

# Наука — виробництву

---

---

УДК 621.643.8

DOI: 10.31471/1993-9973-2022-3(84)-52-57

## ОПТИМІЗАЦІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ

М. С. Чернецький

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. +38 096 64700165,  
e-mail: Michael.Chernetskyi@gmail.com

Розглядаються питання оптимізації обслуговування зосереджених об'єктів (кранових вузлів, переходів) на лінійній частині магістрального газопроводу та складної газотранспортної системи. Показано, що зосереджені елементи на лінійній частині газопроводу вимагають підвищеної уваги в процесі технічного обслуговування, оскільки їх вартість як функціональних і керованих елементів більша порівняно з трубопроводом, і для них здебільшого характерні приховані відмови, що несуть суттєву потенційну екологічну небезпеку та призводять до економічних перевитрат на транспортування газу. Завданням є вибір раціональних стратегій контрольно-відновлювальних заходів на елементах лінійної частини, оцінки їх ефективності і планування технічного обслуговування лінійної частини із зосередженими об'єктами для досягнення оптимальних результатів. Вказана задача вирішується на основі теорії обслуговування складних систем з використанням побудови графів. Розширення поняття відмови елемента (зосередженого об'єкта) лінійної частини шляхом введення прихованих і функціональних відмов призводить до істотної відміни функції надійності, яка є основою безперебійного забезпечення споживачів природним газом і дотримання екологічної безпеки газотранспортної системи. Визначення оптимальної періодичності контрольно-відновлювальних заходів зводиться до стандартної екстремальної задачі, рішення якої відповідає мінімальному значенню функції мети, сформованої на основі питомих затрат на транспортування газу з урахуванням його втрат через приховані відмови і його травлювання в ході проведення ремонтних робіт. В результаті запропоновано метод оптимізації обслуговування зосереджених об'єктів у комплексі з лінійною частиною газопроводу.

Ключові слова: магістральний газопровід, лінійна частина, зосереджений об'єкт, приховані відмови, обслуговування, функція мети, оптимізація.

*The issues of maintenance optimizing of concentrated objects (crane nodes, transitions) on the linear part of the main gas pipeline and the complex gas transportation system have been considered. It has been shown that the concentrated elements on the linear part of the gas pipeline require increased attention in the process of maintenance due to the fact that these are, as a rule, functional and controlled elements, the cost of which is higher compared to the pipeline. They are characterized mainly by hidden failures, which carry a significant potential environmental hazard and lead to economic overspending on gas transportation. The task of choosing rational strategies for control and recovery measures on the elements of the linear part, evaluating their effectiveness, and planning maintenance of the linear part with concentrated objects to achieve optimal results is set. This problem is solved based on the theory of complex systems maintenance using graph construction. Expanding the concept of an element (concentrated object) failure of the linear part by introducing hidden and functional failures leads to a significant cancellation of the reliability function, which is the basis of the uninterrupted supply of natural gas to consumers and compliance with the environmental safety of the gas transportation system. Determining the optimal periodicity of control and restoration measures is reduced to a standard extreme problem, the solution of which corresponds to the minimum value of the objective function formed based on the specific costs of gas transportation, taking into account its losses due to hidden failures and its draining during the repair work. As a result,*

*a method of optimizing the maintenance of concentrated objects in a complex with the linear part of the gas pipeline is proposed.*

Key words: main gas pipeline, linear part, concentrated object, hidden failures, maintenance, objective function, optimization.

### Вступ

Необхідність окремого розгляду процесу обслуговування елементів лінійної частини (зосереджених об'єктів) викликана наступними обставинами: по-перше, зосереджені об'єкти є, як правило, технічно більш складними пристроями (більшої вартості), ніж просто ділянка труби [9], по-друге, для забезпечення їхнього функціонування необхідна наявність тих чи інших допоміжних споруджень, систем, елементів [10,11,14], по-третє, найчастіше елементи лінійної частини є більш відповідальними елементами системи стосовно забезпечення безпеки і екологічності (переходи, конденсатозбірники та ін.) [12], по-четверте, для зосереджених об'єктів лінійної частини характерні так звані сховані відмови (відмови спрацьовування, функціональні відмови) [6,7], по-п'яте, зосереджені об'єкти лінійної частини мають специфіку в технології і порядку проведення відновлювальних, контрольних і профілактичних робіт [13,15].

