

Загородна Н. Розробка методу короткотермінового прогнозу добового газоспоживання в опалювальний період на основі регресійного аналізу / Загородна Н., Литвиненко Я., Фриз М. // Вісник ТНТУ. — 2010. — Том 15. — № 4. — С.130-139. — (математичне моделювання. математика. фізика).

УДК 519:24; 51:74

**Н. Загородна, канд.техн.наук; Я. Литвиненко, канд.техн.наук;
М. Фриз, канд.техн.наук**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

РОЗРОБКА МЕТОДУ КОРОТКОТЕРМІНОВОГО ПРОГНОЗУ ДОБОВОГО ГАЗОСПОЖИВАННЯ В ОПАЛЮВАЛЬНИЙ ПЕРІОД НА ОСНОВІ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Резюме. Проведено огляд основних прогнозних моделей газоспоживання, коротко описано їх переваги та недоліки. Проаналізовано фактори, які впливають на споживання газу та визначено найвагоміші з них. Запропоновано методику короткотермінового інтервального прогнозу газоспоживання, що дає можливість розраховувати прогнозні значення витрат газу в опалювальний період при заданій температурі навколишнього середовища.

Ключові слова: газоспоживання, температура, прогноз, регресія.

N. Zagorodna, Ya. Lytvynenko, M. Fryz

SHOT RANGE PROGNOSIS METHOD BUILDING OF DAY GAS CONSUMPTION IN HEATING SEASON BASED ON REGRESSION ANALISYS

The summary. Review of main gas consumption prognosis models and their advantages and disadvantages are given here. Factors, which influence into gas consumption, are analyzed, the most important of them are determined. Method of shot range interval gas consumption prognosis is made. It gives us a possibility to calculate prognosis values of gas expenses in heating season under the given temperature of environment.

Key words: gas consumption, temperature, prognosis, regression.

Актуальність роботи. Історично склалося, що на території України зосереджена неправомірно велика частка підприємств енергомістких галузей (гірничовидобувна, чорна та кольорова металургія, важке машинобудування) промисловості колишнього СРСР. Після відновлення своєї незалежності Україна була забезпечена природним газом за рахунок власних ресурсів лише на 20%. Незважаючи на подальшу стагнацію промислового виробництва, невиправдано високі ціни на газ та залежність від єдиного джерела імпорту, з середини 90-х років минулого століття за рівнем споживання газу Україна ввійшла в десятку найбільших країн світу. В енергетичному балансі нашої держави природний газ посідає провідне становище – частка газу в балансі енергоносіїв за останніми даними становить 45% (у світі – 23,8%, в Європі – 21,3%) [1]. В той же час у балансі запасів України частка газу становить лише 1% (частка вугілля – 95%). Дослідження українських науковців свідчать, що при теперішніх темпах розвитку української економіки та формуванні соціально-економічних запитів громадян України обсяги газоспоживання зростатимуть і надалі [2]. Зрозуміло, що разом із обсягами споживання газу зростатимуть і проблеми в газовій промисловості, яких і на сьогодні є чимало.

Існуюча система розрахунку споживання природного газу населенням у випадку відсутності технічної можливості його обліку проводиться за усередненими нормами на одного мешканця чи на один квадратний метр опалювальної площі, проте вона не

відображає фактичних витрат газу конкретним споживачем, які можуть бути значно меншими або значно більшими від розрахованих за нормами [3] витрат. Очевидно, схожі проблеми існують і на промислових підприємствах, де кількість спожитого газу знаходять на основі теплотехнічних характеристик встановленого обладнання, яке забезпечує технологічні процеси та опалювально-вентиляційні потреби. Саме тому, очевидно на практиці при складанні місячного балансу заздалегідь, окрему графу відводять під так звані „відтоки” чи „притоки” газу. Зрозуміло, що існуюча система обліку природного газу є застарілою і непридатною для контролю витрат газу, а тим паче для завдань його планування.

