УДК 621.3
https://doi.org/10.31474/2074-2630-2019-1-47-51

О. М. ЛЮБИМЕНКО (канд. ф.-м. наук, доц.), **О. А. ШТЕПА** (канд. техн. наук, доц.),
Ю.А. АРТЕМЕНКО (канд. техн. наук, доц.), **О.О. ДЕРКАЧ** (магістр)
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
e.n.lyubimenko@gmail.com

ПРОГНОЗУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НЕ ВІДНОВЛЮВАНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Анотація. Енергозбереження передбачає розробку систем прогнозування використання та обліку витрат енергоносіїв. Проведено аналіз системи прогнозування для використання природних енергоносіїв в умовах тотального енергозбереження. Виділено і проаналізовано особливості використання енергоносія на тепловій електростанції протягом року. Запропоновано і обґрунтовано вибір прогнозуючої функції по якій краще робити прогноз використання енергоносія на майбутній рік. Описано структуру та поточні витрати природного газу на ТЕС для обліку витрат енергоносіїв.

***Ключові слова*: енергозбереження, контроль енергоспоживання, енергоносії, споживання, функції прогнозування.**

Вступ

В Україні газоподібне паливо для роботи теплових електростанцій (ТЕС) використовується для запуску у роботу основного обладнання, але і це призводить до значних витрат газу в енергетичному циклі роботи ТЕС. Також треба відмітити, що якість сировини знижується в основному за рахунок домішок в складі газу. Це пов’язано з погіршенням умов транспортування газу та економічними обставинами. Приготування природного газу до спалювання на ТЕС складається в його очистці від механічних домішок та підтриманням постійного тиску перед горілками, шляхом дроселювання газу, що поступає з магістралі. Використання газу в сукупності з вироботкою основного обладнання призводить до зниження ККД у середньому з 36 % до 28% [1,2]

Тому низькоякісний природний газ вимагає попередніх експертних оцінок про можливості та умови використання з подальшою очисткою для роботи в конкретному котлі. Етап отримання таких оцінок полегшує і оптимізує пошук варіантів зменшити витрати на експериментальну перевірку газу та забезпечення ефективної роботи ТЭС при зміні якості палива. Мета дослідження – підвищення ефективності використання та прогнозування споживання газу на ТЕС.

Прогнозування споживання газу на Слов’янській ТЕС пов’язано з необхідністю ефективного його використання та створення перспективних планів розвитку виробництва. Прогноз - це гіпотеза найвірогіднішого використання газу в майбутньому. Прогнози споживання газу мають бути науково обґрунтовані, своєчасні і надійні та містити в достатньому обсязі інформацію.

Сформульована мета визначає наступні завдання дослідження:

- формулювання основних вимог до якості енергоносіїв;
- аналіз особливостей умов витрат енергоносія;
- сформулювати концептуальні принципи прогнозування використання газу;
- запропонувати прогноз споживання та проаналізувати основні його переваги.

Опис

Прогнозування споживання енергоресурсів на наступний період складається з обліку даних за минулий період та даний на теперішній час. Усі прогнози поділяють на короткострокові, середньострокові та довгострокові. Тому використаємо прогнозування споживання природного газу на короткий період, аналізуючи зміни використання природного газу в поточному році на слов’янській тес. Тому часове споживання природного газу на тес складається з двох компонентів детермінованого та випадкового, який обчислюють за допомогою теорії імовірності. Залежність використання природного газу визначається за допомогою апроксимуючої функції, яка характеризує закономірності використання газу.

Метод прогнозування споживання газу базується на ідеї екстраполяціїта поділяється на три основні групи: метод експертних оцінок; моделювання; нормативний метод.

Використаємо нормативний метод прогнозу де задамо окремі параметри використання природного газу у вигляді деякої норми. Зв’язок і послідовність використання природного газу розглядаються в напрямі від майбутнього до теперішнього часу.

Спрогнозуємо споживання природного газу на Слов’янській ТЕС на 2020 рік з використанням лінійної, періодичної та лінійно-періодичної прогнозуючої функції. Порівняємо якість отриманих прогнозуючих функцій.

