

## АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ШАТУННИХ ПІДШИПНИКІВ ГАЗОМОТОКОМПРЕСОРІВ 10 ГКН ЗА РІЗНИХ ЗНАЧЕНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПОТУЖНОСТІ

<sup>1</sup>Б.В.Копей, <sup>2</sup>С.І.Галій, <sup>1</sup>Б.В.Долішній

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

<sup>2</sup> УкрНДІгаз; 61125, м. Харків, Красношкільна наб., 20, тел. (057) 7304677  
e-mail: sgaliy@ukr.net

*Запропоновано методику визначення оптимальної стратегії проведення планових ремонтів газомотокомпресорів 10 ГКН за різних значень ефективної потужності газового двигуна. Визначено показники вірогідності безвідмовної роботи, інтенсивність відмов шатунних підшипників газомотокомпресорів 10 ГКН. Встановлено залежність періодичності планових ремонтів шатунних підшипників від ефективної потужності газового двигуна, що забезпечує задану ймовірність безвідмовної роботи.*

Ключові слова: газомотокомпресор, шатунний підшипник, потужність, відмови, надійність.

*Предложена методика определения оптимальной стратегии проведения плановых ремонтов газомотокомпрессоров 10 ГКН при разных значениях эффективной мощности газового двигателя. Определены показатели вероятности безотказной работы, интенсивности отказов шатунных подшипников газомотокомпрессоров 10 ГКН. Установлена зависимость периодичности плановых ремонтов шатунных подшипников от эффективной мощности газового двигателя, обеспечивающая заданную вероятность безотказной работы*

Ключевые слова: газомотокомпрессор, шатунный подшипник, мощность, отказы, надежность.

*The method of determination of optimum strategy of the planned repairs of gasmotocompressors 10ГКН at different values of effective gas engine power is offered. The indexes of probability of failures work, intensity of failures of the pitman bearings of gasmotocompressors 10ГКН are determined. Dependence of periodicity of the planned repairs of the pitman bearings from effective gas engine power, providing the given probability of faultless work is obtained.*

Keywords: gasmotocompressor, pitman bearing, power, failures, reliability

**Вступ.** Значна частина експлуатаційної потужності дотискних компресорних станцій (ДКС) України належить газомотокомпресорам (ГМК) 10 ГКН. Тільки в ДК „Укргазвидобування” в експлуатації знаходиться 69 одиниць ГМК (табл. 1).

В умовах падіння видобутку природного газу і обмеженого числа модифікацій ГМК, що експлуатуються на різних об'єктах газової промисловості, для забезпечення оптимального режиму роботи агрегатів необхідно періодично виконувати їх реконструкцію. З іншого боку, реконструкція агрегатів пов'язана із значними витратами та складністю її проведення в експлуатаційних умовах, а тому для забезпечення заданих режимів роботи більшість газомотокомпресорів працює за різних значень ефективної потужності газового двигуна.

Існуюче положення про планово-попереджувальні ремонти регламентує проведення ремонтних робіт агрегатів, що працюють в різних експлуатаційних режимах, з однаковою періодичністю [1]. Проте, як свідчить досвід функціонування багатьох об'єктів ДК «Укргазвидобування», застосування цього положення не завжди виправдане. Таким чином, актуальним за сучасних умов є перегляд положення про планово-попереджувальні ремонти газомо-

торних компресорів, насамперед, стосовно оптимізації термінів їх проведення.

**Аналіз публікацій.** Для підвищення ефективності експлуатації газомотокомпресорів було впроваджено методи для оперативного отримання інформації про фактичний стан ГМК та розроблено переносні прилади для вібродіагностування шатунних підшипників, циліндропоршневої групи та турбокомпресорів [2]. Проведення періодичного контролю технічного стану ГМК з використанням таких приладів дає змогу підвищити ймовірність виявлення передчасних дефектів. Однак, здійснення періодичних діагностичних робіт недостатньо для забезпечення максимальної надійності роботи парку ГМК на об'єктах газової промисловості.