Автори [4] визнають, що планова подача газу значно нижча фактичних потреб, тому витратами газу намагаються управляти з допомогою політики «лімітів». Проте споживачі прагнуть максимального відбору, обмежити який технічними засобами майже неможливо. Очевидно, що балансування газових потоків шляхом контролю за дотриманням лімітної дисципліни та постачанням газу згідно з плановим розподілом споживачам не відповідає вимогам практики.

В міру наведених фактів можна сміливо стверджувати, що планування витрат газу є одним із найважливіших та найболючіших питань не лише газової промисловості, а й економіки загалом.

Аналіз відомих методик прогнозу газоспоживання. На основі аналізу літературних джерел і досвіду експлуатації газотранспортних станцій (ГТС) прийнято розрізнити такі види прогнозу газоспоживання:

- перспективне планування роботи газотранспортної системи (на кілька років наперед);
- довготерміновий прогноз – охоплює тривалі періоди часу (місяць, квартал, рік);
- короткотерміновий (оперативний) прогноз - розв’язують задачі, пов’язані, в основному, з підготовкою режиму роботи ГТС на найближчі години чи добу.

На нашу думку, основну увагу слід приділити розв’язанню задач оперативного прогнозу, оскільки це, в подальшому, сприятиме успішному розвитку методик інших видів прогнозування. Короткотерміновий прогноз необхідний у цілях диспетчерського управління, де передбачення почасових і щодобових потреб у газі необхідне для раціонального перерозподілу потоків газу між споживачами протягом доби.

Огляд робіт, присвячених тематиці моделювання режимів роботи систем газопостачання, показав, що на сьогодні накопичений достатньо широкий експериментальний і теоретичний матеріал з питань прогнозування режимів газоспоживання.

Очевидно, що питання обґрунтованості, ефективності та прогнозованості управлінських рішень є актуальним не лише в межах нашої держави, а й на території більшості країн світу, проте способи його вирішення великою мірою залежать від специфіки розвитку і стану газової галузі. Зокрема, в багатьох країнах популярним є підхід до прогнозу газоспоживання для різних категорій споживачів [5], що, в першу чергу, є можливим завдяки тотальному застосуванню пристроїв обліку газу. Водночас автори [6] визнають, що точний розрахунок витрат на комунально-побутові потреби нашої держави виконати важко, оскільки об’єм газу, який витрачають ці споживачі, залежить від низки випадкових факторів. Застосування такої методики в Україні ускладнюється ще й ситуацією зі втратами газу [7], які неможливо класифікувати, а тим паче прогнозувати.

Існує кілька методик прогнозу витрат природного газу населенням і комунальними організаціями. Громіздким і непрактичним виявився метод прямого розрахунку газоспоживання за кількістю населення, що користується газом, і

опалювальної площі будинків, переваги і недоліки якого наведені вище. Відсутність необхідної статистичної звітності й коректних норм газоспоживання по суті виключає можливість застосування цього методу.

В роботі [8] запропоновано метод „градусо-днів”, в основу якого покладено пряму залежність витрат газу на опалення будинків від різниці зовнішньої і внутрішньої температур. Проте вагомим недоліком цієї та вищенаведених методик є те, що всі вони побудовані на детермінованому підході, а, отже, насправді не відповідають реальним сигналам.

Слід також згадати ряд прогнозних моделей газоспоживання, побудованих на основі ретроспективного аналізу добових графіків газоспоживання [9,10]. Розв’язання задач прогнозу динаміки споживання природного газу по годинах доби зазвичай зводиться до екстраполяції відповідного часового ряду, тобто деякої формальної процедури перенесення тенденцій минулого в майбутнє. Використання цих методів базується на стаціонарних моделях газоспоживання, отже, не дозволяє врахувати вплив різноманітних випадкових факторів, що визначають режим газоспоживання.

В [11] встановлено, що основними факторами, які визначають режим газоспоживання, є кліматичні, до яких належать: температура зовнішнього повітря, відносна вологість повітря, сила вітру, атмосферний тиск та ін. Автор роботи розв’язує задачу виявлення кількісних і якісних зв’язків між газоспоживанням і кліматичними показниками. Проте диспетчер АСДУ не володіє достовірною інформацією про інші кліматичні фактори, окрім температури на наступний день. У [12] наведено методіку та знайдено оцінку взаємної кореляційної функції двох періодичних випадкових процесів, один з яких описує температуру навколишнього середовища, інший – газоспоживання. Як зазначають автори [5], дані про температуру для кожної години доби дуже часто відомі вже апостеріорно і, водночас, важко отримати таку інформацію апіорно. В цій же роботі доведено, що погодинні дані температури тісно пов’язані з середньодобовою температурою, що робить можливим здійснення прогнозу газоспоживання на основі метеорологічних даних про прогноз температури на наступний день.