### Постановка задачі

З огляду на викладене вище, задача вибору індивідуальних стратегій контрольньо-відновлювальних заходів на елементах лінійної частини, оцінки ефективності контрольньо-відновлювальних заходів у рамках обраної стратегії і спільного планування режиму обслуговування лінійної частини і зосереджених об'єктів з метою досягнення оптимальних стосовно народногосподарської ефективності результатів є актуальною.

З урахуванням схеми відмов елементів лінійної частини пропонується дві альтернативні стратегії обслуговування зосереджених об'єктів, що найбільш повно описують процес експлуатації магістральних газопроводів відповідно до вимог діючих нормативних документів і реальної практики виробництва.

Стратегія контрольньо-відновлювальних заходів зосереджених об'єктів лінійної частини характеризується сукупністю станів об'єктів обслуговування і їх структурно-логічними зв'язками.

Перша стратегія контрольньо-відновлювальних заходів зосереджених об'єктів лінійної частини під назвою "контроль-профілактика-ремонт" формується в такий спосіб:

- на зосереджених об'єктах лінійної частини магістральних газопроводів здійснюється строго періодичний контроль стану об'єктів з періодом  $\delta$  у поєднанні з профілактичними роботами загальною вартістю  $Z_{\text{проф}}$ ;

- якщо на момент контролю об'єкт відмовив, виконується відновлювальний ремонт у необхідному обсязі вартістю  $Z_{\text{от}}$ .

Як припущення приймаємо абсолютну вірогідність виявлення відмов (прихованих). Після кожного ремонту об'єкт вважаємо цілком відновленим. Будемо враховувати збиток, прямо пропорційний тривалості існування відмови від моменту її появи до моменту виявлення з питомим збитком  $q$ . Ступенева функція  $X(t)$ , що описує процес еволюції станів зосереджених об'єктів лінійної частини в ході обслуговування за даною стратегією має виглядає :

$$X(t) = \begin{cases} E_1 \text{ справний стан об'єкта} \\ E_2 \text{ контроль стану об'єкта} \\ E_3 \text{ відмова (або рівноцінний стан)} \\ E_4 \text{ відновлювальний ремонт} \\ E_5 \text{ профілактика} \end{cases}$$

Граф переходів станів зосереджених об'єктів лінійної частини під час проведення контрольньо-відновлювальних заходів за стратегією "контроль-профілактика-ремонт" представлений на рисунку 1,а.

В випадку, коли немає необхідності у виконанні додаткових профілактичних робіт, доцільно застосовувати іншу стратегію (назвемо її "контроль-ремонт"), що передбачає такий алгоритм:

- проводяться строго періодичні перевірки стану зосереджених об'єктів лінійної частини магістральних газопроводів вартістю  $Z_{\text{пр}}$  і вірогідністю  $P$ ;

- якщо елемент працездатний (чи визнаний таким за результатами перевірки), то не проводиться ніяких впливів (до наступної перевірки);

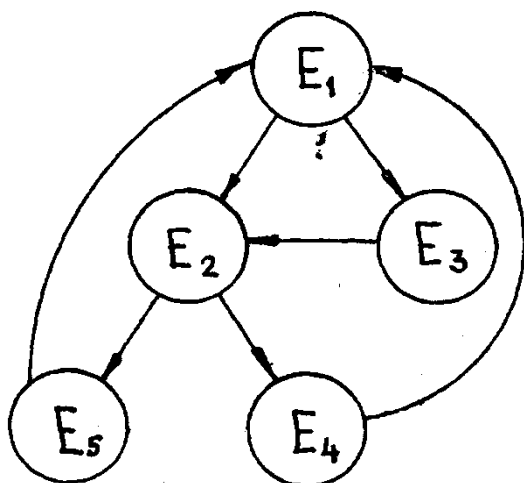
- якщо елемент визнаний таким, що відмов, проводиться відповідний ремонт вартістю  $Z_{\text{рем}}$ .

Якщо наявність відмови впродовж часу від моменту його появи до моменту виявлення в ході перевірки пов'язане з будь-якими втратами, необхідно враховувати збиток від перебування об'єкта в стані відмови.

