

Назріла необхідність створення оновленої концепції забезпечення безпеки та надійності трубопровідних систем.

### Література

1 Крижанівський Є.І. Нафтогазова енергетика // Нафтогазова енергетика. – 2006. – №1. – С. 5-9.

2 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Методологічні аспекти дослідження взаємозв'язку процесів деформації та руйнування трубопроводів // Нафт. і газова пром-сть. – 2002. – №. 5. – С. 33-38.

3 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Методологія дослідження деформації та руйнування трубопровідних систем // Матеріали III міжнародної конференції „Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій”. – Львів, 2004. – С. 419-424.

4 Побережний Л.Я. Прогнозування корозійної витривалості трубних сталей та зварних з'єднань при низьких частотах навантаження // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2003. – № 2. – С. 79-82.

5 Побережний Л.Я. Прогнозирование ресурса работы морских нефтегазопроводов // Материалы международной конференции „Разрушение и мониторинг свойств металлов”, Екатеринбург, Россия, 26-30 мая 2003 г. – Екатеринбург: ИМАШ УрОРАН, 2003. – С. 87.

6 Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я. Спосіб оперативної діагностики зломів матеріалів / Деклараційний патент № 46499А, кл. 7 G01N21/00, G01N3/00. Держдепартамент ІВ, Бюл. № 5. 15.05.2002.

7 Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: Наказ №637 Міністерства праці та соціальної політики від 4 грудня 2002 р. – К.: Основа, 2003. – 192 с.

8 Побережний Л.Я. Закономірності деформації і руйнування морських трубопроводів при статичному та низькочастотному навантаженні: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Івано-Франківський національний техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2002. – 19 с.

9 Мазур И. И., Иванцов О. М. Безопасность трубопроводных систем. – М.: ИЦ «Элима», 2004. – 1104 с.

10 Анализ аварийного риска и обеспечение безопасности химически опасных объектов / В.Г.Горский, Т.Н.Швецова-Шидловская, В.В.Кирсанов, Г.Ф.Терещенко // Хим. пром-ть. – 2002. – № 4. – С. 1-14

11 Ориняк І.В., Бородій М.В., Батура А.С. Наукові і організаційні засади впровадження ризик-аналізу в практику управління цілісністю магістральних трубопроводів / Цільова комплексна програма НАНУ «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» – К.: Інститут електрозварюванні ім. Є.О.Патона НАНУ, 2006. – С. 11-15

УДК 622.692.4

## ПРОГНОЗУВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ГАЗОСПОЖИВАННЯ

О.С.Тараєвський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166  
e-mail: public@nung.edu.ua

*Представлены результаты экспериментальных исследований и проанализированы влияния неравномерности газопотребления и концентраций напряжений на состояние газопровода, его механических свойств сварных соединений. Разработана методика, дает возможность получить достоверный прогноз остаточного ресурса работы сварных соединений газопровода и установит оптимальный режим работы КС.*

В інфраструктурі паливно-енергетичного комплексу України важливу роль відіграє трубопровідний транспорт. Через територію країни прокладено понад 35 тис. км. магістральних газопроводів. Більшість газопроводів експлуатуються уже тривалий час і чимало з них відпрацювали амортизаційний термін. Стабільна робота магістрального трубопроводу залежить від його технічного стану.

У процесі експлуатації газотранспортного комплексу України, газопроводи піддаються статичним, циклічним, динамічним навантажен-

*The results of experimental investigations are presented, the impact of irregularity of gas consumption, the stress concentration on the gas pipeline state and its mechanical properties of annular couplings are analyzed. The procedure was developed, which enables to get a reliable prediction of the residual resource of work of welding annular couplings in gas pipelines and thus to establish an optimal working system of annular couplings..*

ням та впливу корозійного середовища, одночасна дія яких призводить до корозійно – втомного руйнування. Високий рівень напружень у стінках газопроводів, викликаний внутрішнім тиском (до 7,5 МПа) перекачуваного газу, а для зварних кільцевих з'єднань ще й високим рівнем залишкових зварювальних напружень, які можуть сягати  $(0,4..0,6) \sigma_T$ , ставить особливі вимоги як до визначення їх величин так і прогнозування режимів експлуатації газопроводів.

