

лопровідності ґрунту пояснюється зменшенням температури нафти, що спричинює зростання довжини ділянки з ламінарним неньютонівським рухом нафти;

3) система неізотермічний нафтопровід – НПС залежно від таких основних факторів, як реологічні властивості нафти, величина коефіцієнта теплопровідності ґрунту, температура підігріву нафти і температура ґрунту на глибині укладання труби, може мати дві чи одну робочу точку або не мати робочої точки. Останнє свідчить про неможливість перекачування високов'язкої нафти за даних умов;

4) при значеннях коефіцієнта теплопровідності ґрунту до $1,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{}^\circ\text{C)}$ у зоні стійкої роботи нафтопроводу структурний режим руху нафти практично відсутній, тому теплогідравлічні розрахунки неізотермічного нафтопроводу за даних умов можна вести за методиками, що базуються на моделі руху ньютонівської рідини.

Література

1. Середюк М.Д., Якимів Й.В., Лісафін В.П. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів. – Кременчук, 2001. – 517 с.
2. Тугунов П.И., Новоселов В.Ф. Транспортирование вязких нефтей и нефтепродуктов по трубопроводам. – М.: Недра, 1973. – 89 с.
3. РД 39-30-480-80 Методика расчета гидравлических и тепловых потерь в "горячем" нефтепроводе. – 46 с.
4. Методика теплового и гидравлического расчета трубопроводов при установившемся режиме перекачки подогретых вязкопластичных нефтей и нефтепродуктов. – Уфа: ВНИИ-СПТнефть, 1974. – 57 с.
5. Губин В.Е., Губин В.В. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. – М: Недра, 1982. – 294 с.

УДК 519:24

МОДЕЛІ ГАЗОНАВАНТАЖЕНЬ З ВРАХУВАННЯМ СТОХАСТИЧНОЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ

О.В.Мацюк, М.В.Приймак

ТДТУ, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, тел. (0352) 253413,
e-mail: Kaf_KN@tu.edu.te.ua

Проведено аналіз графіків газопотреблення (на прикладі Тернопільгазу), котрий дозволив отнести их к множеству стохастически периодических сигналов. Рассматриваются основные модели газопотребления, учитывающие их стохастическую периодичность на описательном уровне и дают возможность разрабатывать статистические методы более всестороннего и объективного их исследования. Предложены перспективные пути разработки информационных технологий анализа и прогноза газопотребления, использование которых будет способствовать повышению эффективности и надежности функционирования газопромышленного комплекса.

Вступ. До найважливіших галузей народного господарства України відноситься газова промисловість — одна із головних складових її паливно-енергетичного сектору. Частка природного газу в Україні становить 43% від усіх споживаних енергоресурсів, включаючи атомну і гідроенергію, або 51% від органічних палив [1]. Незважаючи на те, що газова промисловість нашої країни має давні і славні сторінки, її стан на даний час невтішний. На це є багато відомих об'єктивних і суб'єктивних причин. І справа не стільки в дефіциті газу (власний видобуток газу на Україні становить 18 млрд. куб. м., що становить трохи більше 22% від загального споживання обсягом приблизно 76 млрд. куб. м.), скільки в неефективному його використанні. Значними є безконтрольність при транспорту-

The gas consuming graphics (on Ternopilgas example) which allows to refer them to the stochastic periodical signals totality is analyzed. The main gasloading models? Which take into account on descriptive level their stochastic periodicity and allow working out more wises and objective statistical researching methods are considered. The perspective ways of gas consuming information technologies analysis and prediction elaborating using of which promotes the increasing of gas industrial complex functioning effectiveness and reliability are proposed.

ванні та споживанні газу, неплатежі за використаний газ, часто неконтрольоване зростання цін на енергоносії загалом і на газ зокрема. Разом з тим недостатньо уваги приділяється технічним засобам обліку газу, недосконаліми є статистичні методи аналізу і прогнозу газоспоживання, транспортування газу, практично відсутні ефективні інформаційні технології, які б враховували специфіку, особливості газової промисловості. Можна лише зауважити, що подібна картина певною мірою характерна також для нафтової галузі і електроенергетики.