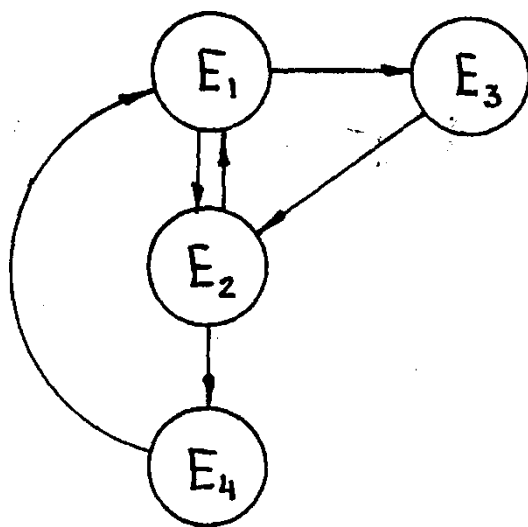
Процес еволюції елемента в ході контрольно-відновлювальних заходів за другою стратегією визначається такими станами:

$$X(t) = \begin{cases} E_1 \text{ справний стан елемента} \\ E_2 \text{ контроль стану} \\ E_3 \text{ відмова (чи адекватний стан)} \\ E_4 \text{ ремонт} \end{cases}$$

Граф переходів (рисунок 1,б) ілюструє основні стани елементів лінійної частини в ході контрольно-відновлювальних заходів.



а)



б)

а - "контроль-профілактика-ремонт";

б - "контроль-ремонт";

$E_1$  - справний стан;

$E_2$  - контроль;

$E_3$  - відмова (рівноцінний стан);

$E_4$  - ремонт;  $E_5$  - профілактика

**Рисунок 1 – Графи переходів стані елементів лінійної частини магістральних газопроводів у ході контрольно-відновлювальних заходів при стратегіях**

**Дослідження**

За показник оцінки ефективності заходів контролю і відновлення зосереджених об'єктів лінійної частини приймаємо середні сумарні питомі витрати  $\bar{Z}_\Sigma$ .

В рамках сформованої стратегії (розрахункової схеми контрольно-відновлювальних заходів) "контроль-профілактика-ремонт" показник  $\bar{Z}_\Sigma^I$ , як функція від періодичності профілактичних перевірок  $\delta$ , визначається в такий спосіб

$$\begin{aligned} \bar{Z}_\Sigma^I(\delta) &= \\ &= \frac{Z_{\text{проф}} \cdot \bar{F}(\delta) + Z_{\text{от}} F(\delta) + q \int_0^\delta (\delta - t) dF(t)}{\delta} = \\ &= \frac{Z_{\text{проф}} + (Z_{\text{от}} - Z_{\text{проф}}) F(\delta) + q \int_0^\delta F(t) dt}{\delta}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\bar{F}(\delta) = 1 - F(\delta)$  - функція надійності (імовірність безвідмовної роботи об'єкта);

$Z_{\text{проф}}$  - середні витрати на профілактичні роботи на елементах лінійної частини;

$Z_{\text{от}}$  - середні витрати на відбудовні роботи при ліквідації відмов і адекватних їм станів;

$q$  - питомий середній збиток від перебування елемента в стані відмови;

$\delta$  - періодичність контрольних перевірок - профілактики.

Слід зазначити, що через розширення нами поняття «відмова елемента» (зосередженого об'єкта) лінійної частини шляхом введення в розрахункову схему прихованих і функціональних відмов, значення функції надійності  $\bar{F}(\delta)$  істотно відрізняються від показників безвідмовності, розглянутих раніше. З врахуванням прийнятого раніше припущення про найпростіший потік появ ушкоджень на об'єктах лінійної частини, функція розподілу випадкового наробітку на відмовлення має вигляд:

$$F(t) = 1 - e^{-bt}, \quad (2)$$

де  $b$  - інтенсивність потоку відмов (усіх типів) на зосереджених об'єктах лінійної частини.