Важливим етапом проведення досліджень є статистичний аналіз реальних режимів роботи

магістральних газопроводів із пересіченим профілем траси, що дасть змогу встановити реальну картину руху газу в газопроводах, а також загальні характеристики технологічних процесів. Реальні газопроводи працюють у нестационарному режимі. Однією із зовнішніх причин нестационарності роботи газопроводу є періодичне збурення від добових, місячних, а також річних коливань газоспоживання, які мають певну закономірність.

Таким чином, виникає гостра потреба в розробці ефективних методів оцінки цих явищ і адекватних розрахункових схем для інженерної практики. На сьогодні такі методи розвинуті в літературі недостатньо, особливо щодо врахування специфіки роботи газопроводу.

Науково обгрунтоване визначення планових задач подачі газу в умовах нестационарності полягає в тому, що потрібно мати достовірну інформацію про добову, сезонну та інші види нерівномірності споживання газу. На даний час формуються два основних напрямки прогнозування: зазначивши нерівномірність споживання газу в задачах проектування та розвитку (перспективне прогнозування) систем газопостачання; прогноз графіків споживання для керування режимами в реальних системах транспорту газу (оперативне прогнозування).

Усі причини виникнення нестационарних процесів можуть бути розділені на постійно діючі та імпульсні.

До першої групи слід віднести нестационарні процеси, викликані добовою нерівномірністю газоспоживання. Вони характеризуються періодичністю з періодом в одну добу і для транзитних газопроводів незначною амплітудою зміни технологічних параметрів. В основному, для вимірювання добової нерівномірності газоспоживання використовується акумулююча здатність газопроводу, тому в більшості випадків ніяких керуючих впливів на систему не застосовується.

Імпульсні причини виникнення нестационарності газового потоку в газопроводі з технологічної точки зору можна поділити на дві групи. До першої слід віднести нестационарні процеси, викликані технологічними плановими впливами на систему (зміна технологічної схеми компресорної станції (КС), різні зміни в поступленні чи відборі газу із системи). Нестационарність потоку, викликана дією цих впливів, характеризується великою амплітудою зміни технологічних параметрів і значною тривалістю перехідного процесу. Однак, момент початку нестационарного процесу в цьому випадку здебільшого заздалегідь відомий, що дозволяє завчасно моделювати майбутній нестационарний процес та прийняти відповідні керуючі рішення. До другої групи відносяться нестационарні процеси, викликані аварійними ситуаціями на газопроводах (як на КС так і на лінійних ділянках).

Колівання робочого тиску в газопроводах газотранспортної системи протягом доби визначаються характером споживання даним регіоном, який містить певну кількість споживачів газу.

Від кількості споживачів газу і характеру споживання газу ними на протяжності доби залежить коливання витратів газотранспортної системи, яке в свою чергу викликає коливання тиску. За характером газоспоживання споживачів розділяють на три групи: промислові споживачі газу; побутові споживачі та буферні. Однак, цей розподіл має досить умовний характер.

Вважається, що промислові споживачі газу рівномірно споживають газ протягом доби. Це твердження не завжди вірне, оскільки кількість спожитого газу як пального в промисловості визначається багатьма факторами, як, наприклад, нерівномірність поступлення сировини, вимоги технологічного процесу до якості продукції тощо. Тому для промислових споживачів газу також існує добова нерівномірність газоспоживання, яка може суттєво відрізнятись від нерівномірності споживання газу побутовими споживачами, що визначається, в основному, укладом життя суспільства і пов'язаним з ним характером енергоспоживання.

Буферні споживачі можуть використовувати різні види енергоносіїв (в т.ч. і природний газ) їх використання в регіоні призводить до згладжування нерівномірності газоспоживання.

На рис. 1 зображено графік добового газоспоживання ГРС №2 м. Черкаси, а на рис. 2 – графік добового газоспоживання м. Сімферополь. Як видно з графіків, зміна споживання газу протягом доби носить періодичний характер, причому частота коливань може бути різною як для одного і того ж регіону в різні дні року, так і для різних регіонів. На рис. 3 зображено графік газоспоживання міста Миколаєва, що показує плавне споживання газу протягом доби. Внаслідок періодичності вказана функція може бути апроксимована синусоїдою, параметри якої можна вибрати залежно від фактичних величин газоспоживання та динаміки їх зміни для конкретного регіону.