У [13] запропоновано здійснювати прогноз так: середньодобові значення газоспоживання прогнозувати за середньодобовою температурою навколишнього середовища, а відхилення від цих значень витрат газу для кожної години доби – за спеціально запропонованою методікою, що ґрунтується на використанні адитивної моделі.

Автори [14] для прогнозу добових об’ємів газоспоживання пропонують кусково-лінійну модель, в основі якої лежить метод параболічної регресії. В роботі наголошується, що основну увагу при добовому прогнозуванні слід приділяти впливу на газоспоживання температури навколишнього середовища і хронологічних факторів, до яких відносять день тижня і сезон. Дослідники детально зупиняються на вирішенні проблеми нерівномірності розподілу температури на місцевості та питанні вибору інтервалів лінійності параболічної регресії, проте не досліджують точність розробленого методу прогнозу.

Результати опрацювання реальної статистичної інформації, які зазвичай наводять при викладенні основних положень наведених вище методів прогнозу, переважно носять ілюстративний характер і не можуть служити основою для оцінювання його ефективності.

В даний час багато дослідників перспективним підходом вважають використання нейронних мереж для задач прогнозу газоспоживання [15,16]. Можна назвати багато переваг нейронних мереж, зокрема можливість дослідження залежності прогнозованої величини від багатьох незалежних змінних. При цьому досвідчений експерт може із самого початку скористатися яким-небудь алгоритмом визначення

важливості й одразу визначити значущість вхідних змінних, щоб потім виключити з розгляду незначні параметри. Побудова нейромережевої моделі відбувається адаптивно під час навчання, без участі експерта. Поряд з цим нейронна мережа – це „чорний ящик”, який якимсь чином працює, але логіка ухвалення рішень нейромережею абсолютно прихована від експерта.

Проведений короткий аналіз робіт, присвячених прогнозу рівнів газоспоживання, дозволив зробити такі висновки:

- серед кліматичних факторів, які впливають на споживання газу, основну увагу слід приділяти формалізації впливу температури навколишнього середовища на об'єм спожитого газу;
- прогноз газоспоживання варто здійснювати з урахуванням хронологічних факторів, до яких відносять день тижня, тобто з виділенням вихідних і робочих днів;
- при плануванні витрат газу слід враховувати, на якому інтервалі часу проводиться прогноз газоспоживання, зокрема його належність до опалювального чи неопалювального сезону.

Постановка задачі. Як ми зазначали раніше, існує два види оперативного (короткотермінового) прогнозу: визначення прогнозних рівнів погодинних витрат природного газу та прогноз добового газоспоживання. Великі труднощі в газопостачальних організаціях виникають у періоди різких похолодань, коли покриття пікових витрат газу здійснюють, в основному, за рахунок обмеження газопостачання окремих промислових підприємств та інших крупних споживачів, перевівши їх частково або повністю на резервні види палива. В цих умовах для планування подачі газу і розроблення заходів для покриття нерівномірності його споживання важливим є правильно визначити залежність газоспоживання від температури навколишнього середовища. В міру тих обставин, що прогноз температури в Україні на сьогодні не здійснюється погодинно, *метою* нашої роботи є розроблення власного методу прогнозу добових витрат газу за відомою середньодобовою температурою з урахуванням вимог практики й дослідження його точності.

Під терміном „газоспоживання” розуміємо об'єм витраченого споживачами газу за одиницю часу.

Для визначення залежності споживання газу за добу від середньодобової температури повітря скористаємося методом параболічної регресії. Застосування цього методу вимагає встановлення порядку параболічної регресії. Тому робимо припущення, що між добовим споживанням газу та середньодобовою температурою навколишнього середовища існує лінійний зв'язок. Цю гіпотезу будемо перевіряти експериментально з використанням методу перевірки статистичних гіпотез.

