

Як показали дослідження (рис. 2, 4), ЕП початку руйнування практично не залежить від  $\sigma_a$ , що дає підстави прогнозувати залишкову довговічність у корозійному середовищі за кінетичними кривими ЕП.

Швидкоплинні процеси на початкових стадіях корозійної втоми, добре простежувані за кінетичними кривими деформації, кінетика ЕП ілюструє не найкраще, через інерційність цього параметра.

Таким чином, можна зробити узагальнюючі висновки.

1. Поведінка сталі трубопроводу при статичному та низькочастотному навантаженні в корозійному середовищі розкривається за допомогою кривих  $\varepsilon(\sigma_a) - t(N)$ ,  $-E - t(N)$  під різним кутом зору, що особливо важливо для розвитку теорії низькочастотної корозійної втоми.

2. Розглянуті явища вказують на недостатність класичних методів розрахунку на міцність несучих елементів конструкцій морських трубопроводів за пружним чи пластичним станом та на необхідність їх доповнення новими методами, які враховують деградацію трубних сталей.

### Література

1. Скрипник І. Д. Розробка методів оцінки деградації конструкційних матеріалів та їх довговічності в агресивному середовищі під тривалим статичним навантаженням: Автореф. дис. докт. техн. наук: 01.02.04 / НАН України, Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка. – Львів, 2000. – 39 с.

дартні статичні характеристики відцентрових нагнітачів природного газу. Такі характеристики не забезпечують вирішення питання оптимі-

2. Orisamoly J. R., Liu Q., Chernuka M. W. Probabilistic residual strength assessment of corroded pipelines // Proc. 5th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., The Hague, June 11-16, 1995. Vol. 4. – Colden (Colo), 1995. – P. 221-228

3. Гареев А.Г. Прогнозирование времени до разрушения магистральных трубопроводов в условиях коррозионно-механических воздействий // Соврем. пробл. бур. и нефтепромысл. мех. / Уфим. гос. нефт. техн. ун-т. – Уфа, 1996. – С. 171-174

4. Зорин Е.Е., Ланчаков Г.А., Степаненко А.И., Шибнев А.В. Работоспособность трубопроводов. – М.: Недра; М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. – 244 с.

5. 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.

6. Крижанівський Є.І., Побережний Л.Я., Ровінський В.А. Удосконалена автоматизована випробувальна система з ЕОМ для дослідження корозійно-механічного руйнування // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2002. – Вип. 1(12). – С. 292-294.

7. Петров Л.М. Фізико-хімічні аспекти механіки корозійного руйнування // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2001. – № 3. – С. 127-129.

УДК 622.691

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОМПРОМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

<sup>1</sup>М.І.Горбійчук, <sup>1</sup>М.І.Козуляк, <sup>2</sup>Є.О.Ковалів

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42331, e-mail: public@ifdtung.if.ua

<sup>2</sup>УМГ "Прикарпаттрансгаз", 76000, м. Івано-Франківськ, вул. Незалежності, 48, тел. (03422) 22386, 25451, факс (0342) 559088

*Разработана методика построения математической модели процесса компримирования природного газа, базирующаяся на данных журнала диспетчера. Методика опробована на примере Богородчанского ЛУМГ.*

*The method of application of constructing of mathematical model of the process of contraction of gas distillate basing on data's of a journal of the manager is designed. The method of application is tested on an example Bogorochanu's linear management of gas mains.*

Оптимізація процесу компримування природного газу забезпечує до 2% економії енергетичних ресурсів. Вирішити проблему оптимізації можна лише в тому випадку, коли відомі математичні моделі роботи компресорних станцій (КС). Як правило, для оптимізації технологічного режиму КС використовують [1] стан-

зації в повному обсязі. По-перше, за допомогою таких характеристик неможливо сформувати вартісні показники роботи КС, а по-друге, ввести обмеження на технологічні параметри. Крім того, спостерігається значне відхилення (до 17% [2]) стандартних характеристик від реальних.