Враховуючи ситуацію, що склалася, важливою на сьогоднішній день державною проблемою є підвищення ефективності управління в газовій промисловості. Ця проблема складна і стосується багатьох аспектів: політичних,

куб.м./год.

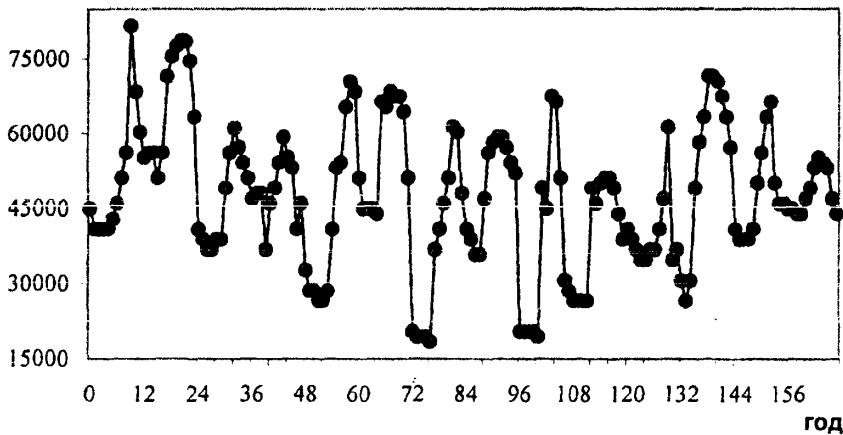


Рисунок 1 — Графік газоспоживання для Тернопільгаз за сім поточних днів в 2002 році

економічних, соціальних, технічних, математичних. Першим із трьох перерахованих аспектів приділяється увага на державному рівні, в засобах інформації, наукових публікаціях. Ми зупинимось на математичному боці цієї проблеми.

Немає сенсу говорити про суттєве підвищення ефективності управління в газовій промисловості, покращання її економічних показників, поки не будуть отримані *достовірні оцінки газоспоживання*, втрат газу при його транспортуванні тощо. Йдеться не стільки про інтегральні оцінки, як про диференціальні, які дають змогу простежити динаміку, особливості споживання та транспорту газу, його інші параметри та характеристики в поточні моменти часу з певним кроком дискретизації. Саме від точності картини газоспоживання, повноти та достовірності інформації про існуючий стан речей (медичною термінологією: від правильно встановленого діагнозу) залежить правильність відповіді на головне запитання: „Що і як робити далі?”. Тільки на основі об'єктивної оцінки ситуації можуть бути прийняті логічно осмислені, виважені конструктивні дії щодо підвищення ефективності і надійності функціонування газової промисловості, оптимального використання газу, здійснення політики активного газозбереження.

Можна виділити два основні шляхи підвищення достовірності обліку та аналізу газоспоживання. Це розробка більш точних, багатифункціональних, багатотарифних лічильників газу, можливо з погодинним його обліком, як це, наприклад, успішно використовується в електроенергетиці. Другий шлях — це створення різноманітних баз даних і розробка інформаційних технологій аналізу та прогнозу газоспоживання.

Основними даними, які використовуються для вирішення цих і пов'язаних з ними інших завдань, є графіки газоспоживання, оскільки в них міститься найбільш повна інформація про динаміку цього процесу, його особливості, на їх основі можливо розраховувати прогнозні графіки газоспоживання, транспортування газу.

Разом з тим необхідно відзначити, що графіки газоспоживання є досить складним з математичної точки зору об'єктом, оскільки відносяться до множини нестационарних випадкових процесів. Тому очевидно, що розробка методів аналізу і прогнозу газоспоживання і на основі отриманих даних розв'язання завдань з підвищення ефективності і надійності функціонування газової промисловості країни, її окремих регіонів, є актуальною і під силу тільки спеціалістам, які, крім глибоких інженерних знань, мають необхідні знання з теорії випадкових процесів, математичної статистики, баз даних.

Мета роботи — обґрунтувати, що газоспоживання належить до множини стохастично періодичних процесів, та розглянути основні моделі, що лежать в основі розробки інформаційних технологій аналізу і прогнозу газоспоживання з врахуванням згаданої періодичності.