Перевірка гіпотези про лінійність зв'язку між добовим газоспоживанням та середньодобовою температурою. Висуваємо основну гіпотезу H_0 , що між математичним сподіванням добового споживання газу та відомою середньодобовою температурою навколишнього середовища має місце лінійна залежність. Альтернативна гіпотеза H_1 тоді полягатиме в тому, що між згаданими вище досліджуваними величинами існує нелінійний зв'язок.

Нехай (x_1, x_2, \dots, x_N) - відомі середньодобові значення температури. Згідно з [17] для перевірки висунутої гіпотези для кожного відомого значення температури x_n , $n = \overline{1, N}$ слід досліджувати кілька (M) значень добового газоспоживання. Тобто

кожному x_n відповідає M -вимірний вектор незалежних однаково розподілених випадкових величин

$$\{\zeta_{nm}, m=1, \dots, M\}, \quad (1)$$

оцінку математичного сподівання якого можна знайти за формулою

$$\tilde{\zeta}_n = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \zeta_{nm}. \quad (2)$$

Відповідно до введених позначень висунуті вище гіпотези зводяться до таких:

- H_0 : має місце наступна лінійна залежність між математичним сподіванням добового газоспоживання ζ_n та відповідною температурою x_n

$$\mathbf{M}(\tilde{\zeta}_n) = \alpha + \beta \cdot x_n, \quad (3)$$

де α, β - коефіцієнти лінійної регресії,

- H_1 : така залежність нелінійна.

Далі необхідно оцінити коефіцієнти α, β за відомими формулами

$$\hat{\beta} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \cdot \tilde{\zeta}_n - \bar{x} \cdot \bar{\zeta}}{S_x^2}, \quad \hat{\alpha} = \bar{\zeta} - \hat{\beta} \cdot \bar{x}^2 \quad (4)$$

де $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n, \bar{\zeta} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \tilde{\zeta}_n, S_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n)^2 - \bar{x}^2$.

Якщо гіпотеза H_0 вірна, то

$$\hat{d}_1 = \frac{M}{N-2} \sum_{n=1}^N (\bar{\zeta}_n - \hat{\alpha} - \hat{\beta} \cdot x_n)^2 \quad (5)$$

буде незсуненою оцінкою дисперсії випадкових величин $\{\zeta_{nm}\}$. Але

$$\hat{d}_2 = \frac{1}{N(M-1)} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (\bar{\zeta}_n - \zeta_n)^2 \quad (6)$$

теж є незсуненою оцінкою дисперсії випадкових величин $\{\zeta_{nm}\}$.

Зауважимо, що оцінка (6) побудована безпосередньо за спостережуваними випадковими величинами, а оцінка (5) побудована з припущення істинності гіпотези H_0 . Тому для перевірки цієї гіпотези необхідно вибрати такий критерій, який би показував ступінь значущості відмінностей між (5) та (6).

Для побудови такого критерію розглянемо відношення

$$F = \frac{\hat{d}_1}{\hat{d}_2}. \quad (7)$$

Згідно з [17] випадкова величина F за умови істинності гіпотези H_0 має F -розподіл Фішера з $(N-2, N(M-1))$ ступенями вільності.

Таким чином, задавши рівень значущості α , гіпотезу H_0 приймаємо у випадку виконання нерівності

$$\frac{1}{\kappa_{1-\alpha/2, N(M-1), N-2}} < \mathbf{F} < \kappa_{1-\alpha/2, N-2, N(M-1)}, \quad (8)$$

де $\kappa_{1-\alpha/2, N-2, N(M-1)}$ - квантиль F -розподілу Фішера з $(N-2, N(M-1))$ ступенями свободи, і $\kappa_{1-\alpha/2, N(M-1), N-2}$ - квантиль F -розподілу Фішера з $(N(M-1), N-2)$ ступенями свободи. Альтернативну гіпотезу H_1 приймаємо у разі невиконання цієї нерівності.