Залежно від вигляду конкретного графіка газоспоживання для його апроксимації пропонуються різноманітні варіанти математичних моделей, в основі яких лежить періодична функція. Так, в [1] запропоновано апроксимувати графік добового газоспоживання у вигляді

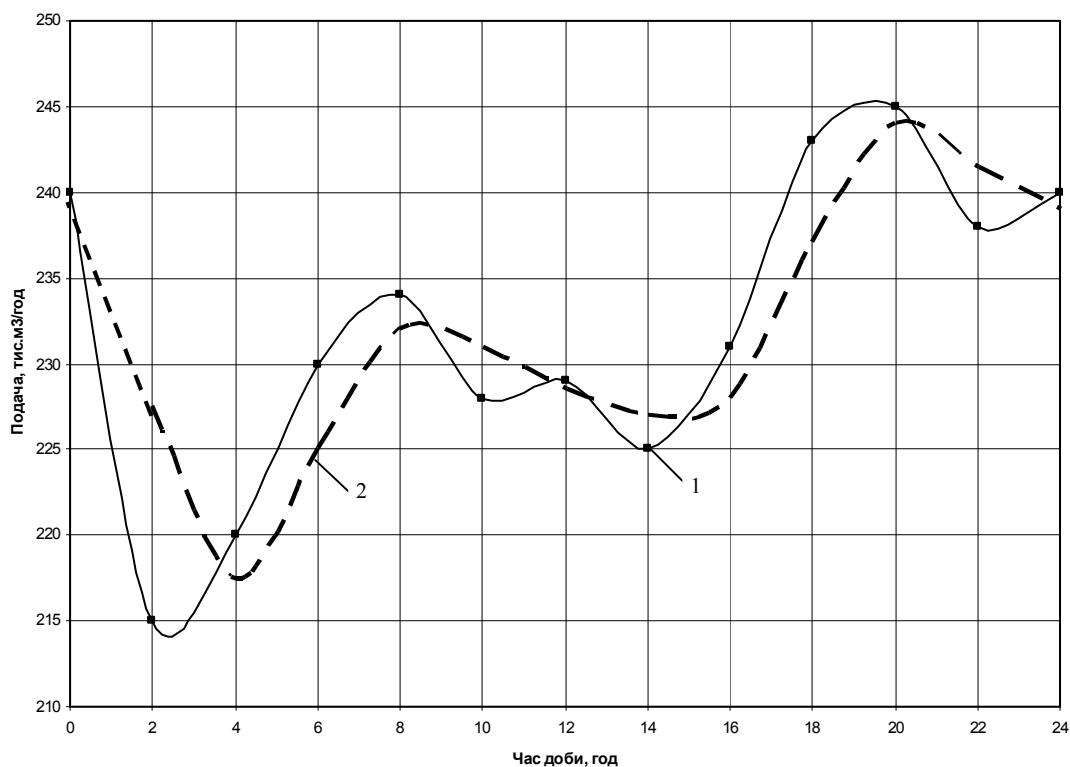
$$Q(t) = Q_{cp} + \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \varphi_i). \quad (1)$$

Число гармонік ряду  $n$  вибирається залежно від необхідної точності апроксимації, а циклічну частоту  $\omega_i$ , фазове зміщення  $\varphi_i$  та амплітудну складову  $Q_i$  визначають на основі обробки фактичного матеріалу за певний період часу (наприклад, за рік).

В [4] вказується, що для досягнення достатньої для інженерних розрахунків точності в ряді випадків достатньо однієї гармоніки ряду. Тобто характер газоспоживання може бути апроксимований функцією

