

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ РЕМОНТУ БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНОГО УСТАТКУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

О. В. Іванов

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 49358,  
e-mail: informatik@nung.edu.ua

*Проаналізовано вплив розрахункових схем розбиття блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів на вибір раціональних стратегій обслуговування. Доведено доцільність розбиття блочно-комплектного устаткування на елементи різного рівня ієрархії, вибору раціональної схеми розчленування блочно-комплектного устаткування на об'єкти обслуговування, визначення стратегії і режиму обслуговування для кожної схеми. Вирішено двовимірну задачу вибору стратегії обслуговування і місця ремонту блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів за відсутності запасних елементів.*

*З врахуванням конструктивних і експлуатаційних особливостей розроблено і досліджено стратегії технічного обслуговування блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів. В основу формування стратегії покладено двохстадійну модель відмов.*

*Метою роботи є дослідження ефективності і методів ремонту блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів.*

Ключові слова: стратегії обслуговування, ремонт, ГПА, надійність, оптимізація.

*Проанализировано влияние расчетных схем разбивки блочно-комплектного оборудования магистральных газопроводов на выбор рациональных стратегий обслуживания. Доказана целесообразность разбивки блочно-комплектного оборудования на элементы различного уровня иерархии, выбора рациональной схемы расчленения блочно-комплектного оборудования на объекты обслуживания, определение стратегии и режима обслуживания для каждой схемы. Решена двумерная задача выбора стратегии обслуживания и места ремонта блочно-комплектного оборудования магистральных газопроводов при отсутствии запасных элементов.*

*С учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей блочно-комплектного оборудования магистральных газопроводов разработаны и исследованы стратегии технического обслуживания такого оборудования, в основу формирования которых положена двухстадийная модель отказа.*

*Целью работы является исследование эффективности и методов ремонта блочно-комплектного оборудования магистральных газопроводов.*

Ключевые слова: стратегии обслуживания, ремонт, ГПА, узлы, агрегаты, оптимизация.

*In this research the effect of the calculation schemes of splitting block complete equipment gas mains on the choice of rational maintenance strategy was analyzed. The expediency of dividing block-ganged equipment to the elements of different hierarchy levels, as well as that of the choice of the rational scheme of dismemberment of block-ganged equipment for facility maintenance, and of defining the strategy and mode of service for each scheme was also proved in the research. The two-dimensional problem of choice of service strategy and place of repair of block-ganged equipment of main gas pipelines in the absence of spare elements was also solved in the research.*

*Given the design and operational features of block-ganged equipment of main gas pipelines the strategy of maintenance of equipment, the formation of which is based on the two-stage model of failure, was also developed and explored.*

*The research's aim is to investigate effectiveness of repair methods of block-ganged equipment of main gas pipelines.*

Key words: maintenance strategy, repair, gas pumping unit, components, units, optimization.

### Вступ

Одним з основних напрямків технічного прогресу в газотранспортній системі є подальший розвиток агрегатно-вузлового ремонту як основного напрямку удосконалення ремонтно-технічного обслуговування, підвищення якості ремонтів і скорочення термінів простою устаткування в ремонті [1, 2]. В умовах широкого впровадження в газовій промисловості блочно-комплектного устаткування підвищеної ремонтпридатності. Зростає обсяг використання уніфікованих вузлів і блоків та економічна доцільність агрегатно-вузлового ремонту.

Агрегатно-вузловий метод ремонту блочно-комплектного устаткування (БКУ) полягає в

заміні несправних елементів (блоків, агрегатів, вузлів) справними – раніше відремонтованими чи новими з обмінного фонду. Блок (вузол) замінюється в тому випадку, коли для усунення несправності безпосередньо на ГПА потрібно більше часу, ніж на його заміну, і коли ремонт не може бути зроблений у міжзмінний час. Знятий з ГПА несправний блок ремонтують, після чого він надходить в обмінний фонд.

Основними перевагами агрегатного методу є скорочення часу простою ГПА або іншого БКУ в ремонті, що визначається лише часом, необхідним для заміни одного чи декількох несправних елементів. Агрегатний метод майже удвічі скорочує час перебування ГПА в ремонті і підвищує коефіцієнт готовності.