Газоспоживання як стохастично періодичний процес. Розглянемо наведений на рис. 1 графік газоспоживання для Тернопільгаз за 7 поточних днів тижня. Аналізуючи його, легко побачити *випадковість та приблизну повторюваність значень газоспоживання з періодом $T = 24$ год.* Приблизно повторюються екстремальні значення газоспоживання в ранкові (8; 9) та вечірні (19; 20) години. Мінімальні значення теж приблизно повторюються і припадають на нічні години доби. Подібний характер випадковості та повторюваності спостерігається і для швидкостей росту та спаду газоспоживання на інтервалах доби між екстремальними значеннями. Таку поведінку графіків, коли для них детермінована періодичність відсутня, але при цьому спостерігається їх приблизна повторюваність з деяким періодом T , називають *стохастичною періодичністю* (іноді *ритмічністю, циклічністю*).

Складність графіків газоспоживання певною мірою пояснюється тим, що на їх формування впливає значна кількість випадкових факторів — економічних, метеорологічних, технологічних, астрономічних та ін., для більшості з яких теж характерна стохастична періодич-

ність. Тому, щоб підвищити достовірність результатів аналізу газоспоживання, будувати більш точні їх прогнози графіки, необхідні відповідні бази даних, алгоритми і програмне забезпечення, розроблені саме з врахуванням ритмічності газоспоживання.

Наскільки відомо авторам цієї роботи, в задачах аналізу споживання газу (а також видобутку і транспорту газу) його стохастична періодичність та впливових на цей процес факторів до цього часу по суті не враховувалася. Здебільшого використовувалися методи, що зводилися до знаходження деяких локальних та інтегральних показників газоспоживання. Це, наприклад, сумарне споживання газу за день, місяць, рік; усереднена, мінімальна та максимальна витрата газу протягом певного періоду часу та ін. Порівняння стану обліку, аналізу, прогнозу в газовій промисловості із відповідним станом речей в близькій до цієї галузі промисловості — електроенергетиці засвідчує [2], що врахування в методах аналізу і прогнозу енергонавантажень їх стохастичної періодичності сприяє значному підвищенню достовірності результатів обчислень, їх повноти. Адже у відповідних розрахунках до уваги беруться година доби, дні тижня (розрізняються робочі і вихідні дні), пора року (весна, літо, осінь, зима). Використання розроблених інформаційних технологій в АСДУ (автоматизованих системах диспетчерського управління) енергосистем, обленерго сприяє вирішенню ряду завдань, пов'язаних із оптимізацією управління, підвищенням ефективності та надійності функціонування енергосистем, їх регіонів.

Для вирішення поставлених вище основних проблем щодо аналізу і прогнозу газоспоживання може бути використаний результативний в сучасних прикладних дослідженнях підхід, суть якого зводиться до тріади «*модель – алгоритм – програма*». Згідно з цим підходом на першому етапі обґрунтовується модель сигналу (в нашому випадку газоспоживання), на другому — розробляються аналітичні методи та алгоритми його дослідження, на третьому етапі створюється відповідне програмне забезпечення. Основним в цьому підході, безумовно, є перший етап — побудова моделі, оскільки від адекватності об'єкта і його моделі залежить успішність розв'язку наступних задач тріади. Коротко розглянемо деякі класи випадкових процесів, які можуть бути використані як моделі газоспоживання, інших стохастично періодичних сигналів в газовій промисловості.

Основні моделі для опису стохастично періодичного газонавантажень. Перші спроби щодо обґрунтування моделей і статистичного аналізу стохастично періодичних сигналів пов'язані з використанням для цього стаціонарних випадкових процесів

$$\xi(t), M|\xi(t)|^2 < \infty, M\xi(t) = m, t \in (a, b);$$

$$R(t_1, t_2) = M \overset{\circ}{\xi}(t_1) \overset{\circ}{\xi}(t_2) = R(\tau),$$

де $\overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - M\xi(t), \tau = t_2 - t_1, t \in (a, b)$ — інтервал спостереження (скінченний або нескінченний).