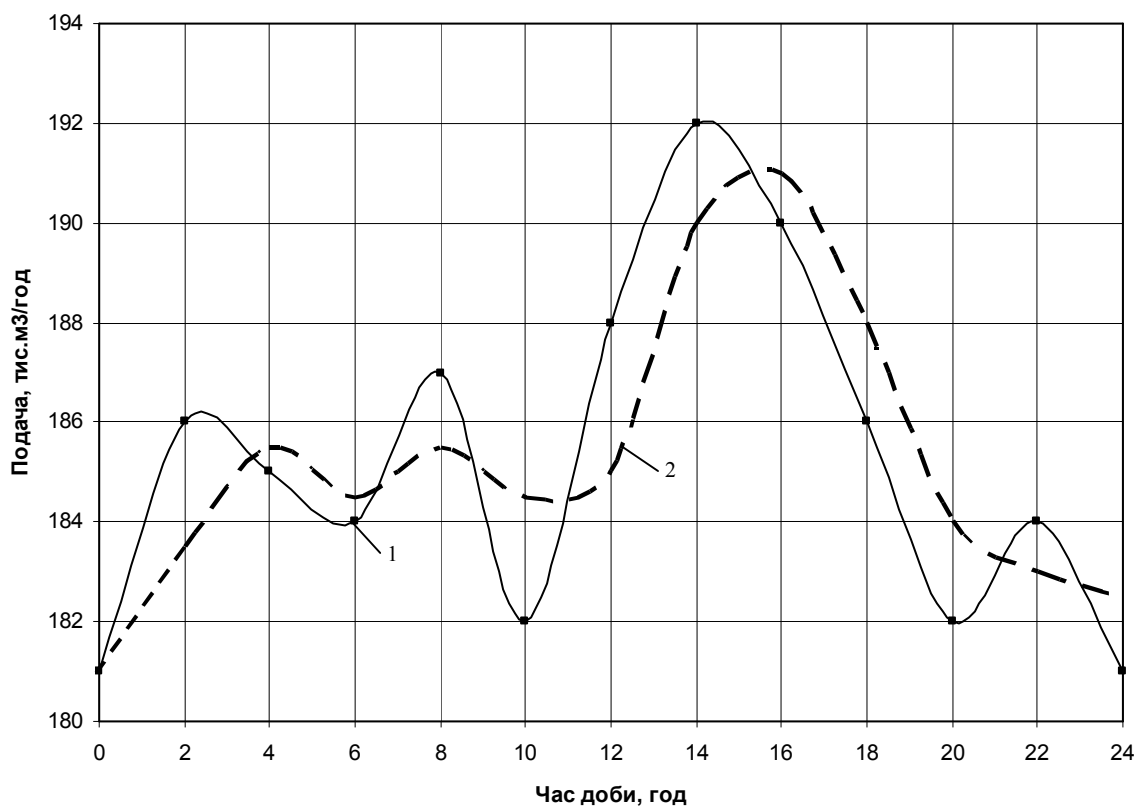
$$Q(t) = Q_{cp} + A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi). \quad (2)$$

Величину  $Q_{cp}$  в (1) і (2) визначають як середнє статистичне або математичне очікування



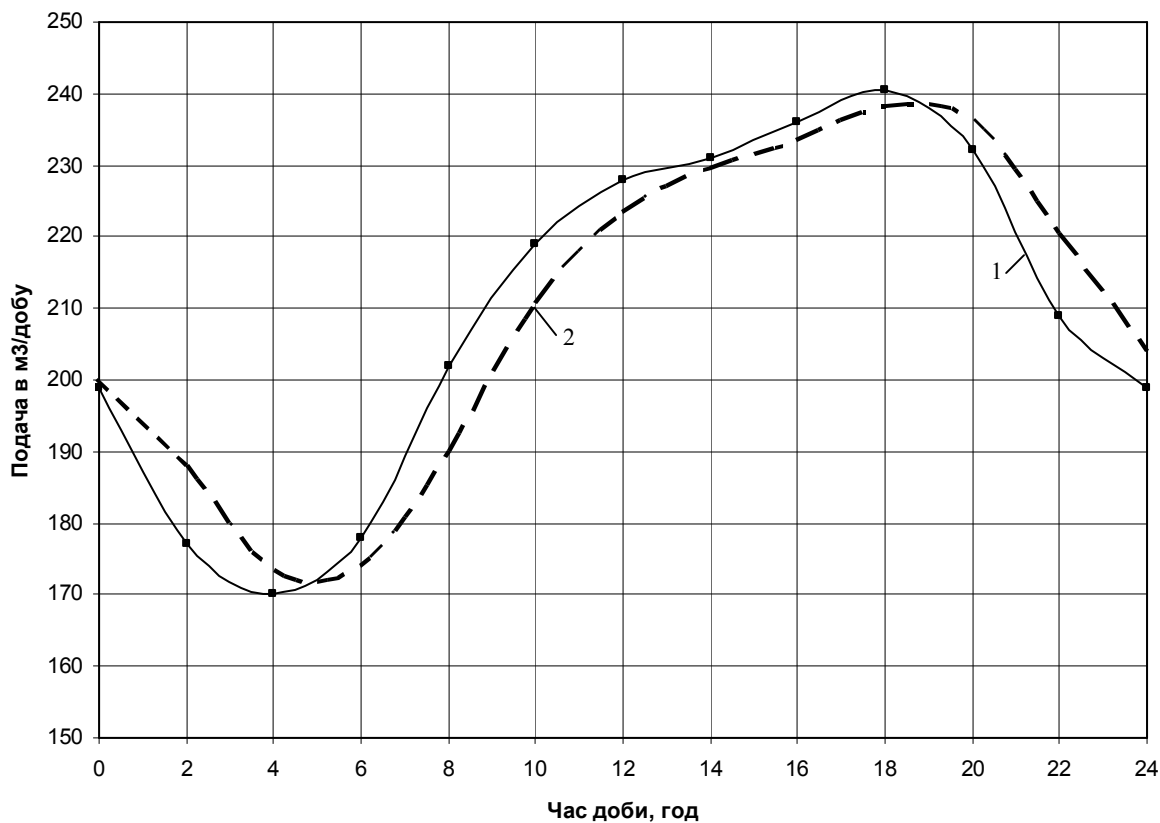
1 – реальні дані; 2 – математична модель