© Любименко О.М., Штепа О.А., Артеменко Ю.А., Деркач О.О., 2019

Вихідні дані по споживанню природного газу на Слов'янській ТЕС за 2018 рік: січень – 1101,707 м^3, лютий – 1619,498 тис. м^3; березень – 2224,404 тис. м^3; квітень – 514,462 тис. м^3; травень – 200,246 тис. м^3; червень – 126,154 тис. м^3; липень – 1296,274 тис. м^3; серпень – 920,820; вересень – 693,842 тис. м^3; жовтень – 750,758 тис. м^3; листопад – 977,336 тис. м^3; грудень – 1534,035 тис. м^3. Сума газу, який використано за рік 11869,54 тис. м^3

Вихідні дані по споживанню природного газу на Слов'янській ТЕС за 2018 рік та коефіцієнти для обчислення емпіричних рівнянь складемо в таблицю 1. Для розрахунку будемо використовувати математичні прогнозуючі функції різних видів.

Таблиця 1. Споживання природного газу тис. м^3 підприємством по місяцях (за добу кожного місяця) та коефіцієнти (y_t) для обчислення прогнозуючих функцій

Місяць	*№ місяця, t*	$(t)^2$	y_t	$y_t \cdot t$
Січень	1	1	1011,707	1011,707
Лютий	2	4	1619,498	3238,996
Березень	3	9	2224,404	6673,212
Квітень	4	16	514,462	2057,848
Травень	5	25	200,246	1001,23
Червень	6	36	126,154	756,924
Липень	7	49	1296,274	9073,918
Серпень	8	64	920,820	7366,56
Вересень	9	81	693,842	6244,578
Жовтень	10	100	750,758	7507,58
Листопад	11	121	977,336	10750,7
Грудень	12	144	1534,035	18408,42
СУМА			11869,54	74091,67

Обчислимо емпіричні коефіцієнти прогнозуючих рівнянь:

- лінійної функції

$$a = \frac{\sum_{t=1}^{n} y_t \sum_{t=1}^{n} t^2 - \sum_{t=1}^{n} t \sum_{t=1}^{n} y_t t}{n \sum_{t=1}^{n} t^2 - (\sum_{t=1}^{n} t)^2} = \frac{11869{,}54 \cdot 650 - 78 \cdot 74091{,}67}{12 \cdot 650 - 78^2} == 1128{,}235$$

$$b = \frac{n \sum_{t=1}^{n} y_t t - \sum_{t=1}^{n} t \sum_{t=1}^{n} y_t}{n \sum_{t=1}^{n} t^2 - (\sum_{t=1}^{n} t)^2} = \frac{12 \cdot 74091{,}67 - 78 \cdot 11869{,}54}{12 \cdot 650 - 78^2} = 21{,}401$$

- періодичної функції, коли споживання природного газу має періодичний (сезонний) характер

- $a = \frac{\sum_{t=1}^{n} y_t}{n} = \frac{11869{,}54}{12} = 989{,}13;$

$$b = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^{n} y_t \cdot cos \frac{2\pi}{n} t = \frac{2}{12} \cdot 11869{,}54 \cdot cos \frac{2 \cdot 3{,}14}{12} \cdot 12 = 133{,}674;$$

$$c = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^{n} y_t \cdot sin \frac{2\pi}{n} t = \frac{2}{12} \cdot 11869{,}54 \cdot sin \frac{2 \cdot 3{,}14}{12} \cdot 12 = 118{,}572.$$

Для визначення коефіцієнтів лінійно-періодичної функції складемо систему лінійних рівнянь:

$$\sum_{t=1}^{n} y_t = an + b \sum_{t=1}^{n} t = 12a + 78b = 11869{,}54;$$

$$\sum_{t=1}^{n} y_t t = a \sum_{t=1}^{n} t + b \sum_{t=1}^{n} t^2 + c \sum_{t=1}^{n} t \cdot cos \frac{2\pi}{n} t + d \sum_{t=1}^{n} t \cdot sin \frac{2\pi}{n} t = 78a + 650b + 6c - 22{,}392d = 74091{,}67;$$

$$\sum_{t=1}^{n} y_t cos \frac{2\pi}{n} t = b \sum_{t=1}^{n} t \cdot cos \frac{2\pi}{n} t + c \frac{n}{2} = 6b + 6c = 11866{,}996;$$

$$\sum_{t=1}^{n} y_t \, sin \frac{2\pi}{n} t = b \sum_{t=1}^{n} t \cdot sin \frac{2\pi}{n} t + d \frac{n}{2} = -22{,}392b + 6d = 245{,}735.$$

Отримана система лінійних рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} 12a + 78b = 11869{,}54; \\ 78a + 650b + 6c - 22{,}392d = 74091{,}67; \\ 6b + 6c = 11866{,}996; \\ -22{,}392b + 6d = 245{,}735. \end{cases}$$

Вирішимо її, для чого з першого рівняння виразимо *a*, з третього – *c*, четвертого – *d*.