В результаті опрацювання реальних даних газоспоживання ВАТ „Підгайцігаз” за зимовий період було отримано значення оцінок дисперсій $\hat{d}_1 = 3625738$ та $\hat{d}_2 = 1119055$. Значення критерію \mathbf{F} обчислюємо згідно з формулою (7) $\mathbf{F} = 3,24$. Задавши рівень значущості $\alpha = 0.05$, знаходимо квантилі розподілів $\kappa_{1-\alpha/2, N-2, N(M-1)} = 3,34$ та $\kappa_{1-\alpha/2, N(M-1), N-2} = 5,24$. Отримані результати доводять справедливість нерівності (8), а водночас і гіпотези про лінійність зв'язку між добовим газоспоживанням та середньодобовою температурою, що дозволяє будувати методи прогнозу газоспоживання з використанням лінійної регресії.

Використання лінійної регресії в задачах прогнозу газоспоживання. Введемо спершу необхідні нам позначення. Нехай ξ - випадкова величина, що описує добові витрати газу, η - випадкова величина, що описує середньодобову температуру. Вище було доведено, що між цими величинами існує стохастична лінійна залежність виду (лінійна регресія)

$$\mathbf{M}(\xi | \eta = x) = \alpha + \beta \cdot x, \quad (9)$$

де α, β - невідомі коефіцієнти лінійної регресії; x - задана середньодобова температура.

Нехай $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)$ - вибірка значень добових витрат газу та (x_1, x_2, \dots, x_N) - відповідні середньо добові значення температури. Незсунені та ефективні оцінки $\hat{\alpha}$ та $\hat{\beta}$ параметрів α, β знаходимо за формулою (4), використовуючи метод найменших квадратів, тобто мінімізуючи величину $\sum_{n=1}^N (\xi_n - \alpha - \beta \cdot x_n)^2$ [18].

Ґрунтуючись на реальних статистичних даних про газоспоживання в Підгаєцькому районі Тернопільської області за зимовий період та на даних середньодобової температури за відповідний період, знаходимо значення оцінок коефіцієнтів лінійної регресії:

$$\hat{d}_1 = 3625738, \quad \hat{d}_2 = 1119055.$$

Враховуючи знайдені значення коефіцієнтів лінійної регресії, запишемо рівняння лінії регресії у вигляді:

$$f(z) = \mathbf{M}(\xi | \eta = z) = 23488,37 - 662,91 \cdot z. \quad (10)$$

Отже, з допомогою рівності (10) можна легко знайти оцінку математичного сподівання витрат газу за добу за заданим значенням середньодобової температури z .

На рис.1. наведено результати обробки статистичної інформації.