Таким чином, для вирішення проблеми оптимізації процесу компримування газу необхідно створити математичну модель такого процесу, яка базувалася би на даних, що отримані в умовах експлуатації КС.

Компресорні станції (КС) в переважній більшості оснащені відцентровими нагнітачами природного газу.

Розглянемо  $i$ -тий нагнітач як об'єкт керування, який характеризується керуючою дією – швидкістю обертання вала нагнітача  $n_i$  та зовнішніми впливами  $\xi_{ij}$ , де  $j$  – номер зовнішнього впливу для  $i$ -го нагнітача;  $j = \overline{1, K}$ ;  $K$  – кількість зовнішніх впливів.

Сукупність величин  $n_i$  та  $\xi_{ij}$  утворюють групу вхідних величин нагнітача. Реакція керуваного об'єкта на вхідні величини характеризується певними показниками роботи нагнітача – вихідними величинами  $y_{is}$ ,  $s = \overline{1, n}$ , де  $n$  – кількість вихідних величин.

Зміст вихідних величин нагнітача визначає задача оптимального керування. Розглянемо два типи нагнітачів з газотурбінним приводом (ГТП) і з електроприводом (ЕП).

Для першої групи нагнітачів вихідними величинами будуть: витрата паливного газу; температура газу на виході із нагнітача; температура вихлопних газів ГТП; продуктивність нагнітача.

Для другої групи нагнітачів відповідно будемо мати: потужність привода нагнітача; температура газу на виході із нагнітача; продуктивність нагнітача; струм привода нагнітача.

Кожна із перерахованих вихідних величин є функцією керуючої дії  $n_i$  та зовнішніх впливів  $\xi_{ij}$ ,

$$y_{is} = \varphi_{is}(n_i, \xi_{ij}). \quad (1)$$

Проведений аналіз літературних джерел і роботи компресорних станцій Богородчанського ЛУМГ виявив, що для нагнітачів з ГТП – витрата паливного газу  $q$ , температура газу на виході нагнітача  $t_z$ , продуктивність нагнітача  $Q$  є функціями числа обертів вала нагнітача  $n$ , температури газу на вході в нагнітач  $t_{z.в.}$ , ступеня стискування газу  $\varepsilon$ , тиску газу на вході в нагнітач  $p_{z.в.}$  та температури навколишнього середовища  $t_c$ , тобто:

$$\{g, t_z, Q\} = \varphi_i(n, t_{z.в.}, \varepsilon, p_{z.в.}, t_c), \quad i = \overline{1, 3}. \quad (2)$$

Відповідно для температури вихлопних газів будемо мати

$$t_{вих.г} = \varphi_4(n, \varepsilon, p_{г.в.}, t_c). \quad (3)$$

Зауважимо, що на відміну від робіт [1, 2] в математичні моделі включена температура навколишнього середовища. Значний вплив  $t_c$  на роботу ГТП відзначено в [3]. В процесі побудо-

ви математичних моделей (2) і (3) це припущення авторів повністю підтвердилось.

Аналогічний аналіз роботи нагнітачів з ЕП засвідчив, що вони характеризуються такими вихідними параметрами, як потужність привода нагнітача  $N_{наг}$ , продуктивність нагнітача  $Q$ , температура газу на виході із нагнітача  $t_z$  та струм споживання приводом нагнітача  $I_{наг}$ .

Ці вихідні величини є функціями вхідних величин

$$\{N_{наг}, Q\} = f_i(p_{z.в.}, \varepsilon, n, t_c), \quad (4)$$

$$t_z = f_z(t_{z.в.}, \varepsilon, p_{z.в.}, n, t_c), \quad (5)$$

$$I_{наг} = f_i(\varepsilon, p_{z.в.}, n). \quad (6)$$

Задача полягає в тому, щоб за результатами експериментального дослідження ідентифікувати залежності (2) – (6).

