

УДК 62-762.642.4

И. И. НАЧОВНЫЙ<sup>1</sup>, А. И. БУРЯ<sup>2</sup>, А. Н. ДУДКА<sup>1</sup>, А. Г. АЛЕКСАНДРОВ<sup>1</sup>,  
ИВ. И. НАЧОВНЫЙ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина

<sup>2</sup>Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина

<sup>3</sup>Национальный горный университет, г. Днепр, Украина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ НАБИВОК

Приведены результаты исследований деформационных свойств, износостойкости и коэффициента трения набивок НГФ-ХБ, НГФ-С, НФ4, НГФ-ХБ-Ф4, НГФ-С-Ф4, АФ-1, АП, ХБП в условиях трения без смазки в интервале нагрузок 150-450 Н, скоростей скольжения 0,5-1 м/с в условиях возвратно-поступательного движения. Установлено, что коэффициент трения набивок находится в пределах от 0,057 до 0,156.

**Ключевые слова:** набивка, деформация, износостойкость, коэффициент трения, возвратно-поступательное движение.

**Введение.** В настоящее время в уплотнительной технике широко используются уплотнительные набивки. Они применяются для герметизации шпинделей запорной арматуры, валов центробежных и штоков поршневых насосов, валов аппаратов с мешалками и т.д.

Набивки эксплуатируются в самых различных средах: водяной пар, нефтепродукты, газы, кислоты, щелочи, масла и другие вещества. При этом диапазон давлений распространяется до 90 МПа, а температур – до 450°C [1-9]. Такой диапазон применений объясняется простотой конструкции сальниковых узлов, удобством монтажа и демонтажа и относительной дешевизной сальниковых набивок. Наряду с широко распространенными набивками на основе асбеста, все большее распространение находят набивки из фторопласта, угле- и органоволокон, комбинированные и другие. Обычно в литературе, в прайс-листах приводятся общие сведения о набивках: рабочее давление и температура, скорость скольжения, рабочая среда и область предпочтительного применения [1-9].

Однако для конструкторов и специалистов по эксплуатации уплотнительной техники важно также знать и такие свойства как деформация набивки под нагрузкой, упругие свойства, износостойкость, коэффициент трения и т.п.

**Объекты исследования, методика и оборудование.** В данной работе приведены результаты сравнительных исследований деформационных и трибологических свойств уплотнительных набивок на основе терморасширенного графита (ТРГ) марки Графлекс, асбестовых и хлопчатобумажных, характеристики которых представлены в табл. 1.

Деформационные свойства набивок исследовались по схеме, приведенной на рис. 1.

Приспособление для исследования деформационных свойств набивок состоит из корпуса 1, в котором устанавливается пресс-форма с гнездом квадратной формы по размеру сечения набивки 2. Пресс-форма состоит из матрицы 3, подкладки 4 и плунжера 5. На матрице жестко закреплен индикатор часового

типа 5, шток которого упирается в планку 6, жестко закрепленную на плунжере квадратного сечения 7. Усилие создается винтом 9 и передается на плунжер через динамометр 8 и шарики 10 и 11.

Таблица 1

Условное обозначение и состав исследуемых набивок

№ п/п	Условное обозначение	Состав
1	НГФ-ХБ	Нити ТРГ, армированные хлопчатобумажной нитью
2	НГФ-С	Нити ТРГ, армированные стекловолокном
3	НФ4	Нити фторопласта-4
4	НГФ-ХБ-Ф4	Нити ТРГ, армированные хлопчатобумажной нитью и стекловолокном
5	НГФ-С-Ф4	Нити ТРГ, армированные стекловолокном и фторопластом-4
6	АФ-1	Плетеная асбестовая, пропитанная суспензией фторопласта
7	АП	Плетеная асбестовая, пропитанная, графитированная
8	ХБП	Плетеная хлопчатобумажная, пропитанная жировым антифрикционным составом, графитированная

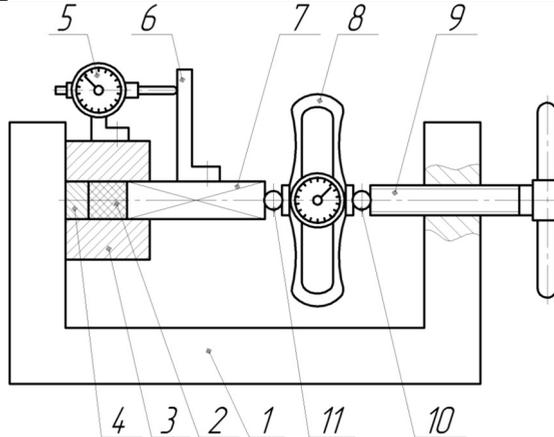


Рис. 1. Схема приспособления для исследования деформационных свойств набивок: 1 – корпус; 2 – набивка; 3 – матрица; 4 – подкладка; 5 – индикатор; 6 – упорная планка; 7 – плунжер квадратного сечения; 8 – динамометр; 9 – винт, 10, 11 – шарики

Для исследования отрезались образцы набивки в виде куба, с размером стороны, равным 10 мм. Образцы устанавливались в гнездо матрицы так, чтобы волокна были направлены параллельно плоскости торца плунжера. Из каждого вида набивки отрезалось по три образца. Контроль абсолютной величины сжатия набивки, через которую определялась относительная деформация, т.е. отношение абсолютной величины сжатия к первоначальной высоте набивки осуществлялся индикатором

Определение показателей трибологических свойств набивок – износостойкости и коэффициента трения осуществляли на машине трения с возвратно-поступательным движением штока (рис. 2).