Для виконання ремонту агрегатним методом необхідно мати фонд оборотних елементів, який не скорочується. Обсяг обмінного фонду елементів визначається діючим положенням [3], а також може бути прийнятий таким, як описано і рекомендовано в роботах [4,5].

Підвищена ремонтпридатність блочно-комплектного устаткування, у тому числі і блокових ГПА, сприяє подальшому розвитку агрегатно-вузлового методу ремонту, забезпечує можливість оптимізації рівня ремонту (заміни) БКУ або його елементів.

### Постановка задачі

Результативність ремонтних робіт залежить від організаційно-технологічних принципів їх виготовлення. Саме ці принципи, відбиваючи єдність організаційних форм виробництва, технологічних процесів і оснащення, у кінцевому рахунку визначають зміст усіх етапів і елементів ремонтного циклу, тому виникає необхідність проаналізувати вплив розрахункових схем розбиття блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів на вибір раціональних стратегій обслуговування.

Враховуючи конструктивні і експлуатаційні особливості блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів, потрібно розробити і дослідити вибір місця ремонту вузлів і агрегатів БКУ при різних стратегіях обслуговування.

### Вплив розрахункових схем розбиття блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів на вибір раціональних стратегій обслуговування

Доведено доцільність розбиття БКУ на елементи різного рівня ієрархії для вибору раціональної схеми розчленовування.

Для вітчизняних ГПА блокової конструкції характерні:

- простота розбирання агрегату в умовах компресорної станції;
- мала вага вузлів, які знімаються при капітальному ремонті;
- доступність вузлів, які можливо оглянути при технічному обслуговуванні і ремонті;
- можливість огляду проточних частин без розкриття агрегату;
- можливість очищення фільтрів і інших вузлів у ході роботи;
- взаємозамінність деталей, що швидко зношуються, простота їх заміни.

Перераховані й інші особливості блокових ГПА, а також іншого блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів створюють необхідні передумови для:

- 1) застосування перспективних стратегій обслуговування з перевірками [6];
- 2) оптимізації рівня обслуговування і ремонту (заміни) елементів блочно-комплектного устаткування при фіксованому місці ремонту, тобто вибору раціональної схеми розбиття БКУ на об'єкти обслуговування і ремонту.

Встановлення оптимального рівня замінних елементів і раціональної стратегії обслуговування є комплексною проблемою, що вимагає визначення і кількісного вираження всіх істотних витрат. Під час вибору оптимального рівня замінних елементів необхідно зробити деякі припущення. Габарити деяких блоків або труднощі їх демонтажу і вилучення обумовили те, що вони не розглядалися як можливі замінні елементи. Такі блоки (сюди відносяться також модулі) були виключені з аналізу, але в них у якості замінних елементів були виділені агрегати (вузли). Блоки або їх еквіваленти були вибрані як вищий рівень замінних елементів, оскільки ціна елемента більш високого рівня (тобто суперблоку, пристрою) або об'єкта в цілому робить практично неможливим їх використання як елементів для заміни. В ряді випадків недоцільно відносити блоки до замінних елементів із конструктивних розумінь (наприклад, при наявності нероз'ємних з'єднань з іншими блоками або вузлами). Тоді в якості замінних елементів, які визначені відповідним вимогам до середнього часу відновлення, варто приймати вузли (агрегати, модулі) або деталі.

Таким чином, замінним елементом може бути блок, вузол або деталь. В деяких випадках вибір відсутній, тому що вимоги до готовності обумовлюють використання одного з трьох видів замінних елементів. Коли вибір можна зробити незалежно від коефіцієнта готовності, тоді затрати на обслуговування і ремонт стають вирішальним критерієм.

Вибір схеми розбиття БКУ на об'єкти обслуговування із використанням раціональної стратегії є однією із актуальних задач, що часто виникають у практиці ремонту БКУ магістральних газопроводів.

Задачу вибору оптимального режиму обслуговування БКУ магістральних газопроводів необхідно розв'язувати як оптимізаційну задачу, що дозволяє мінімізувати питомі затрати на обслуговування БКУ при обмеженнях, накладених на коефіцієнт готовності обладнання. Таким чином, за наявності повної інформації про параметри функцій розподілу  $F(t)$  і  $\Phi(t)$  задача вибору оптимального режиму обслуговування БКУ запишеться у вигляді:

$$\left. \begin{array}{l} \min_{\theta, T_p} \bar{z}_p(\theta, T_p) \\ \text{при } K_G(\theta, T_p) \geq K_{G \min}^0 \end{array} \right\}, \quad (1)$$

де  $K_G$  – середня частка часу перебування ГПА в працездатному стані (коефіцієнт готовності);

$K_{G \min}^0$  – задане мінімальне значення коефіцієнту готовності;

$\theta$  – періодичність перевірок;

$T_p$  – назначений ресурс (планове напруження);

$\bar{z}_p$  – питомі затрати на одиницю напруження.