В роботі [3] описано концепцію новоствореної системи оптимального планування ремонтів агрегатів з комплексним прогнозуванням технічного стану. Ця система поєднує в собі вирішення важливих технічних питань:

– отримання математичної моделі залежності рівнів вібрації від напрацювання, потужності та встановлення допустимих рівнів вібрації за частотними смугами ГМК з розробленням методики оцінювання технічного стану за частотними складовими спектра вібрації;

Таблиця 1 – Парк газоперекачувальних агрегатів ДК «Укргазвидобування»

№	Назва ДКС	К-сть цехів	Тип ГПА	Тип привода	Тип нагн.	К-сть ГПА	Потужність привода	Заг. потужність	Рік введ. в дію
1	Машівська	1	10 ГКНА	ГМК	4/250	7	1104	7728	1984
2	Тимофіївська УСП	2	УКСП-16/500	НК-16СТ	НЦ-16/500	1	16000	16000	1993
			10 ГКНА	ГМК	5/197	4	1104	4416	1993
			10 ГКНА	ГМК	4/150	8	1104	8832	1993
3	Котелевська УСП	2	6ГМ40-16	ЕГПА	3/100+3/420	4	6300	25200	1993
			10 ГКНА	ГМК	5/197	1	1104	1104	1993
			10 ГКНА	ГМК	4/150	5	1104	5520	1993
4	ДКС Солоха	1	ТКА-Ц-6,3/0,49-5,5	Д-336-1	6,3 ГЦ1-91/10-28; 6,3 ГЦ2-36/27-56,5	4	6300	25200	2003
5	ГС Солоха	1	10 ГКНА	ГМК		4	1104	4416	
	<b>Всього</b>	<b>7</b>	<b>(5 КС)</b>			<b>34</b>			
	<b>У т.ч. ГТУ</b>	<b>2</b>				<b>5</b>			
	<b>ЕГПА</b>	<b>1</b>				<b>1</b>			
	<b>ГМК</b>	<b>4</b>				<b>28</b>			
<b>ГПУ «Шебелинкагазвидобування»</b>									
1	Червоно-донецька	1	10 ГКНА	ГМК	5/320	15	1104	16560	1972
2	Хрестище	2	ГПА-Ц-6,3А	Д-336-2Т	ЦБН:Ц-6,3А-14/2,3	4	6300	25200	2004
					ЦБН:Ц-6,3А-30/2,2	4	6300	25200	2004
	<b>Всього:</b>	<b>3</b>	<b>(2КС)</b>			<b>23</b>			
	<b>У т.ч. ГТУ</b>	<b>2</b>				<b>8</b>			
	<b>ГМК</b>	<b>1</b>				<b>15</b>			
<b>ГПУ «Львівгазвидобування»</b>									
1	Комарно	2	10 ГКН	ГМК	5/197	6	1104	6624	1967
			Аякс	DPC-2804		2			
2	Хідновичі	2	10 ГКН	ГМК	4/250	8	1104	8832	1972
			Аякс	DPC-2804		2			
3	Держів	1		DPC-2804		1			
4	Пасічна	1		DPC-2804		2			
5	Летня	1				2			
	<b>Всього:</b>	<b>7</b>	<b>5</b>			<b>23</b>			
	<b>У т.ч. ГТУ</b>	<b>-</b>				<b>-</b>			
	<b>ГМК</b>	<b>7</b>				<b>23</b>			
<b>ГПУ «Харківгазвидобування»</b>									
1	Східно-Новоселівка	1		DPC-2804		1			
2	Левенцівка	1		DPC-2804		1			
3	Березівка	1		DPC-2804		1			
	<b>Всього:</b>	<b>3</b>	<b>3</b>			<b>3</b>			
	<b>У т.ч. ГТУ</b>	<b>-</b>				<b>-</b>			
	<b>ГМК</b>	<b>3</b>				<b>3</b>			
<b>ДК «Укргазвидобування»</b>									
	<b>Всього:</b>	<b>20</b>	<b>15</b>			<b>83</b>			
	<b>У т.ч. ГТУ</b>	<b>4</b>				<b>13</b>			
	<b>ЕГПА</b>	<b>1</b>				<b>1</b>			
	<b>ГМК</b>	<b>15</b>				<b>69</b>			

– визначення загального рівня віброприскорення за амплітудою вібраційних сигналів основних вузлів агрегатів методом обчислення швидкого перетворення Фур'є;

– математичне моделювання: спектрів вібрації, спектрів обвідної, жорсткості підшипникових опор, ідентифікації вібрацій, пов'язаних з вимушеними та власними коливаннями, змін вібраційних характеристик у часі;

– математичне моделювання, визначення та прогнозування інтегрального нормованого технічного стану ГМК за комплексними результатами вібраційних та теплотехнічних обстежень;

– практичне використання комплексної моделі прогнозування технічного стану ГМК для оптимального планування ремонтів за фактичним станом.