Підставивши отримані вирази в друге рівняння знайдемо b, а потім за його значенням значення інших коефіцієнтів:

$$a = 985{,}863;\ b = 0{,}5024;\ c = 1977{,}330;\ d = 42{,}8308.$$

Отже отримані прогнозуючі функції мають вигляд:

- лінійної функції

$$\widehat{y_t} = 1128{,}235 + 21{,}401t\ (\text{тис. м}^3);$$

- періодичної функції

$$\widehat{y_t} = 985{,}863 + 133{,}674 \cdot cos\frac{2\pi}{n}t + 118{,}572 \cdot sin\frac{2\pi}{n}t\ (\text{тис. м}^3)$$

- лінійно-періодичної функції

$$\widehat{y_t} = 985{,}863 - 0{,}5024t + 1977{,}330 \cdot cos\frac{2\pi}{n}t + 42{,}8308 \cdot sin\frac{2\pi}{n}t\ (\text{тис. м}^3)$$

Порівняємо якість отриманих прогнозуючих функцій, для цього визначимо середньоквадратичне відхилення (СКВ). Отримано значення середньоквадратичне відхилення:

- лінійної функції

$$\sigma_{y_t} = \sqrt{\sum_{t=1}^{n}\frac{(y_t - \widehat{y_t})^2}{(n-1)}} = 963{,}7582\ (\text{тис. м}^3)$$

- періодичної функції

$$\sigma_{y_t} = \sqrt{\sum_{t=1}^{n}\frac{(y_t - \widehat{y_t})^2}{(n-1)}} = 11{,}55202\ (\text{тис. м}^3)$$

- лінійно-періодичної функції

$$\sigma_{y_t} = \sqrt{\sum_{t=1}^{n}\frac{(y_t - \widehat{y_t})^2}{(n-1)}} = 26{,}0202\ (\text{тис. м}^3)$$

Графіки прогнозуючих функцій та дослідні точки показані на рисунку 1.