З врахуванням (2) величина  $\bar{Z}_\Sigma^I(\delta)$  визначається

$$\begin{aligned} \bar{Z}_\Sigma^I(\delta) &= q - \frac{q}{b\delta} + \frac{Z_{\text{от}} - Z_{\text{проф}} + q/b}{\delta} e^{-b\delta} = \\ &= q + \frac{1}{\delta} e^{-b\delta} (Z_{\text{от}} - Z_{\text{проф}}) - \frac{q}{b\delta} (1 - e^{-b\delta}). \end{aligned} \quad (3)$$

Планування контрольно-відновлювальних заходів проводиться в умовах сформованої структури системи технічного обслуговування і ремонту, відомих показників безвідмовності і ремонтпридатності обслуговуваних об'єктів. З врахуванням цього задача підвищення ефекти-

вності контрольно-відновлювальних заходів зводиться до оптимального планування режиму функціонування ремонтно-експлуатаційних підрозділів. Режим функціонування в даному випадку визначається періодичністю (графіка) контрольно-відновлювальних заходів на зосереджених об'єктах лінійної частини [16-18].

Таким чином, визначення оптимальної періодичності контрольно-відновлювальних заходів  $\delta^*$  зводиться до стандартної екстремальної задачі, рішення якої відповідає мінімальному значенню сформованої в (3) функції мети  $\bar{Z}_\Sigma$  за умови

$$\frac{d}{d\delta} \bar{Z} \frac{1}{\Sigma}(\delta) = 0. \quad (4)$$

Аналізуючи (3) легко зрозуміти, що оптимальна періодичність контрольно-відновлювальних заходів в рамках стратегії "контроль-профілактика-ремонт" знаходиться як розв'язок рівняння

$$Z_{\text{проф}} + (Z_{\text{от}} - Z_{\text{проф}} - q\delta^*)F(\delta^*) + q \int_0^{\delta^*} F(t)dt = (Z_{\text{от}} - Z_{\text{проф}})f(\delta^*), \quad (5)$$

де  $f(t) = \frac{d}{dt} F(t)$ .

Причому, значення функції мети в точці екстремуму складає

$$\bar{Z} \frac{1}{\Sigma}(\delta^*) = (Z_{\text{от}} - Z_{\text{проф}})f(\delta^*) + qF(\delta^*). \quad (6)$$

Аналогічним чином розглянемо порядок формування показника ефективності контрольно-відновлювальних заходів на зосереджених об'єктах лінійної частини магістральних газопроводів при стратегії "контроль-ремонт".

Середні питомі витрати на експлуатацію зосереджених об'єктів відповідно до другої стратегії складають [19]

$$\bar{Z} \frac{II}{\Sigma}(\delta) = \frac{3}{t_{\text{ср}}}, \quad (7)$$

де  $3$  - сумарні витрати на проведення відновлювальних ремонтів за результатами періодичних перевірок;

$t_{\text{ср}}$  - середня періодичність проведення ремонтно-відновлювальних робіт [20].

$$3 = \sum_{K=0}^{\infty} \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} dF(t) \times \\ \times [Z_{\text{рем}} + [Z_{\text{пр}} + (K+1) + q[(K+1)\delta - t]] + \\ + [Z_{\text{пр}}(K+2) + q[(K+2)\delta - t]](1-P)P + \\ + [Z_{\text{пр}}(K+3) + q[(K+3)\delta - t]](1-P)^2P + \dots].$$

Або після нескладних перетворень

$$3 = \sum_{K=0}^{\infty} \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} dF(t) \times \quad (8) \\ \times \left[ + \sum_{r=1}^{\infty} [Z_{\text{пр}}(K+r) + q[(K+r)\delta - t]] \times \right. \\ \left. \times (1-P)^{r-1}P \right],$$

де  $\mu_1 = \int_0^{\infty} \bar{F}(t)dt$ .