Задача вибору рівня (схеми) і стратегії обслуговування є однією із двовимірних задач, сформульованих раніше. Розглянемо шляхи її вирішення. Введемо безліч альтернативних варіантів:

$$S^2 = U \otimes R, \quad (2)$$

де  $U$  – безліч схем розчленовування БКУ,  $R$  – безліч стратегій.

Кожний конкретний варіант є прямим перетином на площині однієї із стратегій з однією із схем розбиття БКУ на об'єкти обслуговування.

Для кожного варіанта:

$$S_{ij}^2 = \{u_i, r_j\}, \quad (3)$$

де  $u_i \in U, r_j \in R$  вирішуємо задачу виду (1) і визначаємо відповідні цьому варіанту мінімальні питомі витрати. Потім методом перебору вибираємо варіант, якому відповідає

$$\bar{z}_P^0 = \min_{U,R} \left\{ \bar{z}_{Pij} \right\}. \quad (4)$$

У такий спосіб знаходимо рішення сформульованої двовимірної задачі.

Різні типи БКУ відрізняються як надійнішими характеристиками, так і вартісними показниками. В залежності від показників безвідмовності і ремонтпридатності при визначеній раціональній стратегії оптимальним обслуговуючи (або замінним) рівнем може бути як блок, так і вузол або деталь. При такій методиці виникає можливість вибору з конкуруючих рішень "схема-стратегія".

Розрахунки і проведений аналіз показують, що практично у всіх випадках варто віддати перевагу розбиттю БКУ на вузли, а в ряді випадків - на блоки і вузли.

### Вибір місця ремонту вузлів і агрегатів блочно-комплектного устаткування при різних стратегіях обслуговування

Результативність ремонтних робіт залежить від організаційно-технологічних принципів їх виготовлення. Саме ці принципи, відбиваючи єдність організаційних форм виробництва, технологічних процесів і оснащення, зрештою визначають зміст усіх етапів і елементів ремонтного циклу. Зміна одного із зазначених компонентів викликає зміни інших. Так, при ремонті ГПА устаткування, склад і послідовність операцій і навіть спеціальності ремонтників, а, отже, і організація робіт – різні при виконанні операцій на місці, без виймання деталей із блоків і вузлів, чи при здійсненні їх в умовах спеціалізованого ремонтного підприємства (бази, цеху, заводу) після демонтажу і розбирання вузлів.

Оптимізація вимагає оцінки усіх можливих варіантів, а для цього необхідна загальна класифікація організаційно-технологічних принципів ремонту. Така класифікація, охоплюючи усі відомі принципи і показуючи нові можливі підходи, буде сприяти вибору найкращого для даних умов варіанта виконання ремонтних робіт.

Різноманіття об'єктів і умов ремонту, прийнятих систем його проведення, зміни в принципах здійснення ремонтів ускладнюють встановлення організаційно-технологічних ознак класифікації ремонтів і саму її побудову. Ймовірно тому до теперішнього часу відсутні узагальнюючі класифікаційні схеми ремонтних робіт, хоча широко використовується безліч їхніх варіантів.

Блочно-комплектне устаткування є зручною базою для побудови класифікаційних схем ремонту. В ремонті блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів сконцентровано практично все різноманіття об'єктів, умов і систем ремонту взагалі. Тут характерна роз'єднаність, або концентрація об'єктів ремонту; сезонні фактори, діючі для одних груп БКУ, не позначаються на експлуатації інших; сам об'єкт ремонту - блоковий ГПА або інше БКУ - є складною системою (а БККС і БКГРС - крупними і складними інженерними спорудженнями), де зосереджені як складні, так і найпростіші технічні засоби. Ремонтні роботи можуть мати підтримуючий характер або змінювати призначення БКУ (модернізація, переустаткування).