Для математичного опису залежностей (2)-6) використаємо багатовимірну нелінійну апроксимацію, яка має вигляд многочлена

$$y = \sum_{s=1}^k a_s \prod_{i=1}^N u_i^{q_{is}}, \quad (7)$$

де:  $a_s$  – коефіцієнти полінома (параметри моделі);

$q_{is}$  – невід'ємні цілі числа, які обмежені величинами  $Q_i$

$$0 \leq q_{is} \leq Q_i.$$

Степінь полінома необхідно обмежити через вимогу, щоб сумарний степінь поліномів не перевищував задану величину

$$\sum_{i=1}^N q_{is} \leq Q^0, \quad s = \overline{1, k}.$$

Тепер задача вибору типу апроксимуючої залежності зводиться до вибору величини  $Q^0$  при відомому числі вхідних змінних  $N$ .

Якщо вибрана величина  $Q^0$ , то задача побудови математичної моделі зводиться до обчислення невідомих коефіцієнтів в залежності (7).

Стосовно способу одержання необхідного матеріалу для побудови моделі (7) можна говорити про активні і пасивні експерименти.

Аналіз моделей (2)-(6) засвідчує, що реалізувати активний експеримент в умовах роботи нагнітача в газовій мережі неможливо, оскільки ряд параметрів ( $p_{z.в.}, t_{z.в.}$ ) задаються режимом роботи попередньої КС, а  $t_c$  принципово неможливо змінювати в бажаному напрямку. Оскільки реалізувати активний експеримент на об'єкті (нагнітачі) неможливо, розумною альтернативою є використання природних змін для побудови математичної моделі нагнітача.

Після того, як вибрана структура математичної моделі, що описує функціональну зале-

жність між виходом об'єкта і його входами, задача ідентифікації зводиться до обчислення коефіцієнтів рівняння регресії (7) за даними журналу диспетчера. Як критерій наближення рівняння регресії (7) до результатів спостережень  $u_i, i=1, N_a$ , де  $u_i$  – вхідні величини нагнітача, що включені в залежність (7), використовують величину

$$I(\hat{a}) = \sum_{i=1}^{N_a} (\tilde{y}_i - y_i)^2, \quad (8)$$

де:  $\hat{a}$  – вектор оцінок параметрів математичної моделі (7);

$\tilde{y}_i$  – значення вихідних величин, які отримані за результатами спостережень;

$y_i$  – обчислені значення вихідної величини за рівнянням (7) на множині значень вхідних величин;

$N_a$  – кількість точок спостережень.

Критерій наближення (8) подамо як квадрат модуля вектора  $\bar{e} = \tilde{Y} - \bar{Y}$ ,  $I(\hat{a}) = |\bar{e}|^2$ , або

$$I(\hat{a}) = |\tilde{Y} - \bar{Y}|^2 = (\tilde{Y} - \bar{Y})^T (\tilde{Y} - \bar{Y}). \quad (9)$$

Вектор  $\bar{e}$  має компоненти  $e_i, i=1, N_a$ , які можна трактувати як адитивні шуми, що покладаються на результати спостережень.

В рівнянні (9)  $\tilde{Y}$  – вектор спостережень, а  $\bar{Y} = F\bar{a}$ , де  $F$  – матриця, елементи якої – значення поліномів  $\prod_{i=1}^N u_i^{q_{is}}$ , які обчислені на множині значень вхідних величин.

Якщо значення  $\bar{Y}$  підставити в критерій наближення (9) і мінімізувати його за вектор-змінною  $\hat{a}$ , тоді отримаємо [4]

$$\hat{a} = CF^T \tilde{Y}, \quad (10)$$

де:  $C = M^{-1}$  – дисперсійна матриця;

$M = F^T F$  – матриця Фішера.

Оцінки параметрів моделі (7), отримані за формулою (10) шляхом мінімізації критерію наближення (8), мають назву методу найменших квадратів (МНК).