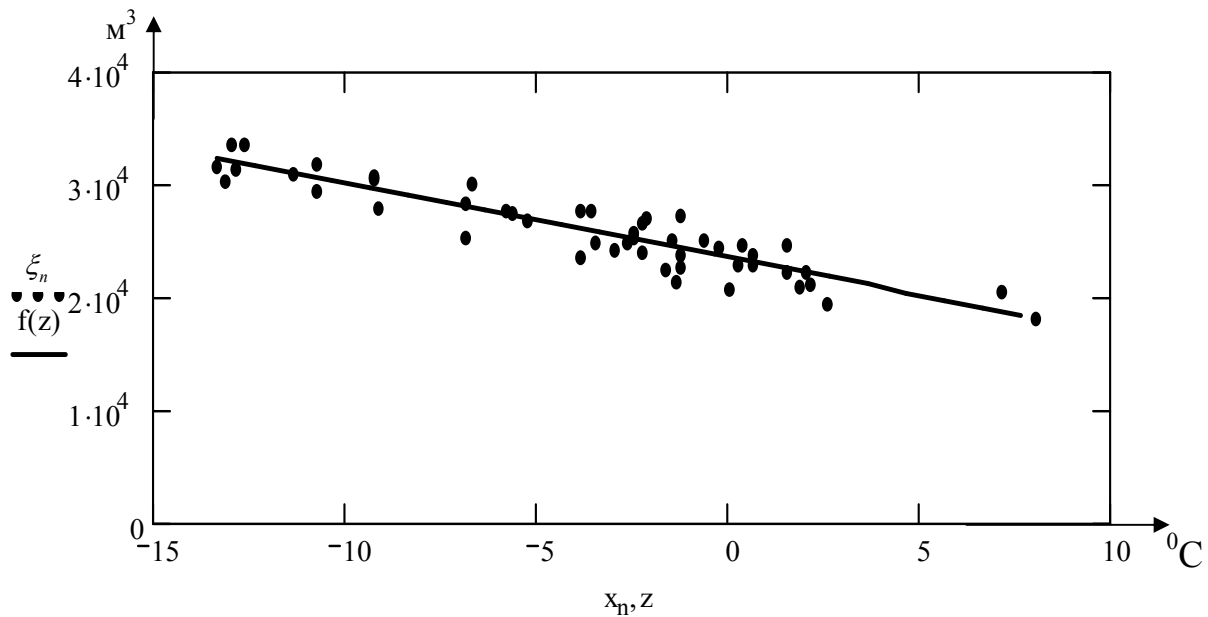


Рисунок 1. Результати регресійного аналізу

Визначення точності розробленого методу прогнозу. Цілком очевидним є факт, що результатом прогнозу не може бути реалізація точкової оцінки математичного сподівання прогнозованої величини. Адже в такому випадку незрозуміло, наскільки отриманий результат відповідає дійсності, та й взагалі, чи є зміст використовувати його на практиці. Оцінкою ефективності будь-якого методу прогнозу є його точність.

Для отримання точніших оцінок досліджуваних параметрів доцільно побудувати для них довірчі інтервали. Перш, ніж перейти до розв'язування поставленої задачі, необхідно з'ясувати, який розподіл мають відхилення величин ξ_n від лінії регресії. В результаті проведеного гістограмного аналізу була висунута гіпотеза, що величини відхилень добового газоспоживання від лінії регресії $(\xi_n - \alpha - \beta \cdot x)$ є нормально розподіленими. Перевірка цієї гіпотези за критерієм χ^2 Пірсона підтвердила її правомірність.

Встановивши розподіл відхилень, можемо перейти до побудови довірчих інтервалів оцінок коефіцієнтів лінійної регресії. Згідно з [17] довірчі інтервали, що з однаковою ймовірністю γ накривають оцінювані коефіцієнти α та β у даному випадку мають вигляд

$$\hat{\alpha} - h_{\gamma, N-2} \sqrt{\hat{d}_{\hat{\alpha}}} < \alpha < \hat{\alpha} + h_{\gamma, N-2} \sqrt{\hat{d}_{\hat{\alpha}}} \quad (11)$$

та

$$\hat{\beta} - h_{\gamma, N-2} \sqrt{\hat{d}_{\hat{\beta}}} < \beta < \hat{\beta} + h_{\gamma, N-2} \sqrt{\hat{d}_{\hat{\beta}}}, \quad (12)$$

де $\hat{d}_{\hat{\alpha}} = \frac{\hat{d}_{\xi} \sum_{n=1}^N x_n^2}{N^2 S_x^2}$, $\hat{d}_{\hat{\beta}} = \frac{\hat{d}_{\xi}}{N S_x^2}$ – оцінки дисперсій оцінок α та β ;

$$\hat{d}_\xi = \frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^N (\xi_n - \hat{\alpha} - \beta x_n)^2 - \text{оцінка дисперсії випадкових величин } \{\xi_n, n = \overline{1, N}\};$$

$h_{\gamma, N-2}$ – довірча границя, що визначається як квантиль t -розподілу Стьюдента рівня $\frac{\gamma}{2}$ з $N-2$ ступенями свободи.

Точність розрахованої за формулою (10) величини математичного сподівання добового газоспоживання за відомою середньодобовою температурою x буде визначатись довірчою імовірністю γ та величиною довірчого інтервалу

$$\hat{\alpha} + \hat{\beta} \cdot x \pm h_{\gamma, N-2} \sqrt{\frac{\hat{d}_\xi}{N} \sqrt{1 + \frac{(x - \bar{x})^2}{S_x^2}}}, \quad (13)$$

де $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n$, $S_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2 - \bar{x}^2$.