Слід наголосити, що основою вибору критеріїв класифікації організаційно-технологічних принципів ремонтів є твердження, що поряд із задоволенням звичайних для подібних задач вимог, повинні бути єдиними для різних технічних об'єктів усіх рівнів складності. Формування ієрархічних ступенів складності саме по собі є непростим завданням і може істотно відрізнятись в залежності від видів блочно-комплектного устаткування і об'єктів магістральних газопроводів. Для подальших досліджень будемо виходити з принципів раціонального розбиття БКУ і ієрархічних (структурних) рівнів.

За критерій класифікації ремонтних робіт вибираємо фактор, властивий саме ремонтному виробництву, що не проявляється або слабо відбивається на процесах виготовлення і монтажу. Таким фактором є обставини або умови здійснення робіт, тобто виконання робіт на місці використання або поза ним, у спеціальних ремонтних умовах. Пропонована класифікація організаційно-технологічних принципів ремонтів блочно-комплектних об'єктів і устаткування магістральних газопроводів (таблиця 1) побудована за ознакою виконання виробничих робіт і має досить цілісний конструктивний вигляд.

Два рівні забезпеченості запасними елементами відбивають наявність чи відсутність обмінного фонду для технічного обслуговування і ремонту БКУ магістральних газопроводів.

За наявності обмінного фонду ремонт БКУ проводиться методом заміни елементів з подальшим їхнім відновленням у майстерні на місці експлуатації або на спеціалізованому ремонтному підприємстві (рис. 1). При цьому різниці будуть тільки вартісні показники. Час відновлення самих елементів не впливає на час ремонту БКУ, а, отже, і на коефіцієнт готовності.

Таблиця 1 – Організаційно-технологічні принципи ремонтних робіт

Рівень складності об'єкта ремонту	Принцип забезпечення надійності		
	Ремонтний		Безремонтний
	За місцем використання	Поза місцем використання	
Система (об'єкт чи устаткування)	Технічне обслуговування	Не проводиться	Не застосовується
Блок, тобто пристрій, механізм чи агрегат	Технічне обслуговування і ремонт «на місці»	Заводський ремонт	Зазвичай не застосовується
Вузол (модуль), тобто сукупність деталей	Ремонт «на місці»	Ремонт на базі або в цеху	Придбання нових вузлів
Деталь, тобто найпростіший елемент	Обробка «на місці»	Відновлення деталей	Придбання або виготовлення змінно-запасних часин
		<b>Обмінний фонд</b>	