Числові дані, що утворюють вектор  $\bar{Y}$ , мають лише правильне число кінцевих розрядів: наступні розряди ніяк не визначені і відповідно довільні. Це характерна для практики побудови математичних моделей ситуація. Вона пов'язана з обмеженою точністю спостережень та обчислень.

Формула (10) отримана як розв'язок матричного рівняння

$$M\hat{a} = F^T \tilde{Y}. \quad (11)$$

Якщо б вектор  $\tilde{Y}$  вимірювався точно, то оцінка  $\hat{a}$  співпадала б з його значенням  $\bar{a}$  і задовольняла б рівнянню  $M\bar{a} = F^T \bar{Y}$ . Оскільки  $\tilde{Y} = \bar{Y} + \bar{e}$ , то  $\hat{a} = \bar{a} + \delta\bar{a}$ . Тому рівняння (11)

буде таким:  $M(\bar{a} + \delta\bar{a}) = F^T (\bar{Y} + \bar{e})$ . У відповідності з (10)  $\bar{a} + \delta\bar{a} = CF^T (\bar{Y} + \bar{e})$ . Оскільки  $\bar{a} = CF^T \bar{Y}$ , то  $\delta\bar{a} = CF^T \bar{e}$ . Для оцінки величини  $\delta\bar{a}$  скористаємося однією зі спільних векторних і матричних норм:  $|\delta\bar{a}| \leq |C| \cdot |F^T \bar{e}|$ . А для визначення відносного ефекту впливу  $\bar{e}$  на визначення  $\hat{a}$  скористаємося співвідношенням  $|F^T \bar{Y}| \leq |M| \cdot |\bar{a}|$ . Поділивши попередню нерівність на останню і виконавши нескладні перетворення, отримуємо

$$\frac{|\delta\bar{a}|}{|\bar{a}|} \leq |M| \cdot |C| \cdot \frac{|F^T \bar{e}|}{|F^T \bar{Y}|} \leq |M| \cdot |C| \cdot \frac{|\bar{e}|}{|\bar{Y}|}. \quad (12)$$

Припустимо, що збурюється матриця  $M$  на величину  $\delta M$ . Тоді

$$(M + \delta M)(\bar{a} + \delta\bar{a}) = F^T \bar{Y}.$$

Звідси

$$\delta\bar{a} = -C\delta M(\bar{a} + \delta\bar{a}).$$

Відповідно

$$\frac{|\delta\bar{a}|}{|\bar{a} + \delta\bar{a}|} \leq |C| \cdot |\delta M|.$$

Якщо ввести відносне збурення матриці  $\delta M$ , то

$$\frac{|\delta\bar{a}|}{\bar{a} + \delta\bar{a}} \leq |M| \cdot |C| \frac{|\delta M|}{|M|}. \quad (13)$$

Аналіз співвідношення свідчить, що при збуренні як матриці  $M$ , так і вектора  $\bar{Y}$  відносна зміна  $\delta\bar{a}$  оцінки параметрів моделі визначається величиною  $|M| \cdot |C| = |M| \cdot |M^{-1}|$ . Число  $\text{Cond}(M) = |M \cdot M^{-1}|$  називають [5] числом обумовленості матриці.  $\text{Cond}(M)$  характеризує максимальний ефект від збурення  $\bar{Y}$  і  $M$  при визначенні  $\hat{a}$ . При великому  $\text{Cond}(M)$ , як це впливає із співвідношення (12) і (13), навіть при малих збуреннях  $\bar{Y}$  і  $M$  значення  $\hat{a}$  може значно відрізнитись від свого точного значення  $\bar{a}$ . Матриця  $M$  з малим  $\text{Cond}(M)$  буде добре обумовленою, а з великим  $\text{Cond}(M)$  – погано обумовленою.

Таким чином, якщо матриця  $M$  погано обумовлена, то це може породити некоректно поставлену задачу. Процес перетворення некоректної задачі в коректну носить назву регуляризації задачі. Одним із способів регуляризації МНК – задачі є використання сингулярного розкладу матриці [6].