Однак, на нашу думку, зазначена система оптимального планування ремонтів агрегатів повинна також включати створення моделі розрахунку надійності вузлів ГМК з урахуванням роботи газомотокомпресорів за різних значень експлуатаційної потужності.

У роботах [4,5] запропонована методика визначення показників надійності і ресурсу газомотокомпресорів МК-8, ГМК-10 ГК, визначено показники надійності, ймовірності безвідмовної роботи, інтенсивності відмов роботи газомотокомпресорів МК-8 та ГМК-10 ГК, а також розроблено стратегію проведення планово-попереджувальних ремонтів агрегатів. Але в даних роботах при визначенні показників надійності, оптимальної стратегії проведення планово-попереджувальних ремонтів агрегатів не враховувався вплив зміни ефективної потужності газового двигуна МК-8, ГМК-10 ГК і, відповідно, зміни навантажень на вузли двигуна.

**Мета досліджень.** Для визначення оптимальної стратегії проведення періодичності ремонтів з урахуванням роботи газомотокомпресорів за різних значень експлуатаційних потужностей, а також якості проведення ремонтних робіт з метою перегляду положення про планово-попереджувальні ремонти газомоторних компресорів доцільним є створення методики розрахунку надійності, визначення ймовірності безвідмовної роботи вузлів ГМК та визначення інтенсивності їх відмов.

Завдання полягає у визначенні показників надійності, ймовірності безвідмовної роботи, інтенсивності відмов найбільш важливого вузла газового двигуна – шатунних підшипників колінчастого вала. Показники надійності необхідно визначати для різних агрегатів, що працюють в різних експлуатаційних режимах з різною ефективною потужністю газового двигуна. Аналіз показників дасть змогу з'ясувати їх залежність від ефективної потужності і визначити оптимальні терміни проведення ремонтів шатунних підшипників газомотокомпресорів 10 ГКН, що сприятиме підвищенню надійності машин та зменшить витрати на ремонт агрегатів.

**Результати досліджень.** Для вирішення поставленого завдання був проведений аналіз даних ремонтних формулярів агрегатів, що працюють на різних експлуатаційних режимах, за період з 2003 по 2009 рр. (табл. 2).

Було проаналізовано періодичність проведення ремонтів, пов'язаних з руйнуванням вкладишів шатунних підшипників на газомотокомпресорах Червонодонської ДКС (ефективна потужність газових двигунів – 950-1000 кВт), Тимофіївської УСП (ефективна потужність газових двигунів 1 ступеня – 800-850 кВт, 2 ступеня – 700-730 кВт), Машівської ДКС (ефективна потужність газових двигунів 1 ступеня – 600-650 кВт).

Зазначимо, що згідно з положенням про планово-попереджувальні ремонти, розробленим заводом-виробником ГМК, періодичність проведення технічних оглядів регламентована на рівні 500 мотогодин.

На протязі всього терміну дослідження роботи до відмови шатунних підшипників ГМК за різних значень ефективної потужності було проаналізовано виконання технічних оглядів 15 агрегатів Червонодонської ДКС, 8 агрегатів Тимофіївської УСП 1 ступеня і 4 агрегатів 2 ступеня відповідно, 7 агрегатів Машівської ДКС.

Результати, що наведені в таблиці, вказують на те, що значна кількість відмов припадає на перші три діапазони роботи агрегатів. З таблиці видно, що порівнюючи загальну кількість відмов до значень відмов в першому діапазоні роботи для кожного з досліджуваних об'єктів, можна встановити залежність цього порівняння від ефективної потужності газомотокомпресорів. Тому очевидно, що значну увагу треба приділити визначення диференційованого підходу до визначення періодичності проведення технічних оглядів.

За отриманими систематизованими даними було розраховано показники ймовірності безвідмовної роботи для кожного досліджуваного варіанта ефективної потужності газомотокомпресорів. За отриманими даними нами побудовані криві ймовірності безвідмовної роботи шатунних підшипників (рис. 1).