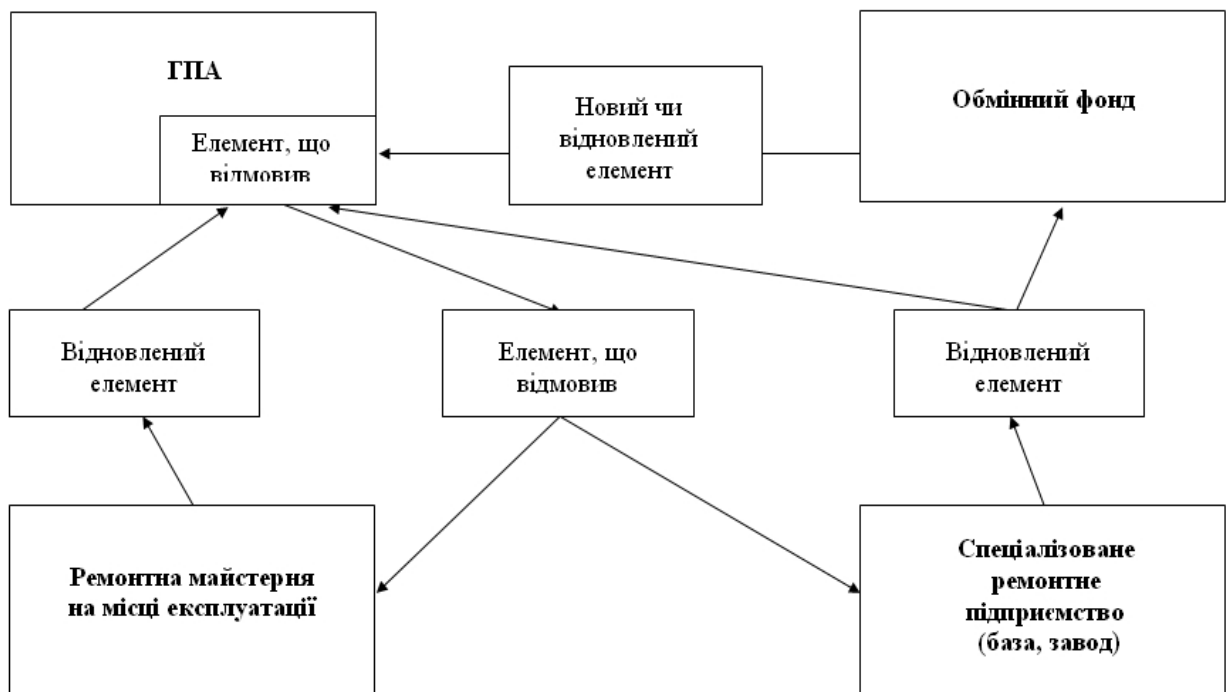


Рисунок 1 – Схема двох альтернативних варіантів місця проведення ремонтно-відновлювальних робіт

В умовах відсутності обмінного фонду зняті з експлуатації елементи БКУ можна ремонтувати як на місці експлуатації, так і поза ним, тобто на ремонтній базі або заводі. Потім відновлені елементи монтуються на БКУ, що повертається в експлуатацію. У цьому випадку і час, і вартість ремонту на місці і на базі будуть різними.

Загалом вартість ремонтного обслуговування знаходимо з виразу:

$$C_{рем} = C_{осм} + C_{дм} + C_{ср} + C_{м} + C_{обк}, \quad (5)$$

де  $C_{осм}$  – вартість огляду, установлення наявності і характеру несправності, відшукування несправного елемента,

$C_{дм}$  – вартість демонтажу елемента,

$C_{ср}$  – вартість транспортування і відновлення елемента,

$C_{м}$  – вартість монтажу елемента на місці експлуатації,

$C_{обк}$  – вартість перевірки БКУ після ремонту, обкатування і пуску.

При необмеженому запасі в (5) випадає доданок  $C_{ср}$ , тому що елемент, який відмовив, замінюється новим. При цьому мається на увазі, що вартість нового елемента проходить за статтею витрат "Запаси".

Відповідно для часу ремонту маємо:

$$\tau_{рем} = \tau_{осм} + \tau_{дм} + \tau_{ср} + \tau_{м} + \tau_{обк}. \quad (6)$$

Індекси в (6) аналогічні (5).

Додаткові витрати, пов'язані з транспортуванням блоків або інших елементів на спеціалізоване ремонтне підприємство, визначаємо за формулою:

$$C_T = 2Nm_{ср}\rho l, \quad (7)$$

де  $C_T$  – транспортні витрати, грн.;

$N$  – річна програма ремонту даного виду устаткування, шт.;

$m_{ср}$  – середня маса одиниці блоку (чи іншого елемента устаткування);

$\rho$  – вартість 1 тонно-кілометра, грн.;

$l$  – середня відстань від місця експлуатації устаткування до спеціалізованого ремонтного підприємства, км.

Із загального числа елементів БКУ магістральних газопроводів 43-56% можна ремонтувати на місці, з цього устаткування розмірно 15-20% економічно доцільно ремонтувати на місці установи виїзними бригадами спеціалізованих ремонтних підприємств. При цьому додаткові витрати, зв'язані з відрядженнями, розраховуємо за емпіричною формулою:

$$C_K = \frac{P\beta}{8} (C_{суш} + C_{кв}) + 2NC_{тар}n_{бр}, \quad (8)$$

де  $C_K$  – витрати на відрядження, грн.;

$P$  – річна трудомісткість ремонту, люд.год.;

$\beta$  – середня частка слюсарних робіт у загальній трудомісткості ремонту;

$C_{суш}$  – добові, грн.;

$C_{кв}$  – квартирні, грн. за добу;

$N$  – річна програма ремонту, шт.;

$C_{тар}$  – тариф проїзду;

$n_{бр}$  – середній склад виїзної бригади;

8 – кількість годин роботи на день (у випадку п'ятиденного робочого тижня).

Двовимірну задачу вибору стратегії обслуговування і місця ремонту БКУ магістральних газопроводів за відсутності запасних елементів вирішуємо в такий спосіб. За аналогією із формулою (2) уводимо безліч станів БКУ

$$S^2_1 = R \otimes P, \quad (9)$$

де  $P$  – безліч місць ремонту.