МНК дає можливість визначити параметри математичної моделі (7), коли структура вибрана. Таке жорстке обмеження методу може стати на заваді при побудові конкретної моделі. Наприклад, при  $Q = 2$  точність моделі (7) може бути незадовільною, а при  $Q = 3$  кількість

коефіцієнтів моделі може бути надлишковою. В такій ситуації необхідно послідовно відбирати поліноми і включати їх в модель (7) до досягнення бажаної точності моделі. Таку можливість надає метод, який носить назву – метод ортогоналізації [4,7]. Ортогоналізація здійснюється послідовно. Після кожного кроку обчислень знаходять коефіцієнти моделі (7), які побудовані на основі ортогональних функцій. Відтак за певним критерієм в математичну модель включається найкраща із функцій. В кінцевому підсумку визначаються не тільки включені поліноми в модель (7), а також її коефіцієнти.

Математичні моделі процесу компромуння газу побудовані на прикладі КС Богородчанського ЛУМГ, яке є газовим вузлом з трьома компресорними станціями КС-39 “Прогрес”, КС-21 “Союз”, і КС-39 “УПУ” і які відповідно оснащені такими типами нагнітачів: 650-21, RF-2BB-30, PCL-804. Вимірюються витрати кожного із газових потоків, які поступають на кожну компресорну станцію, а також добові витрати газу, що необхідні для роботи газотурбінних агрегатів. На КС-39 “Прогрес” установлений електричний привод, де ведеться облік спожитої електроенергії.

Оскільки на кожній із КС ведеться сумарний облік газу, що перекачується, та сумарні витрати паливного газу, то при створенні математичних моделей нагнітачів робилося припущення, що статичні характеристики однотипних нагнітачів є ідентичні. Тому для кожної групи нагнітачів визначались усереднені значення як вхідних, так і вихідних величин.

Аналіз змін значень технологічних параметрів засвідчив, що такі зміни є досить значними і коливаються в межах від 15 до 75% відносно середніх величин технологічних параметрів, а це створює передумови побудови математичних моделей нагнітачів на основі даних журналу диспетчера.

Оскільки отримані математичні моделі нагнітачів будуть використовуватись в задачі оптимізації, то важливо отримати не тільки коефіцієнти рівняння (7), а й степені поліномів при цих коефіцієнтах.

Все програмне забезпечення задачі ідентифікації створено в середовищі системи Matlab. Для побудови математичної моделі, яка із максимальною точністю відтворює результати спостережень, використовувались три методи: МНК-метод, МНК-метод з сингулярним розкладом матриці  $F$  та метод ортогоналізації.

Для оцінки точності моделі може слугувати величина

$$\delta_i, \% = \frac{\tilde{y}_i - y_i}{\tilde{y}_i} \cdot 100\%, \quad i = \overline{1, N_a}$$

де:  $\tilde{y}$  – експериментальні значення вихідної величини;

$y$  – обчислені значення вихідної величини згідно з рівнянням математичної моделі.

Така оцінка є точковою і не завжди призводить до правильних висновків. Оскільки за-

галом задовільна апроксимація результатів спостережень може мати місце в окремих точках, з тих чи інших причин відхилення від середніх значень є відносно значними. Такі похибки можуть виникнути як результат суб'єктивних промахів при заповненні журналу оператора; від асинхронності записів даних; від неправильного вибору точок контролю, наприклад, витрати і т.д. В цій ситуації доцільно використовувати не точковий, а інтегральний показник

$$\delta_{cp}, \% = \frac{1}{N_a} \sum_{i=1}^{N_a} |\delta_i, \%|.$$

Величина  $\delta_i, \%$  взята за модулем, щоб виключити взаємне компенсування додатних і від'ємних значень величин  $\delta_i$ .