Крім того,

$$t_{\text{ср}} = \sum_{K=0}^{\infty} \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} dF(t) \times \\ \times [\delta(K+1)P + \delta(K+2)(1-P)P + \\ + \delta(K+3)(1-P)^2P + \dots] = \\ = \sum_{K=0}^{\infty} \int_{K\delta}^{(K+1)\delta} dF(t) \left( K\delta + \frac{\delta}{P} \right) = \\ = \frac{\delta}{P} + \delta \sum_{K=1}^{\infty} \bar{F}(K\delta). \quad (9)$$

Об'єднавши (8) і (9), одержуємо у загальному вигляді вирази для середніх питомих витрат на контрольно-відновлювальних заходів відповідно до другої стратегії обслуговування зосереджених об'єктів лінійної частини

$$\bar{Z} \frac{I}{\Sigma}(\delta) = \\ = \frac{PZ_{\text{рем}} + Z_{\text{пр}} + q\delta + P(Z_{\text{пр}} + q\delta) \sum_{K=1}^{\infty} \bar{F}(K\delta) - Pq\mu_1}{\delta[1 + P \sum_{K=1}^{\infty} \bar{F}(K\delta)]} = \\ = \frac{P(Z_{\text{рем}} - q\mu_1) + (Z_{\text{пр}} + q\delta)[1 + P \sum_{K=1}^{\infty} \bar{F}(K\delta)]}{\delta[1 + P \sum_{K=1}^{\infty} \bar{F}(K\delta)]}. \quad (10)$$

Приймаючи  $\bar{F}(t) = e^{-bt}$ , отримаємо:

$$\sum_{K=1}^{\infty} \bar{F}(K\delta) = \sum_{K=1}^{\infty} e^{-bK\delta} = \\ = \frac{1}{1 - e^{-b\delta}} - 1 = \frac{e^{-b\delta}}{1 - e^{-b\delta}}. \quad (11)$$

У випадку

$$1 + P \sum_{K=1}^{\infty} \bar{F}(K\delta) = \\ = 1 + \frac{Pe^{-b\delta}}{1 - e^{-b\delta}} = \frac{1 - (1-P)e^{-b\delta}}{1 - e^{-b\delta}}. \quad (12)$$

величина  $M_1$  набуває вигляду

$$\mu_1 = 1/b.$$

З врахуванням (10) - (12) перетворюємо вираз (9) і отримаємо

$$\begin{aligned} \bar{3}_{\Sigma}(\delta) &= \\ &= \frac{P \left( 3_{\text{рем}} - \frac{q}{b} \right) + (3_{\text{пр}} + q\delta) \frac{1 - (1 - P)e^{-b\delta}}{1 - e^{-b\delta}}}{\delta \frac{1 - (1 - P)e^{-b\delta}}{1 - e^{-b\delta}}} = \\ &= \frac{P \left( 3_{\text{рем}} - \frac{q}{b} \right)}{\delta} \frac{1 - e^{-b\delta}}{1 - (1 - P)e^{-b\delta}} + \frac{3_{\text{пр}}}{\delta} + q. \end{aligned} \quad (13)$$

Оптимальна періодичність контрольно-відновлювальних заходів  $\delta^*$  (режим функціонування) також визначається з умови

$$\frac{d}{d\delta} \bar{3}_{\Sigma}(\delta) = 0. \quad (14)$$

Особливий інтерес представляє задача контролю-відновлювальних заходів на зосереджених елементах, а саме, лінійній частині магістрального газопроводу. Вирішення цієї задачі полягає у спільному розгляді математичної моделі з оцінки ефективності контрольно-відновлювальних заходів лінійної частини і запропонованих моделей зосереджених об'єктів.

### Висновки

Створено математичну модель стратегій обслуговування лінійної частини газопроводу в комплексі з розміщеними на ній зосередженими об'єктами для оцінки ефективності контрольно-відновлювальних заходів у рамках обраної стратегії і спільного планування режиму обслуговування лінійної частини і зосереджених об'єктів з метою досягнення оптимальних (з огляду народногосподарської ефективності) результатів.

Запропоновано метод реалізації побудованої моделі, що базується на пошуку екстремуму функції мети, яка виражає сумарні середні питомі витрати на контрольно-відновлювальні заходи.

### Література

1. Васильев Г.Г., Шибнев А.В., Яковлев Е.И. Вопросы планирования организации ремонта газопроводов. М.: ВНИИЭГАЗпром, 1989. 59 с.
2. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Пер. с нем. М.: Радио о связь, 1988. 392 с.
3. Райбман Н.С., Чадаев В.Н. Построение моделей процессов производства. М: Энергия, 1976. 374 с.
4. Грудз В.Я., Тымкив Д.Ф., Яковлев Е.И. Обслуживание газотранспортных систем. К.: УМК ВО, 1991. 160 с.