Для кожного стану БКУ

$$S^2_{ij} = \{r_i, p_j\}, \quad (10)$$

де  $r_i \in R, p_j \in P$  вирішуємо задачу виду (1) і визначаємо відповідні цьому стану мінімальні питомі витрати  $\bar{z}_{pij}$ . Рішення даної двовимірної задачі визначає варіант, якому відповідає

$$\bar{z}_P^0 = \min_{R,P} \left\{ \bar{z}_{pij} \right\}.$$

Розрахунки й аналіз показали, що в багатьох випадках раціональним є обслуговування за стратегією з ремонтом в умовах спеціалізованого ремонтного підприємства. У цьому ви-

падку максимально використовується ресурс елементів БКУ, і, природно, потрібно проведення ремонтно-відновлювальних робіт в умовах спеціалізованого ремонтного підприємства з відповідним устаткуванням і висококваліфікованим персоналом. Час планової (примусової) заміни елемента призначається з розрахунку запобігання відмовам, тобто, як правило, елемент не допрацьовує свій ресурс. Тому великих руйнувань чи ушкоджень не відбувається. Отже, можливе проведення ремонтно-відновлювальних робіт на місці експлуатації.

Всі блоки блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів є транспортними. Через відсутність у достатній кількості необхідних транспортних засобів і з інших причин ремонт приблизно 40-45% блоків і вузлів доцільно проводити на спеціалізованих ремонтних підприємствах (базах). Відновлення деяких дорогих деталей економічно доцільно проводити в умовах спеціалізованого підприємства.

При переході на сервісне обслуговування устаткування магістральних газопроводів можливий і інший розподіл ремонтно-відновлювальних робіт із залученням заводів-виготовлювачів, спеціалізованих пересувних ремонтних майстерень. При цьому визначення витрат часу і коштів необхідно використовувати також формули (5 - 8).

Аналогічно вирішується двовимірна задача вибору рівня і місця ремонту при прийнятій стратегії обслуговування БКУ магістральних газопроводів.

При рішенні тривимірної задачі, тобто задачі визначення раціональної схеми розбиття БКУ в комплексі з вибором раціональної стратегії обслуговування БКУ і місця ремонту знятих з експлуатації (демонтованих) елементів, розглядаємо багато варіантів

$$S^3 = U \otimes R \otimes P. \quad (11)$$

Розрахунки проводяться за тою ж схемою, що і для двовимірних задач.

## Висновки

1. З врахуванням конструктивних і експлуатаційних особливостей блочно-комплектного устаткування магістральних газопроводів розроблені і досліджені стратегії технічного обслуговування такого устаткування, в основу формування яких покладена двохстадійна модель відмов.

2. Доведена доцільність розбиття БКУ на елементи різного рівня ієрархії, вибору раціональної схеми розбиття БКУ на об'єкти обслуговування, визначення стратегії і режиму обслуговування для кожної схеми.

## Література

1 Обслуговування і ремонт газопроводів: монографія / [В.Я.Грудз, Д.Ф.Тимків, В.Б.Михалків, В.В.Костів]. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 2009. – 711 с.

2 Дубинский В.Г. Определение оптимальной наработки газотурбинной установки до планово-профилактического ремонта / В.Г.Дубинский, З.С.Седых // Транспорт и хранение газа. – М.: ВНИИЭгазпром, 1976. – № 12. – С. 7-11.

3 Трубопровідний транспорт газу / [М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін.]. – К.: АренаЕКО, 2002. – 600 с.

4 Комягин А.Ф. Оптимизация технического обслуживания ГПА / А.Ф.Комягин, П.И. Бахметьев // Газовая промышленность. – 1985. – № 1. – С. 26-27.

5 Кочурова В.В. К вопросу обслуживания блочно-комплектного оборудования магистральных газопроводов / В.В.Кочурова, Р.К. Насиров // Комплектно-блочное строительство наземных объектов. – М.: ВНИИСТ, 1985. – № 12. – С. 8-11.

6 Иванов О.В. Аналіз обслуговування технологічного обладнання магістральних газопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – № 2(43). – С. 56-65.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*20.11.12*

*Рекомендована до друку професором*

*Грудзом В.Я.*