -11,05%) загальна рентабельність була додатною – 2,32% та 6,32%.

Висновки і перспективи. Використання когенераційного обладнання дає змогу значно економити фінансові ресурси (зі строком окупності таких проектів 2–3 роки – див. рис. 2 Б).

Розроблена методика управління генерацією та розподілом енергетичних ресурсів хлібокомбінату згідно з добовою зонною вартістю електроенергії (споріднена «Smart Grid»-концепції), дає змогу підвищити економічну ефективність використання когенераційного обладнання до 10% (див. рис. 2 В).

Список літератури

1. Романова О. С. Процессное управление предприятиями хлебопекарной промышленности / О. С. Романова. – М. : Хлебпродинформ, 2006. – 256 с.
2. Барков В. М. Когенераторные технологии: возможности и перспективы / В. М. Барков // «ЭСКО» Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2004. – № 7.

References

1. Romanova, O. S. (2006). Protsessnoye upravleniye predpriyatiyami khlebopekarnoy promyshlennosti [Process management of bakery enterprises]. – Moscow: Khlebprodinform, 256.
2. Barkov, V. M. (2004). Kogeneratornyye tekhnologii: vozmozhnosti i perspektivy [Cogeneration technologies: opportunities and perspectives]. «ESKO» Elektronnyy zhurnal energoservisnoy kompanii «Ekologicheskiye sistemy», 7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГЕНЕРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. В. Момотюк

Аннотация. *Разработана и апробирована методология использования когенерационного оборудования в составе электротехнологического комплекса хлебкомбината с целью экономии финансовых ресурсов на производство продукции, с использованием специализированного программного обеспечения компании «Синапс». Учтена возможность управлять включением оборудования во времена минимальной стоимости электроэнергии. Разработана система автоматического регулирования температурного режима в котельной, по которой можно определить, достаточно ли для нормального режима функционирования котельной количество тепловой энергии, вырабатываемой когенерационной установкой.*

Разработана методика управления генерацией и распределением энергетических ресурсов хлебкомбината согласно суточной зонной стоимости электроэнергии (родственная "Smart Grid"-концепции), что позволило повысить экономическую эффективность использования когенерационного оборудования до 10%.

Ключевые слова: *электротехнологический комплекс, энергоэффективность, когенерационная установка*

RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF ELECTROTECHNOLOGICAL PRODUCTION OF BREEDING PRODUCTS USING COGENERATION EQUIPMENT

V. V. Momotyuk

Abstract. *The methodology of the use of cogeneration equipment in the composition of the electrotechnical complex of the bread-baking plant was developed and tested in order to save financial resources for the production of products, using the specialized software of the company "Synapse". The possibility of controlling the inclusion of equipment during the time of the minimum cost of electricity is taken into account. A system of automatic temperature control in the boiler house has been developed, which allows one to determine whether the boiler operation is normal for normal operation and the amount of heat energy produced by the cogeneration unit.*

The methodology for managing the generation and distribution of energy resources of the bread-baking plant according to the daily band electricity cost (similar to the "Smart Grid"-concept) has been developed, which allowed to increase the cost-effectiveness of the use of cogeneration equipment up to 10%.

Keywords: *electrotechnology complex, energy efficiency, cogeneration unit*

УДК 621.762

ВПЛИВ ОКИСЛІВ МЕТАЛІВ НА ЕРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

А. М. МРАЧКОВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: amrachkovskyi@mail.ru

С. О. БУРЛАКА, студентка

E-mail: burlaka.sv.7@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. *Проаналізовано вплив окислів металів на величину ерозійного зносу контактних матеріалів від кількості спрацювань і величини комутованого струму для контактних пар, виготовлених з однойменних і різнойменних матеріалів. Електричну ерозію і механічний знос контактів можна контролювати структурою матеріалів. Приведені результати досліджень на електроерозійну стійкість нового контактного матеріалу на основі срібла з добавками оксидів металів підвищують зносостійкість досліджуваного матеріалу в 1,5 раза. Також забезпечується високий ступінь екологічної чистоти матеріалу.*

© А. М. Мрачковський, С. О. Бурлака, 2017