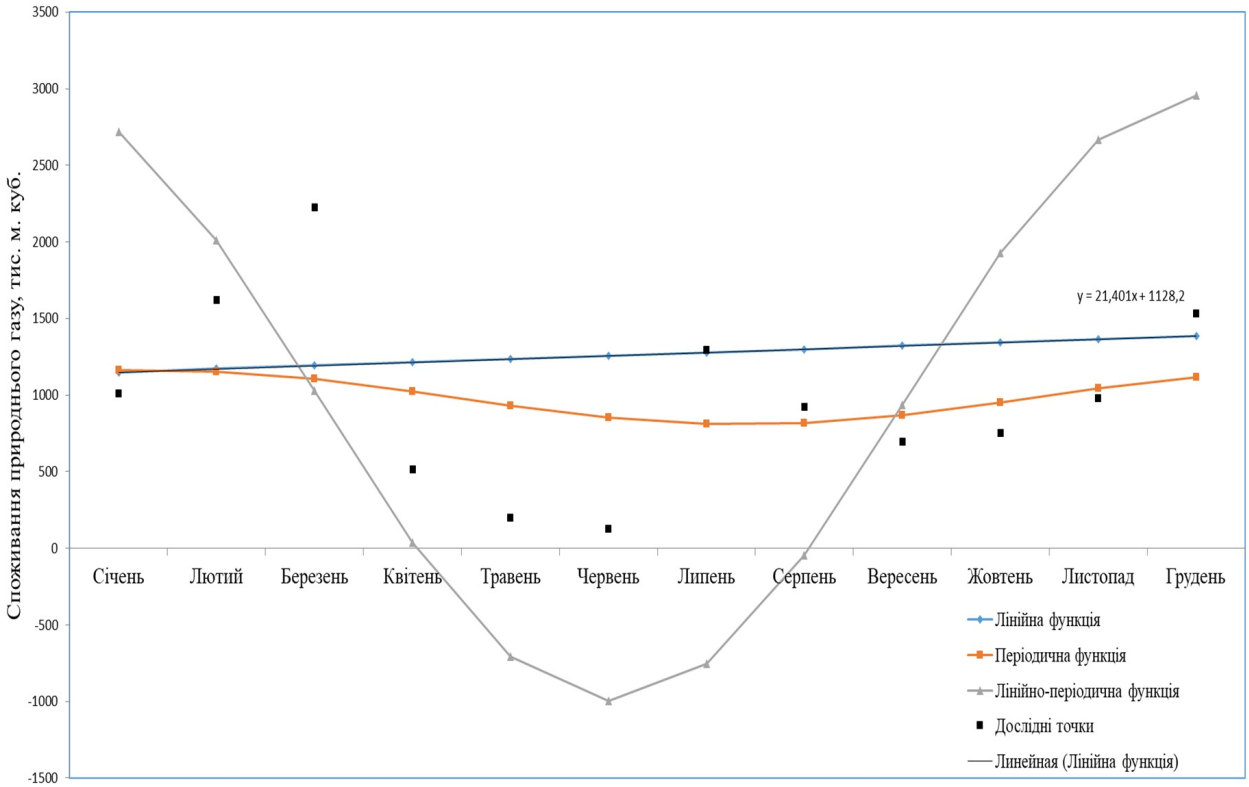

Рисунок 1 - Графіки прогнозуючих функцій та дослідних точок за 2019 рік

Аналіз отриманих значень середньоквадратичного відхилення, що характеризує похибку прогнозу, показує необхідність використання періодичної прогнозуючої функції.

Це пояснюється наступним: по-перше меншим значенням середньоквадратичного відхилення у порівнянні з лінійною прогнозуючою функцією; по-друге, вона практично співпадає з лінійно-періодичною функцією графічно (рис. 1) і за середньоквадратичним відхиленням, але дещо простішою аналітично; по-третє, незначним коефіцієнтом b, який близький до нуля.

Таблиця 2. Прогнозування споживання природного газу тис. м^3 підприємством по місяцях (за добу кожного місяця)

№,t	Місяць	y_t	$\widehat{y_t}$ (лінійне рівняння)	$\widehat{y_t}$ (періодичне рівняння)	$\widehat{y_t}$ (лінійно-періодичне рівняння)
1	Січень	1011,707	1149,636	1160,905	2719,447
2	Лютий	1619,498	1171,037	1155,416	2011,513
3	Березень	2224,404	1192,438	1104,541	1028,761
4	Квітень	514,462	1213,839	1021,898	34,12243
5	Травень	200,246	1235,24	929,609	-706,289
6	Червень	126,154	1256,641	852,378	-994,411
7	Липень	1296,274	1278,042	810,8788	-753,252
8	Серпень	920,820	1299,443	816,2201	-47,5024
9	Вересень	693,842	1320,844	866,972	933,7869
10	Жовтень	750,758	1342,245	949,5491	1927,806
11	Листопад	977,336	1363,646	1041,847	2668,337
12	Грудень	1534,035	1385,047	1119,159	2957,018
СУМА		11869,54	15208,1	11829,37	11779,34

На основі обраної прогнозуючої функції зробимо прогноз споживання природного газу промисловим підприємством на наступний рік.

Таблиця 3. Прогнозоване споживання природного газу (тис. м^3) підприємством на наступний рік

Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
1164,172	1158,983	1107,808	1025,165	932,876	855,645	814,1458	819,4871	870,239	952,8161	1045,114	1122,426

Прогностичні оцінки з використанням періодичної функції зводяться до такого:

1. Очікуваний рівень споживання природного газу визначається співвідношенням

$$\widehat{y_t} = 989{,}13 + 133{,}674 \cdot cos\frac{2\pi}{n}t + 118{,}572 \cdot sin\frac{2\pi}{n}t \text{ (тис. м}^3\text{)}$$

2. Середньоквадратичне відхилення, що характеризує похибку прогнозу, дорівнює 11,55 тис. м^3.
3. Протягом 95 місяців зі 100 очікувані коливання споживання природного газу відносно значень, визначених періодично прогнозуючою функцією, становлять 524,4 тис. м^3.
4. Періодичність обсягів споживання обумовлена сезонними витратами на опалення, тому періодична прогнозуюча функція дозволяє отримати точніший прогноз порівняно з лінійною прогнозуючою функцією.
5. Прогнозоване значення річного споживання природного газу становить 11868,58 тис. м^3.