Стаціонарні процеси зручні в практичному використанні, для них розроблені і широко використовуються методи їх спектрально-кореляційного аналізу [3]. Відзначимо, що результати, які при цьому отримуються, в багатьох випадках добре інтерпретуються в інженерних дослідженнях. Напевно, це і викликало широке застосування так званого методу “зведення реальних нестационарних процесів до стаціонарних”, який не є теоретично обґрунтованим, але пов'язаний з використанням відповідних перетворень і модифікацій нестационарних процесів. Один із таких підходів полягає в тому, що для опису і аналізу стохастично періодичних сигналів використовують кусково (локально) стаціонарні процеси. Це означає, що весь інтервал спостереження сигналу розбивають на невеликі інтервали (так звані інтервали стаціонарності), на кожному з яких сигнал припускається стаціонарним. Такий підхід міститься, наприклад, в [4], де інтервал спостереження $[a, b]$ розбивається на такі відрізки $(a_i, a_{i+1}]$, $i = \overline{1, n}$, $a_1 = a$, $a_{n+1} = b$, що на кожному із них стохастично періодичний сигнал описується за допомогою стаціонарного процесу $\xi_i(t)$ з математичним сподіванням $M\xi_i(t) = m_i$ і дисперсією $D\xi_i(t) = d_i$. Приклад такого розбиття наведено на рис. 2, де математичне сподівання зображено неперервною лінією, дисперсія — пунктирною. Однак використання цього підходу на практиці викликає певні труднощі. Одна з них полягає в проблемі визначення довжин інтервалів стаціонарності $(a_i, a_{i+1}]$. Залишається відкритим також питання слушності статистичних оцінок параметрів процесів $\xi_i(t)$, якщо інтервали малі.

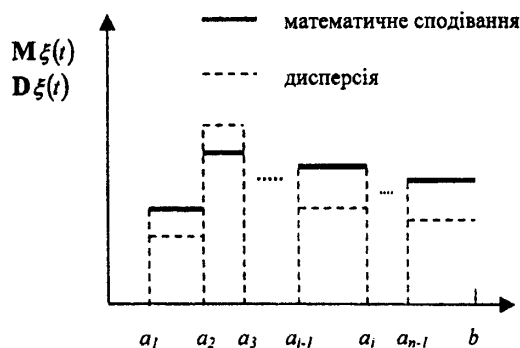


Рисунок 2 — Математичне сподівання та дисперсія кусково стаціонарного процесу

Першою моделлю, яка певною мірою давала змогу реально враховувати стохастичну періодичність, можна вважати адитивну модель, тобто випадковий процес $\xi(t)$, записаний у вигляді суми

$$\xi(t) = f(t) + \xi_1(t), t \in (a, b). \quad (1)$$

В цьому зображенні $f(t)$ – тренд, що являє собою періодичну або майже періодичну функцію, $\xi_1(t)$ – стаціонарний процес. Модель (1) знаходить широке прикладне застосування при описі та аналізі сигналів на фоні завад [5].

Крім (1), для врахування стохастичної періодичності коливань пульсуючого характеру можливе мультиплікативне зображення

$$\xi(t) = f(t) \cdot \xi_1(t), \quad (2)$$

де $f(t)$ і $\xi_1(t)$ мають той же зміст, що і в (1).

Обмежене використання (1) і (2) полягає в тому, що (1) враховує періодичність лише першого моменту досліджуваного сигналу — його математичне сподівання, хоча, як показує досвід, для практики часто більш важливою і інформативною є оцінка періодичної дисперсії. Крім цього, в (2) математичне сподівання і дисперсія виявляються функціонально пов'язаними, що переважно не відповідає дійсності.