Дослідивши вибірку добових значень газоспоживання в Підгаєцькому районі Тернопільської області за зимовий період 2003 року, отримали такі довірчі інтервали для коефіцієнтів α та β :

$$23488.72 - 435 < \alpha < 23488.72 + 435$$

$$662.91 - 69 < \beta < 662.91 + 69.$$

Аналогічно, задавши довірчу ймовірність γ , можна отримати за формулою (13) довірчий інтервал для математичного сподівання добового газоспоживання. На рис. 2 наочно проілюстровані лінія регресії для визначення добового газоспоживання за середньодобовою температурою, довірчий інтервал та приклад прогнозу добового газоспоживання для середньодобової температури $x=0^\circ\text{C}$.

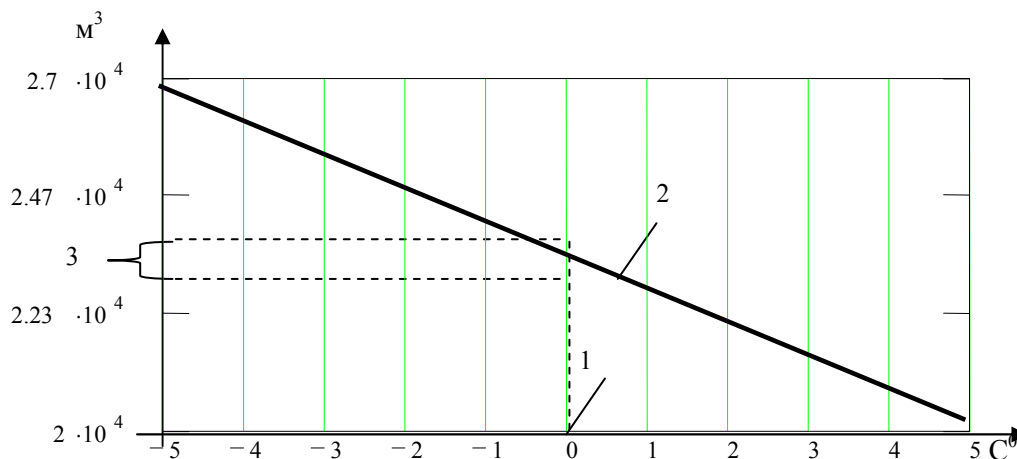


Рисунок 2. Графічна ілюстрація розробленої методики прогнозу добового газоспоживання залежно від середньодобової температури:

1 – задане значення температури; 2 – лінія регресії;

3 – довірчий інтервал прогнозу газоспоживання

Щодо точності прогнозу зазначимо, що для наведеного прикладу при заданій ймовірності $\gamma = 0.95$ довжина реалізації довірчого інтервалу дорівнює 914 м^3 , що

складає 3,8% від реалізації точкової оцінки прогнозованого математичного сподівання добового газоспоживання – 23488 м³.

Алгоритм розробленої методики прогнозу добового газоспоживання з урахуванням температури в опалювальний період такий:

- Оцінка коефіцієнтів лінійної регресії за відомими співвідношеннями регресійного аналізу на основі статистичних даних добового газоспоживання та середньодобової температури.
- Побудова лінії регресії з використанням знайдених оцінок параметрів регресії.
- Знаходження оцінки математичного сподівання прогнозованого добового газоспоживання для заданої температури x на основі побудованої лінії регресії.
- Обчислення меж довірчого інтервалу для математичного сподівання прогнозованого газоспоживання за формулою (13) за заданою довірчою ймовірністю γ .

Висновки. Шляхом короткого огляду стану вітчизняної газової промисловості обґрунтовано актуальність досліджень. На основі здійсненого аналізу відомих методів прогнозу газоспоживання сформульовано основні вимоги до нової прогнозної моделі. Розроблено алгоритм методики прогнозу газоспоживання в опалювальний період на основі метеоданих про прогнозовану середньодобову температуру.