Розподіл кривих ймовірності безвідмовної роботи шатунних підшипників ГМК 10 ГКН у залежності від ефективної потужності агрегатів свідчить, що під час роботи ГМК із значенням ефективної потужності 950 кВт (номінальна потужність агрегатів – 1100 кВт) ймовірність безвідмовної роботи дорівнює 0,5. Під час проведення технічних оглядів через 500 мотогодин існує велика ймовірність виявлення задиру колінчастого валу у зв'язку з передчасним виникненням дефектів шатунних підшипників. Отже, у ході експлуатації агрегатів на режимах, близьких до номінальних, необхідно здійснювати контроль технічного стану шатунних підшипників з періодичністю 350 мотогодин.

Навпаки, ймовірність безвідмовної роботи шатунних підшипників агрегатів, що працюють з потужністю двигунів 650 кВт, під час проведення технічних оглядів через 500 мотогодин

Таблиця 2 – Наробітки до відмови шатунних підшипників ГМК за різних значень ефективної потужності

Інтервал роботи до відмови, мотогодин	Кількість дефектів шатунних підшипників			
	Червонодонська ДКС (ефективна потужність – 950-1000 кВт)	Тимофіївська УСП (1 ступінь) (ефективна потужність – 800-850 кВт)	Тимофіївська УСП (2 ступінь) (ефективна потужність – 700-730 кВт)	Машівська ДКС (ефективна потужність – 600-650 кВт)
0-500	344	134	23	18
500-1000	108	38	8	17
1000-1500	44	29	8	10
1500-2000	52	17	2	7
2000-2500	40	15	5	3
2500-3000	32	12	8	6
3000-3500	16	10	3	4
3500-4000	4	8	4	10
4000-4500	16	7	0	0
4500-5000	20	4	0	0
5000-5500	4	7	2	3
5500-6000	0	4	1	1
6000-6500	4	3	2	9
6500-7000	0	2	0	1
7000-7500	4	2	0	1
7500-8000	0	1	1	2
8000-8500	0	1	0	0
8500-9000	0	2	1	1
9000-9500	0	1	0	0
9500-10000	0	2	0	0
10000-10500	0	2	0	0
10500-11000	0	2	0	0
11000-11500	0	1	0	0
Загальна кількість відмов	688	304	68	95

складає майже 0,9. Тому, для збільшення тривалості міжремонтного періоду, зменшення витрат на проведення ремонтних робіт при забезпеченні достатньої ймовірності безвідмовної роботи можна змінити періодичність проведення технічних оглядів з 500 до 1000 мотогодин.

Аналізуючи рисунок 1, можна зробити висновок, що у ході експлуатації ГМК з ефективною потужністю 710 кВт та 820 кВт оптимальній періодичності проведення технічних оглядів відповідає значення 700 мотогодин та 600 мотогодин відповідно.

Також нами розрахована інтенсивність відмов шатунних підшипників і побудовано графіки інтенсивності відмов за отриманими даними (рис. 2).

Як бачимо, найбільша інтенсивність відмов шатунних підшипників спостерігається на першому етапі (в період їх припрацювання). За ефективної потужності ГМК, близької до номінальних значень (Червонодонська ДКС,  $N_e = 950$  кВт), на першому етапі виникає 50% дефектів шатунних підшипників. Експлуатація агрегатів в режимах з меншою потужністю

(Машівська ДКС,  $N_e = 650$  кВт), дає змогу зменшити інтенсивність відмов до 25%.

Значна варіація інтенсивності відмов шатунних підшипників викликає необхідність диференційованого підходу до періодичності проведення технічних оглядів. Це дасть змогу зменшити ймовірність виникнення задирих колінчастих валів, а також зменшити експлуатаційні витрати, забезпечивши найбільш допустиму тривалість роботи агрегатів без зупинки.

Наукова новизна. Пропонуємо застосувати методику визначення оптимальної стратегії проведення періодичних планових ремонтів з урахуванням роботи газомотокомпресорів за різних значень ефективної потужності газового двигуна.

Визначено показники надійності, ймовірності безвідмовної роботи, інтенсивності відмов роботи найбільш важливого вузла газового двигуна – шатунних підшипників газомотокомпресорів 10 ГКН.