Інший спосіб оцінки точності моделі – це обчислення кореляційного зв'язку між величинами  $\tilde{y}_i$  і  $y_i$ . При точному співпаданні значень  $\tilde{y}_i$  і  $y_i$  на координатній площині  $\tilde{y}, y$  будемо мати пряму лінію. У випадку, коли дані спостережень апроксимовані з певною похибкою, будемо мати відхилення точок на площині  $(\tilde{y}, y)$  від прямої лінії. Це означає, що при точному співпаданні значень  $\tilde{y}$  і  $y$  коефіцієнт кореляції  $k_{\tilde{y}y}$  дорівнює одиниці. При відхиленні таких значень від прямої лінії значення коефіцієнта кореляції  $k_{\tilde{y}y}$  буде менше одиниці. Чим більше розсіювання, тим менша точність апроксимації і відповідно менший коефіцієнт кореляції.

Результатами обчислень є коефіцієнти  $a_s, s = \overline{1, k}$  математичної моделі (7) і матриці показників  $Q_p$  вибраних поліномів. В таблиці наведені результати таких обчислень.

Аналіз таблиці засвідчує, що МНК-метод і МНК-метод з сингулярним розкладом матриці  $F$  дають однакові результати при  $Q = 2$  і  $Q = 3$ . Відмінність результатів обчислень за цими методами з'являється лише при  $Q = 4$ . Характерним є те, що в окремих випадках обчислення параметрів моделі за названими методами оцінка точності моделі за критерієм  $k_{\tilde{y}y}$  дає приблизно однакові результати. Це пояснюється тим, що в першому і другому випадках коефіцієнти моделі (7) мають однакові значення, крім коефіцієнта  $a_0$ , при якому функція  $f_0(\bar{u}) \equiv 1$ . Це призводить до паралельного зсуву лінії регресії відносно лінії регресії, яка отримана за МНК-методом за сингулярним розкладом матриці  $F$ .

Приклади графіків залежності температури природного газу на виході із нагнітача від технологічних параметрів зображені на рисунку.

При виборі математичної моделі бралися до уваги такі критерії відбору: мінімальне значення середньої похибки апроксимації; мінімальне

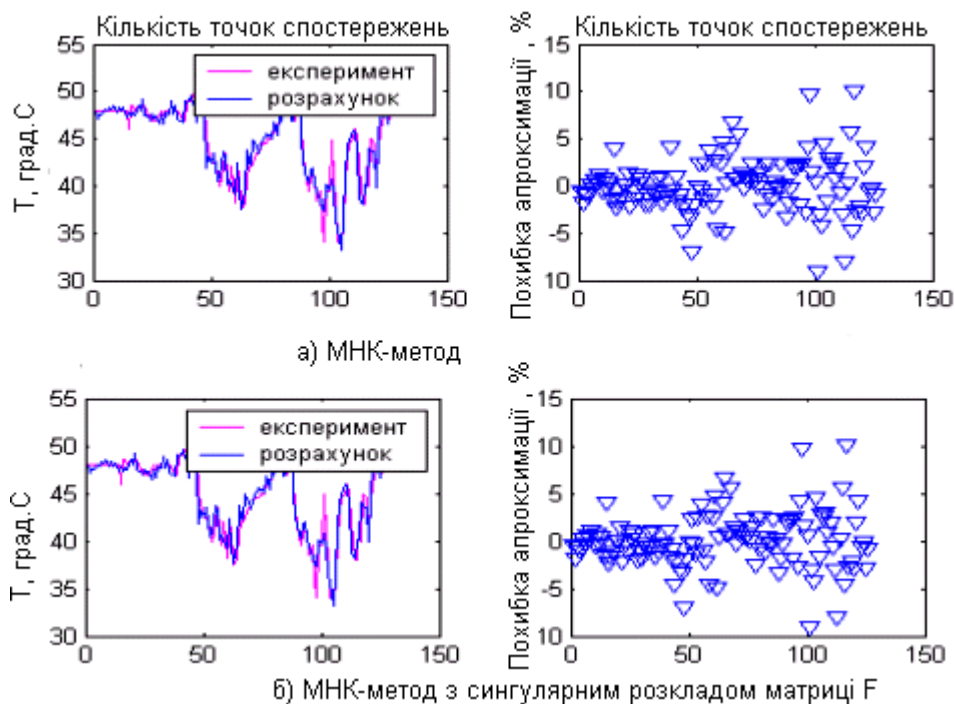
значення коефіцієнта кореляції  $k_{\tilde{y}y}$ ; мінімальна кількість коефіцієнтів. Якщо виявлялося, що три методи забезпечують близькі результати за точністю, то перевагу мала математична мо-