Враховуючи ці недоліки, для опису і аналізу газонавантажень більш природним є використання періодичних (за Слущким) випадкових процесів $\{\xi(t), t \in (-\infty, \infty)\}$, для яких періодичною за сукупністю аргументів є їх багатовимірна функція розподілу, тобто існує таке число T , що

$$\begin{aligned} F(x_1, \dots, x_n; t_1, \dots, t_n) &= \\ &= P\{\xi(t_1) < x_1, \dots, \xi(t_n) < x_n\} = \\ &= F(x_1, \dots, x_n; t_1 + T, \dots, t_n + T). \end{aligned} \quad (3)$$

Більш широким в порівнянні класом періодичних процесів є періодично корельовані випадкові процеси, для яких періодичними є лише їх перші дві моментні функції — математичне сподівання і кореляційна функція, тобто:

$$M\xi(t) = M\xi(t + T), \quad (4)$$

$$R(t_1, t_2) = M\left\{\overset{\circ}{\xi}(t_1) \cdot \overline{\overset{\circ}{\xi}(t_2)}\right\} = R(t_1 + T, t_2 + T),$$

де $\overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - M\xi(t)$;

$T > 0$ – період кореляції, тобто період зміни його ймовірнісних характеристик.

Як наслідок, дисперсія періодично корельованого випадкового процесу також є періодичною з тим же періодом T

$$D\xi(t) = R(t, t) = R(t + T, t + T) = D\xi(t + T).$$

Для газоспоживання можливими значеннями періоду є $T = 24$ год., $T = 24 \times 7 = 168$ год. та ін.

На рис. 3 наведені ілюстрації періодичних математичного сподівання і дисперсії періодично корельованого і періодичного випадкового процесів.

φ -серії — основа розробки методів аналізу стохастичної періодичності. Хоча періодичні та періодично корельовані процеси нестационарні, але для них аналогічно стаціонарним процесам теж розроблено ряд методів їх статистичного аналізу з використанням лише

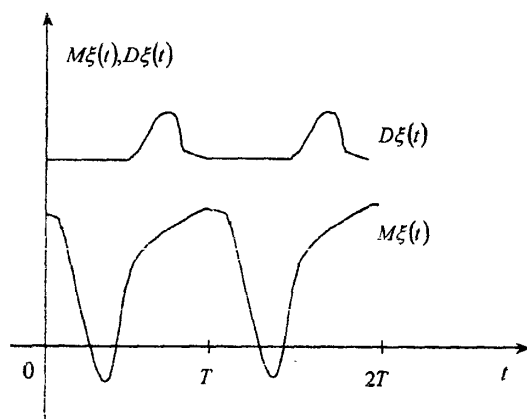


Рисунок 3 — Математичне сподівання і дисперсія періодично корельованого випадкового процесу

однієї реалізації. Така можливість ґрунтується на властивостях φ -серій періодичного процесу $\xi(t)$, які визначаються так. Якщо φ — деяке число (фаза), що належить проміжку $[0, T)$, то φ -серією називається вкладений відносно періодичного процесу $\xi(t)$ процес $\xi(\varphi + lT)$, $l = 0, \pm 1, \dots$, який, по суті, являє собою послідовність відліків процесу $\xi(t)$, взятих через період T . Надалі будемо розглядати φ -серії, для яких фаза приймає фіксовані значення: $\varphi = \varphi_i = ih$, $h = T/L$, L – ціле, $L \geq 2$. Для таких значень фази $\varphi_i = ih$ вкладений процес будемо позначати через

$$\xi(ih + lT) = \xi_i(l), \quad l = 0, \pm 1, \dots$$

Надзвичайно важливо, що φ_i -серії є стаціонарними у вузькому (широкому для періодично корельованих процесів) розумінні і стаціонарно пов'язаними послідовностями. Зокрема, для φ_i -серії її математичне сподівання і дисперсія постійні, тобто: $M\xi_i(l) = m_i(l) = m_i$, $D\xi_i(l) = d_i$, $l = 0, \pm 1, \dots$, $i = 0, L-1$, а для різних φ_i - та φ_k -серій їх взаємна кореляційна функція залежить лише від різниці аргументів, тобто: $R_{ik}(l_1, l_2) = R_{ik}(\tau)$; $i, k = 0, L-1$; $\tau = l_2 - l_1$. Стаціонарність і стаціонарне пов'язаність φ_i -серії є базою, на основі якої розробляються інформаційні технології дослідження стохастично періодичних сигналів, використовуючи для цього відомі методи статистичного аналізу стаціонарних послідовностей.