5. Бразилович Е.Ю., Каштанов И.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. М.: Сов. Радио, 1971. 631 с.

6. Volodymyr Grudz, Andriy Zhdek, Vasyly Bolonnyy. Formation of soil pollution area by oil when there is break of airtightness of main pipeline. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. No 7. P. 56-62.

7. Orynyak I.V. Lokhman I.V. The spring splines procedure with prescribed accuracy for determination of the curvatures of the pipeline based on the 3-D measurements of its position. *Rio Pipeline Conference & Exposition*. 2011, IBP1029\_11.

8. Fun Chen, Jinjun Zhang, Fan Zhang. New approach developed for estimating pour points of grucle oil blend. *Oil S Gas Journal*. 2003. No 11. P. 60-64.

9. Березина И.В., Шибнев А.В., Яковлев Е.И. Организация технического обслуживания и ремонта объектов магистральных газопроводов. *Важнейшие научно-технические проблемы газовой промышленности*. 1984. Вып. 8. 52 с.

10. Березин В.Л., Телегин Л.Г., Шибнев А.В. Ретроспективные данные о надежности в задачах выбора стратегии капитального ремонта магистральных трубопроводов. *ЭИ - Линейное трубопроводное строительство*. 1984. Вып. 3. С. 6-9.

11. Энергетична безпека держави: високо-ефективні технології видобування, постачання і використання природного газу / Крижанівський Є.І., Гончарук М.І., Грудз В.Я та ін. Київ: ІнтерпресЛТД, 2006. 282 с.

12. Мазур И.И. Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ «ЕЛИМА», 2004. 1104 с.

13. Сухарев М.Г., Ставровский Е.Р., Брянских В.Е. Оптимальное развитие систем газоснабжения. М.: Недра, 1981. 294 с.

14. Шибнев А. В. Определение потококораспределения и текущего состояния сложных систем газоснабжения. *ЭИ - Транспорт и хранение и использование газа в народном хозяйства*. 1983, № I, С.14-16.

15. Тимашев С.А. Надежность больших механических систем. М.: Наука, 1982. 184 с.

16. Кирия С.З. Перспективные методы и организационные формы ремонта магистральных газопроводов. *Труды МИНГ*. 1989. Вып. 15, С. 153-156.

17. Кирия С. З., Шибнев А.В., Кокжаров А.Д. Оптимизация режима обследования и ремонта магистральных газопроводов. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 1989. № 9. С. 60-62.

18. Кирия С. З., Шибнев А.В., Седых А.А. Выбор рационального режима обследования

системы магистральных трубопроводов по обнаружению свищей и утечек на линейной части. Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции "Методы и технические средства контроля герметичности технологического оборудования, магистральных трубопроводов и массовой продукции". (г. Севастополь), 1989. С. 68-69.

19. Клюк Б.А., Стояков В.М., Тимербулатов Г.Н. Совершенствование организации ремонтных работ на магистральных газопроводах. ЭИ - Транспорт и подземное хранение газа. 1988. № 9. С.1-4.

20. Шубин А.С., Филиппов Ю.С., Комаров Е.И. Метод определения ущерба на предприятиях, ограничиваемых в газоснабжении. Листок Саратовского межотраслевого центра НТИ и пропаганды. 1978, № 43778, 4 с.

### References

1. Vasilev G.G., Shibnev A.V., Yakovlev E.I. Voprosy planirovaniya organizatsii remonta gazoprovodov. M.: VNIIEGAZprom, 1989. 59 p. [in Russian]

2. Bayhelt F., Franken P. Nadezhnost i tehni-cheskoe obsluzhivanie. Matematicheskiy podhod. Per. s nem. M.: Radio o svyaz, 1988. 392 p. [in Russian]

3. Raybman N.S., Chadaev V.N. Postroenie modeley protsessov proizvodstva. M: Energiya, 1976. 374 p. [in Russian]

4. Grudz V.Ya., Tyimkiv D.F., Yakovlev E.I. Obsluzhivanie gazotransportnyih sistem. K.: UMK VO, 1991. 160 p. [in Russian]

5. Brazilovich E.Yu., Kashtanov I.A. Nekotorye matematicheskie voprosy teorii obsluzhivniya slozhnyih sistem. M.: Sov. Radio, 1971. 631 p. [in Russian]

6. Volodymyr Grudz, Andriy Zhdek, Vasyl Bolonnuy. Formation of soil pollution area by oil when there is break of airtightness of main pipeline. Metallurgical and Mining Industry. 2016. No7. P. 56-62.