дель з мінімальним числом коефіцієнтів.

Література

Таблиця – Результати ідентифікації процесу компронування газу

Назва математичної моделі	N	Q	МНК-метод		МНК-метод з сингулярним розкладом $\delta, \%(k_{\tilde{y}y})$	Q	Метод ортогоналізації	
			кількість коефіцієнтів	$\delta, \%(k_{\tilde{y}y})$			кількість коефіцієнтів	$\delta, \%(k_{\tilde{y}y})$
Витрата паливного газу (нагнітач RF-2BB-30 КС-21 "Союз")	5	2	21	3.31 (0.76)	3.31 (0.76)	3	52	0.61 (0.99)
Температури газу на виході з нагнітача RF-2BB-30	5	2	21	1.63 (0.95)	1.63 (0.95)	2	19	1.65 (0.907)
Температура вихлопних газів (нагнітач RF-2BB-30)	4	4	70	13.06 (0.95)	1.03 (0.97)	3	35	1.05 (0.911)
Продуктивність нагнітача RF-2BB-30 (КС-21 "Союз")	5	2	21	15.5 (0.71)	15.5 (0.71)	3	28	3.27 (0.97)
Витрата паливного газу (нагнітач PCL-804 КС-39 "Прогрес")	5	2	21	0.97 (0.85)	0.97 (0.89)	3	26	0.82 (0.82)
Температура газу після нагнітача PCL-804 (КС-39 "УПУ")	5	2	21	0.71 (0.9)	0.71 (0.9)	2	14	1.05 (0.61)
Температура вихлопних газів (PCL-804 КС-39 "УПУ")	4	4	70	48.7 (0.50)	1.36 (0.84)	3	18	1.67 (0.78)
Продуктивність нагнітача PCL-804, КС-39 "УПУ"	5	2	21	1.08 (0.91)	1.08 (0.91)	3	17	1.03 (0.82)
Потужність приводу нагнітача 650-21 (КС-39 "Прогрес")	4	3	35	1.71 (0.97)	1.71 (0.97)	3	30	1.73 (0.94)
Продуктивність нагнітача 650-21 (КС-39 "Прогрес")	4	4	70	7.07 (0.85)	7.05 (0.65)	4	35	7.86 (0.33)
Температура на виході нагнітача 650-21 (КС-39 "Прогрес")	5	3	56	1.69 (0.83)	1.68 (0.83)	3	34	1.84 (0.79)
Струм приводу нагнітача 650-21 (КС-39 "Прогрес")	3	4	35	2.075 (0.87)	2.075 (0.67)	4	33	2.76 (0.63)



1. Гарляускас А.И. Математическое моделирование оперативного и перспективного планирования транспорта газа. – М.: Недра, 1975. – 160с.

2. Сухарев М.Г., Ставронский Е.Р., Бринских Е.В. Оптимальное развитие систем газоснабжения. – М.: Недра, 1981. – 294с.

3. Газотурбинные установки. Справочное пособие / Под ред. Л.В.Арсеньева, В.Г.Тырышкина. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с.

4. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Под. ред. Э.К.Лецкого. – М.: Мир., 1977. – 552 с.

5. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация / Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509 с.

6. Лоусон Ч., Хенсон Н. Численное решение задач метода наименьших квадратов / Пер. с англ. – М.: Наука, 1985. – 232 с.