За показниками ймовірності безвідмовної роботи, інтенсивності відмов шатунних підшипників ГМК встановлено залежність періоди-

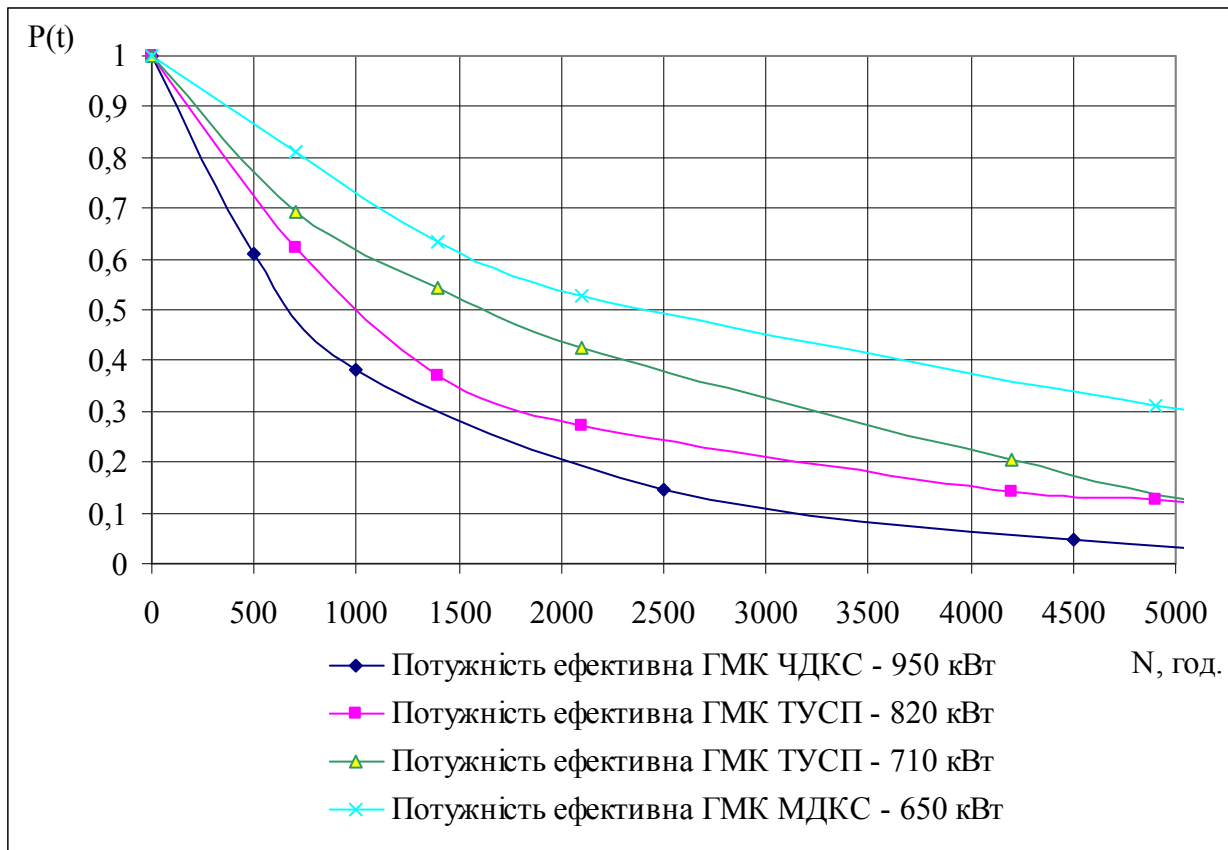


Рисунок 1 – Криві ймовірності безвідмовної роботи шатунних підшипників ГМК 10 ГКН