7. Orynyak I.V. Lokhman I.V. The spring splines procedure with prescribed accuracy for determination of the curvatures of the pipeline based on the 3-D measurements of its position. Rio Pipeline Conference & Exposition . 2011, IBP1029\_11.

8. Fun Chen, Jinjun Zhang, Fan Zhang. New approach developed for estimating pour points of grucle oil blend. Oil S Gas Journal. 2003. No 11. P. 60-64.

9. Berezina I.V., Shibnev A.V., Yakovlev E.I. Organizatsiya tehničkog obsluzhivaniya i remonta ob'ektov magistralnyih gazoprovodov. Vazhneyshie nauchno-tehnicheskie problemyi

gazovoy promyshlennosti. 1984, vyip. 8, 52 p. [in Russian]

10. Berezina I.V., Telegin L.G., Shibnev A.V. Retrospektivnyie dannyye o nadezhnosti v zadachah vyibora strategii kapitalnogo remonta magistralnyih truboprovodov. EI - Lineynoe truboprovodnoe stroitelstvo. 1984, vol. 3, P. 6-9. [in Russian]

11. Enerhetychna bezpeka derzhavy: vysoko-efektyvni tekhnolohii vydobuvannia, postachannia i vykorystannia pryrodnoho hazu / Kryzhanivskiy Ye.I., Honcharuk M.I., Hrudz V.Ia ta in. Kyiv: InterpresLTD, 2006. 282 p. [in Ukrainian]

12. Mazur I.I. Ivantsov O.M. Bezopasnost truboprovodnyih sistem. M.: ITs «ELIMA», 2004. 1104 p. [in Russian]

13. Suharev M.G., Stavrovskiy E.R., Bryanskikh V.E. Optimalnoe razvitie sistem gazosnabzheniya. M.: Nedra, 1981, 294 p. [in Russian]

14. Shibnev A. V. Opredelenie potokoraspre-deleniya i tekushego sostoyaniya slozhnyih sistem gazosnabzheniya. EI - Transport i hranenie i ispolzovanie gaza v narodnom hozyaystva. 1983, No I, P.14-16. [in Russian]

15. Timashev S.A. Nadezhnost bolshih mehanicheskikh sistem. M.: Nauka, 1982, 184 p. [in Russian]

16. Kiriya S.Z. Perspektivnyie metodyi i organizatsionnyie formy remonta magistralnyih gazoprovodov. Trudyi MING, 1989. Vol. 15, P.153-156. [in Russian]

17. Kiriya C. Z., Shibnev A.V., Kokzharov A.D. Optimizatsiya rezhima obsledovaniya i remonta magistralnyih gazoprovodov. Neftepererabotka i neftehimiya. 1989. No9. P.60-62. [in Russian]

18. Kiriya S. Z., Shibnev A.V., Sedyih A.A. Vyibor ratsionalnogo rezhima obsledovaniya sistem magistralnyih truboprovodov po obnaruzheniyu svischey i utechek na lineynoy chasti. Tезисы докладов vsesoyuznoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Metodyi i tehniicheskie sredstva kontrolya germetichnosti tehnologicheskogo oborudovaniya, magistralnyih truboprovodov i massovoy produktsii" . (g. Sevastopol), 1989. P. 68-69. [in Russian]

19. Klyuk B.A., Stoyakov V.M., Timerbulatov G.N. Sovershenstvovanie organizatsii remontnih работ na magistralnyih gazoprovodah. EI - Transport i podzemnoe hranenie gaza. 1988. No 9. P.1-4. [in Russian]

20. Shubin A.S., Filippov Yu.S., Komarov E.I. Metod opredeleniya uscherba na predpriyatiyah, ogranicivaemyih v gazosnabzhenii. Listok Saratovskogo mezhotraslevogo terr. tsentra NTY i propagandyi, 1978, No 43778, 4 p. [in Russian]