Рисунок 1 – Графіки добового газоспоживання ГРС №2 м. Черкаси



1 – реальні дані; 2 – математична модель

Рисунок 2 – Графік добового газоспоживання м. Сімферополь



1 – реальні дані; 2 – математична модель

Рисунок 3 – Графік добового газоспоживання м. Миколаїв

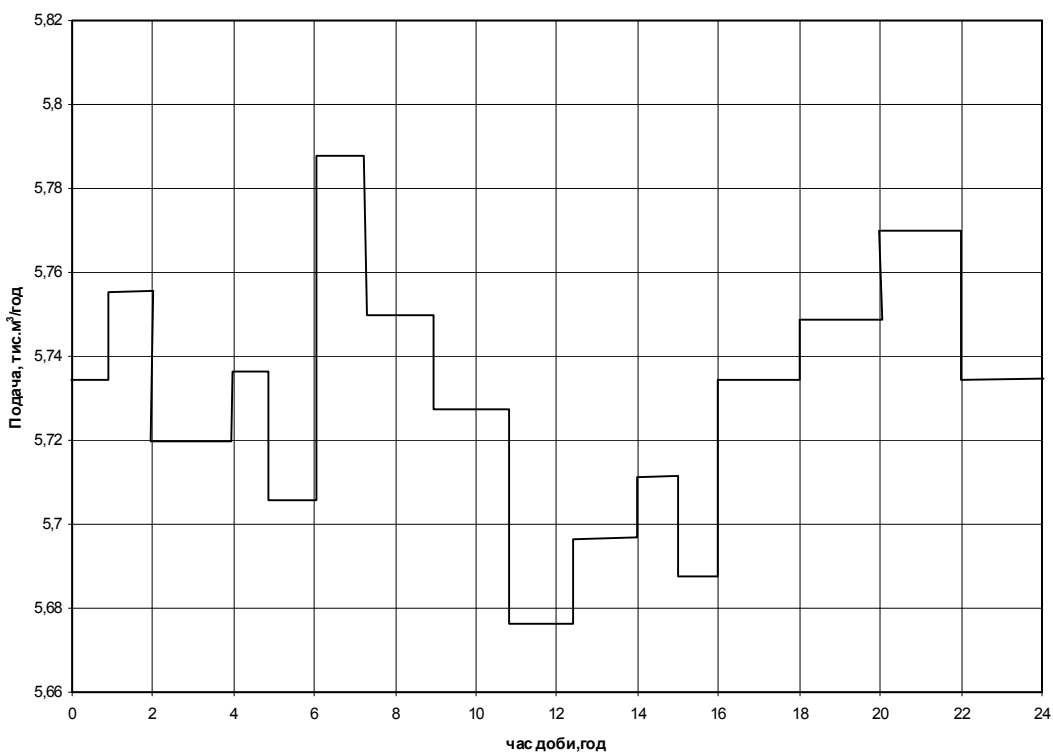


Рисунок 4 – Графік добового газоспоживання ГРС Гавриловськ

за певний період газозабезпечення регіону. Однак, можливе і середньоінтегральне визначення  $Q_{cp}$

$$Q_{cp} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T Q(t) dt. \quad (3)$$

Чим довший період спостережень  $T$  тим більш достовірне значення середньостатистичної і середньоінтегральної величини середньодобового газопостачання.