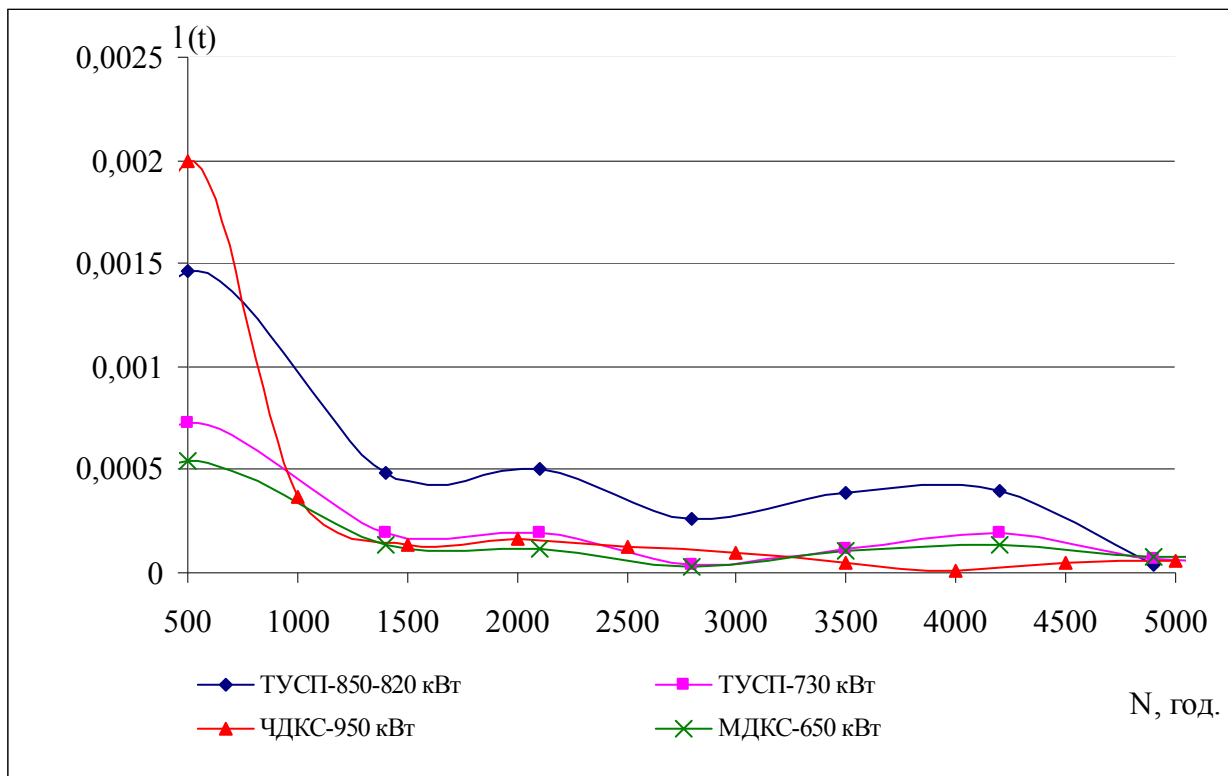


Рисунок 2 – Графік інтенсивності відмов роботи шатунних підшипників ГМК 10 ГКН

чності планових ремонтів шатунних підшипників від експлуатаційної потужності газового двигуна, що забезпечує достатню високу ймовірність безвідмовної роботи.

Висновки. Використання методики визначення періодичності планових технічних ремонтів з урахуванням роботи газомотокомпресорів за різних значень ефективної потужності на прикладі шатунних підшипників дасть змогу провести науково-обґрунтований вибір періодичності ремонтів всіх основних вузлів агрегатів.

Отримані показники періодичності проведення ремонтів всіх основних вузлів агрегатів уможливить зменшити ймовірність випадкових відмов, простою агрегатів, збільшити тривалість міжремонтного періоду, зменшити витрати на проведення ремонтних робіт при забезпеченні достатньої ймовірності безвідмовної роботи.

### *Література*

1 Саприкін С.О. Ефективність методів та приладів віброконтролю і вібродіагностування газоперекачувальних агрегатів та компресорних установок / С.О. Саприкін // Нафтова і газова промисловість. – 2006. – №4. – С.23-26.

2 Саприкін С.О. Оптимальне планування ремонтів газоперекачувального обладнання за комплексними результатами вібраційного та параметричного діагностування / С.О.Саприкін, Р.А.Сімкіна // Нафтова і газова промисловість. – 2006. – №3. – С.44-49.

3 Положение о планово-предупредительном ремонте ГМК типа 10 ГК / Утверждено и введено в действие 01.01.1974, протокол 29.12.1973. – БКМР ВС стат. управление г. Москва.: Министерство газовой промышленности, спец. управление (Оргенергогаз), 1974. – 78 с.

4 Копей Б.В. Оцінка надійності та вибір стратегії технічного обслуговування газомотокомпресорів МК-8 на основі аналізу АВС / Б.В. Копей, Ю.О. Бобошко, В.В. Костів, Т.В. Міщук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – №4(21). – С. 71-75.

5 Копей Б.В. Оцінка надійності та вибір стратегій технічного обслуговування газомотокомпресорів 10 ГК на основі аналізу АВС / Б.В. Копей, М.Я. Бучинський, Є.І. Палиця // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 1999. – №36 (том 3). – С. 218-222.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*

*26.01.10*

*Рекомендована до друку професором*

*В. Я. Грудзом*