Висновки

В результаті дослідження запропоновано обґрунтування концепції розрахунку прогнозуючої функції для обліку витрат не відновлюваних енергетичних ресурсів на теплоелектростанціях та підприємствах, які використовують природний газ. Це в свою чергу забезпечує ефективне планування та підвищення економічної ефективності роботи підприємства. Усе це дозволяє регулювати режими та витрати використання палива під час експлуатації електростанції при обмежених обсягах природного газу.

Наукова новизна дослідження полягає у формулюванні обґрунтування концептуальних принципів побудови математичної моделі використання та обліку витрат енергоносіїв на основі використання чотирьох прогнозуючих функцій і надання рекомендацій, як раціонально використати природні ресурси, які не відновлюються. доступних ресурсів та врахування типових особливостей об’єкту автоматизації.

Практична значущість роботи полягає у прогнозуванні та розрахунках об'єму споживання природного газу (тис. м^3) підприємством на наступний рік, а це в свою чергу дозволяє скорегувати витрати газу на майбутнє та прийняти обґрунтовані рішення як . можливо зменшити витрату палива або максимально ефетивно його використовувати.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї [електронне видання] : Проект «Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні» / Уклад.: С.П. Денисюк, О.В. Коцар, Ю.В. Чернецька. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 79 с.

2. Про затвердження плану заходів із впровадження систем енергетичного менеджменту в бюджетних установах. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26 квітня 2017 р. № 732-р

REFERENCES

1. Denisjuk, S.P., Kocar, O.V., Chernec'ka, Ju.V. (2016) Energy efficiency of Ukraine. Best project ideas [e-edition]: Project "Professionalization and Stabilization of Energy Management in Ukraine" [Energetichna efektivnist' Ukraïni. Krashhi proektni ideї [elektronne vidannja] : Proekt «Profesio-nalizacija ta stabilizacija energetichnogo menedzhmentu v Ukraïni»] Kiyiv, 79 p

2. On Approval of the Plan of Measures for the Implementation of Energy Management Systems in Budgetary Institutions. By the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 26, 2017, No. 732-p [Pro zatverdzhennja planu zahodiv iz vprovadzhennja sistem energetichnogo menedzhmentu v bjudzhetnih ustanovah. Rozporjadzhennjam Kabinetu Ministriv Ukraïni vid 26 kvitnja 2017 r. № 732-r]

Надійшла до редколегії 30.06.2019 Рецензент: д.т.н. Нікіфоров А. П.

E.N. LYUBIMENKO[1] A.A. SHTEPA [1], Y. A. ARTEMENKO[1], O.O. DERKACH[1]
[1]Donetsk National Technical University

Forecasting the use of non-restored energy consumers at heating power plant. Energy saving involves the development of systems for forecasting the use and accounting of energy costs. The analysis of the forecasting system for the use of natural energy in the conditions of total energy saving is carried out. The peculiarities of the use of energy in the thermal power plant during the year are identified and analyzed. The choice and forecasting of the forecasting function on which it is best to make a forecast of energy consumption for the coming year is proposed and substantiated. The structure and current costs of natural gas at TPPs for energy costs are described.

As a result of the research, the substantiation of the concept of calculation of the forecasting function for the accounting of the costs of non-renewable energy resources at thermal power plants and enterprises using natural gas was proposed. This, in turn, provides for effective planning and enhancement of the economic efficiency of the enterprise. All this allows to regulate the modes and costs of fuel use during the operation of the power plant with limited volumes of natural gas.

The frequency of consumption is due to seasonal heating costs, so the periodic forecasting function makes it possible to obtain a more accurate forecast than the linear prediction function.

The scientific novelty of the research is to formulate the substantiation of the conceptual principles of building a mathematical model of energy use and accounting on the basis of the use of four forecasting functions and to provide recommendations on how to rationally use non-renewable natural resources. the resources available and the typical features of the automation facility.

The practical significance of the work is to forecast and calculate the volume of natural gas consumption (thousand m^3) by the enterprise for the next year, which in turn allows you to adjust gas costs for the future and make sound decisions as. it is possible to reduce fuel consumption or use it as efficiently as possible. The standard deviation that characterizes the forecast error is 11.55 thousand m^3.

Within 95 months out of 100, the expected fluctuations of natural gas consumption relative to the values determined by the periodically predictive function are 524.4 thousand m^3.

The estimated value of annual consumption of natural gas is 11868,58 thousand m^3.

Keywords: energy saving, control of energy consumption, energy carriers, consumption, forecasting functions.