Загальноприйнято оцінювати характер добової нерівномірності газоспоживання коефіцієнтом добової нерівномірності, який є відношенням середньодобової величини газоспоживання до максимального (пікового) газоспоживання протягом доби. Використовуючи залежність (2), отримаємо

$$k_o = \frac{Q_{cp}}{Q_{max}} = \frac{Q_{cp}}{Q_{cp} + A} = \frac{1}{1 + \frac{A}{Q_{cp}}}. \quad (4)$$

Коефіцієнт добової нерівномірності газоспоживання не залежить від характеристики трубопроводу, по якому подається газ в даний регіон, і є властивістю даного регіону як споживача енергії. Іншими словами, коефіцієнт добової нерівномірності газоспоживання можна визначити ще до подачі газового пального регіону газопостачання.

Тоді, знаючи коефіцієнт нерівномірності газоспоживання, можна наближено, опираючись на залежності (2) і (4), прогнозувати характер газоспоживання даного регіону протягом доби. З (4) маємо

$$A = Q_{cp} \cdot \left(1 - \frac{1}{k_o}\right). \quad (5)$$

Тоді

$$Q(t) = Q_{cp} \cdot \left[1 + \left(1 - \frac{1}{k_o}\right) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)\right]. \quad (6)$$

Залежність (6) дає змогу побудувати графік добової нерівномірності газоспоживання за відомим коефіцієнтом добової нерівномірності споживання газу.

Для великих енергетичних центрів, де частина споживачів енергії є буферними споживачами, характерна ступінчата зміна газоспоживання. У таких випадках на синусоїдальний закон зміни газоспоживання протягом доби накладається ступінчата функція в результаті чого апроксимація залежності може бути виражена функцією

$$Q_{(t)} = Q_{cp} + \Delta Q \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \pm q_i \cdot \sigma(t - t_i), \quad (7)$$

де:  $q_i$  – величина  $i$ -того скачка газоспоживання в момент часу  $t_i$ ;

$\sigma(t - t_i)$  – одинична функція Хевісайда.

На рис. 4 зображено характер зміни відбору газу з газопроводу Саратов – Москва на ділянці КС Корабліно – КС Гавриловське по ГРС Гавриловське. Як видно з графіка газоспоживання, скачки відбору газу відбуваються з часовим інтервалом, меншим 2 години. В зв'язку з

цим в газопроводі буде спостерігатися хвильовий процес, викликаний стрибкоподібним пониженням чи підвищенням тиску. Це означає, що на низькочастотну складову процесу, викликану синусоїдальною зміною відбору, накладатиметься високочастотна складова, викликана стрибкоподібною зміною тиску в точці відбору. Тому загальний процес коливання тиску в газопроводі характеризується спектром частот.

Побудовані функції добового газоспоживання покладено в основу реалізації задач коливання тиску в газопроводі.

На основі викладеної раніше методики, розроблено алгоритм та програму, які дозволяють розраховувати та прогнозувати споживання газу за допомогою коефіцієнта добової нерівномірності газоспоживання.

Результати програми по визначенню та прогнозуванні споживання газу зображені на рис 1-3 (криві 2).

### Висновок

Невідповідність між об'ємами поставки газу і його споживанням призводить до нестаціонарності газових потоків, що в поєднанні зі складною технологічною схемою газопроводів та пересіченим профілем траси призводить до складності прогнозування режимів роботи газопроводів та керування ними. Слід зазначити, що залежно від вибору режиму роботи газотранспортних систем України можна зекономити (або марно витратити на перекачку) понад 3 млрд.м<sup>3</sup> газу на рік. Запропоновані математичні моделі дозволяють з достатньою для інженерної практики точністю ( $\pm 5\%$ ) чисельно визначити низькочастотну пульсацію тиску а також оцінити вплив нерівномірності газоспоживання на напружений стан газопроводу. Отже, розроблені математичні моделі дають змогу прогнозувати споживання газу а також здійснити вибір раціонального режиму роботи газопроводу та КС.

### Література

- 1 Обслуживание газотранспортных систем: Учеб. пособие / В.Я.Грудз, Д.Ф.Тымкив, Е.И.Яковлев. – К.: УМК ВО, 1991. – 160 с.
- 2 Крижанівський Є.І., Тараєвський О.С. Дослідження корозійно-втомних характеристик сталі 17Г1С магістрального газопроводу // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2006. – Спец випуск. Том 1. – С. 290-295.
- 3 Крижанівський Є.І., Тараєвський О.С. Вплив нерівномірності газоспоживання на напружений стан трубопроводу // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – №3(12). – С.31-34.
- 4 Галиуллин З.Т., Леонтьев Е.В. Интенсификация магистрального транспорта газа. – М.: Недра, 1991. – 272 с.