Перспективні напрямки побудови конструктивної моделі, аналізу і прогнозу газонавантажень. Як вже відзначалося вище, періодичні і періодично корельовані випадкові процеси (послідовності) дають змогу за однією реалізацією знаходити слушні оцінки їх періодичних ймовірнісних характеристик, проводити залежний від часу гістограмний аналіз, розв'язувати задачі виявлення, розпізнавання, класи-

фікації та ін. Разом з тим важливо наголосити, що як моделі періодичні і періодично корельовані процеси є описовими, тобто тільки постулюють основну властивість сигналів — їх ритмічність. Тому для більш різностороннього статистичного аналізу багаточисельних стохастично періодичних сигналів, а в нашому випадку — графіків газонавантажень, необхідний пошук нової, конструктивної моделі, яка б не тільки враховувала їх ритмічність, але й механізм, причини виникнення ритмічності. Бажано також, щоб конструктивна модель не тільки допускала всестороннє вивчення аналітичними і статистичними методами графіків газонавантажень з використанням всіх моментних функцій, але й давала можливість розробляти нові інформаційні технології, які включають розробку баз даних, нові методи обробки, оцінки параметрів і імовірнісних характеристик, пов'язаних із особливостями газонавантаження, інших взаємопов'язаних з ним сигналів, явищ, факторів в газопромисловому комплексі. Розробка на базі конструктивної моделі газонавантаження статистичних методів його більш достовірного аналізу, прогнозу сприятиме підвищенню надійності і ефективності функціонування газопромислового комплексу.

Висновки. Проведено попереднє обґрунтування газонавантажень як об'єкта, що належить до класу стохастично періодичних сигналів. Вибрано перспективний підхід до статистичного аналізу і прогнозу газонавантажень,

що полягає у використанні тріади “модель – алгоритм – програма”. Розглянуто основні моделі газонавантажень, що на описовому рівні враховують їх стохастичну періодичність і дають змогу розробляти статистичні методи більш всестороннього і об'єктивного їх дослідження. Накреслено перспективні шляхи розробки інформаційних технологій аналізу і прогнозу газоспоживання, використання яких сприятиме підвищенню ефективності і надійності функціонування газопромислового комплексу.

Література

1. Карп І. Виступ на загальних зборах НАН України // Вісник НАН України. – 2002. – №6. – С. 21-25.
2. Марченко Б.Г., Приймак М.В. Побудова моделі та аналіз стохастично періодичних навантажень енергосистем // Праці Ін-ту електродинаміки. – К.: ІЕД НАН України, 1999. – Вип. 1. – С. 129-153.
3. Смирнов А.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. – М.: Наука, 1969. - 512 с.
4. Денисенко Н.А., Хоффман И., Иншеков Е.Н. Упрощенная стохастическая модель электрических нагрузок в системах электроснабжения // Изв. вузов. Электромеханика. – 1987. – №8. – С. 104-108.
5. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1967. – 757 с.

Х Міжнародна конференція

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОСФЕРА XXI СТОЛІТТЯ

м. Севастополь
(8-13 вересня 2003 р.)

Оргкомітет конференції

ДонНТУ,
кафедра “Технологія машинобудування”
Україна, 83000, м. Донецьк, вул. Артема, 58

Тел.: +38 (062) 3050104, (0622) 910805
Факс: (0622) 921278

E-mail: tm@mech/dgtu.donetsk.ua
<http://www.dgtu.donetsk.ua>

Михайлів Олександр Миколайович

Іщенко Олександр Львович
Байков Анатолій Вікторович
Рибіна Світлана Анатоліївна

Тематика конференції:

- Практика створення та використання прогресивних технологій нетрадиційні технології
- Механізація та автоматизація виробничих процесів. Автоматизація конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Прогресивне обладнання.
- Проблеми проектування і використання інструментів.
- Технічне регулювання і управління якістю продукції і технічних систем
- Сучасні проблеми матеріалознавства в машинобудуванні
- Питання моделювання і розрахунку складних технічних систем
- Техніка природоохоронних технологій і хімічного машинобудування
- Геотехнології та гірські машини
- Сучасні проблеми комп'ютерних та інформаційних технологій (САД/САМ/САЕ). Мехатронні системи.