Література

1. Гречка О.М. Перспективний аналіз продажу природного газу споживачам України. / О.М. Гречка // Нафтова і газова промисловість. – 2005. – №5. – С.37–39.
2. Грабовський М. Довготерміновий прогноз попиту на нафту й газ в Україні / М. Грабовський // Нафта & газ. Енергетичний бюлетень. – 2005. – №7. – С.12–15.
3. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні; КТМ 204 України 244-94. – К., 1998. – 376с.
4. Шишко Г.Г. Учет расхода газа / Г.Г. Шишко, М.П. Енин. – К.: Урожай, 1993. – 310 с.
5. Gil S. Generalized Model of Prediction of Natural Gas Consumption [Електронний ресурс] / Gil S., Deferrari J. // Transaction of the ASME. – 2004. – Vol 126. – P. 90-97. Режим доступу до журн.: http://www.df.uba.ar/~sgil/web_fisicarecreativa/papers_sg/papers_sgil/Gas/JER_2k4a.pdf
6. Єнін П.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом: навчальний посібник / П.М. Єнін, Г.Г. Шишко, К.М. Предун. – К.: Логос, 2002. – 198с.
7. Тижук С. Втрати газу – загальногалузева проблема/ С.Тижук // Нафта & газ. Енергетичний бюлетень. – 2005. – №5. – С.24–25
8. Бицадзе Д.Г. Прогнозирование расхода природного газа / Д.Г. Бицадзе, Р.И. Долмазашвили, Т.Ш. Хазалашвили // Тезисы докладов республиканского семинара на тему: „Математическое и техническое моделирование процессов газового хозяйства”. – Тбилиси. – 1988. – С.6–7.
9. Гарляускас А.И. Математическое моделирование оперативного и перспективного планирования систем транспорта газа / А.И. Гарляускас – М.:Недра, 1975. – 160с.
10. Гарляускас А.И. Теоретические и прикладные исследования оптимизации газоснабжающих систем: автореф. дис. на соиск. научн. ст. докт. техн. наук: спец. 05.13.03 / А.И. Гарляускас. – Новосибирск: АН СССР. Сибирское отделение. Секция кибернетики, 1975. – 46с.
11. Мамедов Н.Я-Оглы. Влияние климатических факторов на процесс газопотребления (на примере Азербайджанской ССР): автореф. дис. на соиск. научн. ст. канд. техн. наук: спец. 05.23.03 / Н.Я.-Оглы Мамедов. – Баку: Азербайджанский инженерно-строительный институт, 1985. – 22с.

12. Мацюк О.В. Оцінка кореляційного взаємозв'язку періодичних випадкових процесів та її використання в задачах енергетики /О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – №2(15).– С.39–42.
13. Попадько В.Е. Некоторые вопросы оперативного прогнозирования газопотребления методами теории случайных процессов: автореф. дис. на соиск. научн. ст. канд.техн. наук: спец. 198 / В.Е. Попадько. – Москва: МИНХ и ГП им.И.М.Губкина, 1972. – 24с.
14. Панкратов В.С. Информационно-вычислительные системы в диспетчерском управлении газопроводами / В.С. Панкратов, А.В. Дубинский, Б.И. Сипештейн. – Л.: Недра, 1988. – 246с.
15. Коваленко М.В. Нейросетевая модель прогнозирования потребления газа в жилищно-бытовом секторе / М.В. Коваленко, К.В. Махотило // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". – 2002. – №12. – Т1. С.299–301
16. Brown R.H. Development of Artificial Neural-network Models to Predict Daily Gas Consumption [Електронний ресурс] / Brown R.H. Matin L., Kharout P. and Piessens L.P // Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1995., Proceedings of the 1995 IEEE IECON 21st International Conference on Issue Date: 6-10 Nov 1995. – 1995. – Volume: 2. – P. 1389-1394/ – Режим доступу до журн.:
<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel2%2F3496%2F10334%2F00484153.pdf%3Farnumber%3D484153&authDecision=-203>
17. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В.Линник. – М.: Физматгиз, 1962. – 352с.
18. Гихман И.И. Введение в теорию случайных процессов / И.И. Гихман, А.В. Скороход. – М.: Наука, 1965. – 656с.

Отримано 2.11.2010