7. Горбійчук М.І. Моделювання об'єктів і систем керування в нафтовій і газовій промисловості: Навчальний посібник в 3-х томах. – Івано-Франківськ: Факел, 1999. – Т.1 – 149 с.; Т.2 – 226 с.; Т.3 – 235 с.

УДК 550.8.05

## НОВІ ЕЛЕМЕНТИ ТЕКТОНІКИ СКЛАДЧАСТИХ КАРПАТ ЗА ГРАВІМАГНІТНИМИ ДАНИМИ

С.Г.Баб'юк, В.П.Степанюк, С.Г.Анікеєв

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067,  
e-mail: public@ifdtung.if.ua

*Сопоставлены современные тектонические построения Украинских Карпат с картами аномалий поля силы тяжести и магнитного поля. Выявлены новые поперечные разломы.*

*Детализация структурно-тектонического строения нефтегазоперспективных регионов направлена на повышение эффективности поисков и разведки новых месторождений нефти и газа.*

*The modern tectonic of construction of the Ukrainian Carpathians to maps of anomalies of the gravity and magnetic fields are compared. The new cross breaks are revealed.*

*The detailed elaboration tectonic structures of a perspective oil and gas regions is directed on increase of efficiency of searches and investigation of new deposits of oil and gas.*

Серед дослідників тектонічної будови поширена думка, що аномальне магнітне поле Українських Карпат слабодиференційоване та малоінформативне. З першою тезою, в принципі, можна погодитись, але якщо зважати на високу точність вимірювань і значне простягання аномалій у плані, то аномалії невеликої амплітуди у 5÷10 нТл можна брати до геологічної інтерпретації. Друга теза викликає низку заперечень. Авторам невідомі праці з детальним аналізом геомагнітного поля. Так, Круглов С.С. із співавторами [1,2] опису геомагнітного поля Карпат приділяє буквально кілька речень. У цій роботі звернуто увагу на інтенсивність поля, а не на морфологію аномалій, яка є визначальною при вивченні природи магнітних аномалій. Крупський Ю.З. у своїй монографії, присвяченій геодинаміці Карпат [3], взагалі не бере до уваги геомагнітне поле. А це основні праці останніх років.

На рис. 1 наведено порівняння карти магнітних аномалій з тектонічною картою Круглова С.С. У межах Східно-Європейської платформи аномальне магнітне поле додатне, інтенсивністю 100-250нТл. Приблизно по лінії Львів – Івано-Франківськ мозаїчне магнітне аномальне поле змінюється на нечітко виражені лінійновитягнуті аномалії низької інтенсивності (0-50 нТл), яка зростає на північному заході до 100-120 нТл.

У межах Передкарпатського прогину магнітне поле має різний характер. Так, у південно-східній частині прогину спостерігається низькоінтенсивне магнітне поле у 0-50 нТл. Така картина зберігається до широти Долини – Болехова. Далі на північний захід у межах Бориславсько-Покутської зони і Скибових Карпат спостерігається градієнтне поле з північно-західним простяганням і зі зменшенням інтенсивності напруженості поля в південно-західному напрямі. Слід зазначити, що навіть задовільної узгодженості між характером магнітного аномального поля та заляганням геоструктурних зон (покривів) не спостерігається, лише дещо корелює простягання ізодинам та насувних зон. Вглиб внутрішніх зон флішових Карпат інтенсивність геомагнітного поля понижується до –200 нТл, і ця кореляція втрачається. Ізодинами перетинають практично всі зони Закарпаття і концентруються високоінтенсивними максимумами навколо Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма.

Загалом аномальне геомагнітне поле Карпатського регіону досить неоднорідне за інтенсивністю й асиметричне за формою та простяганням ізодинам, їхньою градієнтністю. У межах платформного обрамлення воно переважно додатне, у межах Закарпаття – від'ємне.

З метою більш детального аналізу геомагнітного поля нами здійснений поділ поля на