Установка состоит из станины 1, внутри которой размещен кривошипно-шатунный механизм, который обеспечивает возвратно-поступательное движение штока 3. Шток выполнен квадратного поперечного сечения из стали 38Х2МЮА, твердость рабочих поверхностей –  $HRC_3=46\div 50$ , закалка. Один конец штока связан с кривокопфом привода, другой – зафиксирован в опоре 12,

которая является подшипником скольжения. Исследуемый образец 4 закрепляется в держателе 5, связанном со штоком 10. Шток имеет направляющую, закрепленную на каретке 2, установленной на подшипниках качения 8. Каретка связана с тензобалкой 11, которая является датчиком знакопеременных усилий – силы трения. Нагружение образца выполнено в виде рычажной системы, состоящей из опоры, связанной с рычагом 13 сферическим подшипником качения 9 для передачи усилия на шток с рычагом. Привод коленчатого вала кривошипно-шатунного механизма – электродвигатель с фазным ротором 15, что позволяло включением в сеть ротора реостатов изменять число оборотов вала и, соответственно, скорость скольжения штока.

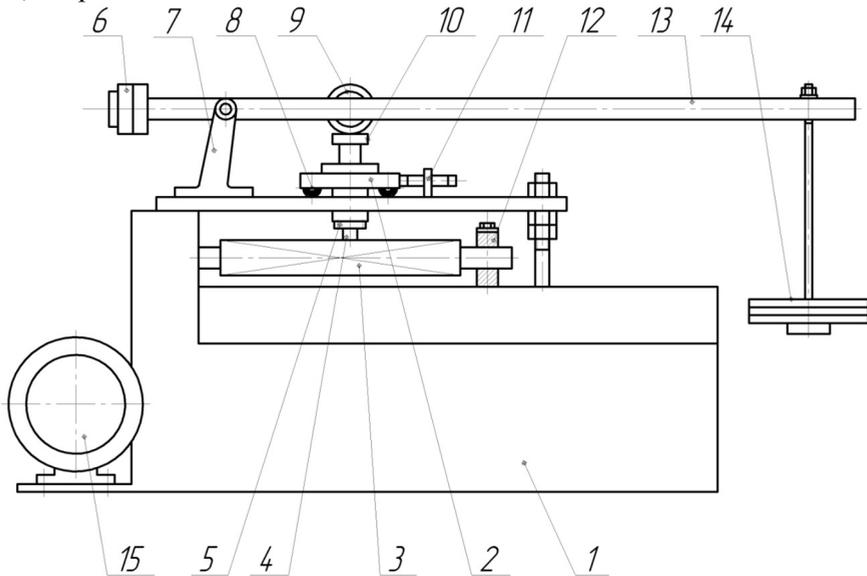


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования трибологических свойств набивок: 1 – станина; 2 – каретка; 3 – шток; 4 – исследуемый образец; 5 – держатель; 6 – контргруз; 7 – стойка; 8 – подшипник качения; 9 – сферический подшипник качения, 10 – плунжер; 11 – тензобалка; 12 – опора; 13 – рычаг; 14 – груз; 15 – электродвигатель

Исследование трибологических свойств осуществляли в режиме трения без смазки на образцах высотой 10 мм. Параметры проведенных испытаний: нагрузка 150, 300 и 450 Н; средняя скорость штока 0,520; 0,775 и 0,930 м/с; время одного опыта 30 минут. Сила трения измерялась с помощью тензобалки, тензоусилителя и осциллографа. В связи с изменением силы трения в течение одного двойного хода, определяли среднюю силу трения за один двойной ход. Предварительно производили тарировку тензобалки. Результаты исследований обработаны методом математической статистики.

**Результаты исследований.** Как видно из полученных зависимостей деформационных свойств набивок (рис. 3, табл. 2), наиболее податливой является набивка НФ-4, наименее – набивка ХБП.

В начальный период сжатия происходит уплотнение набивок вследствие уменьшения пустот между нитями основы. При дальнейшем повышении осевой силы темп увеличения относительной деформации уменьшается.

С целью выяснения упругих свойств набивок образцы после сжатия были оставлены на свободное восстановление на 60 суток. Из результатов восстанов-

ления образцов приведенных в табл. 3 видно, что набивка НФ4 обладает наилучшими упругими свойствами.

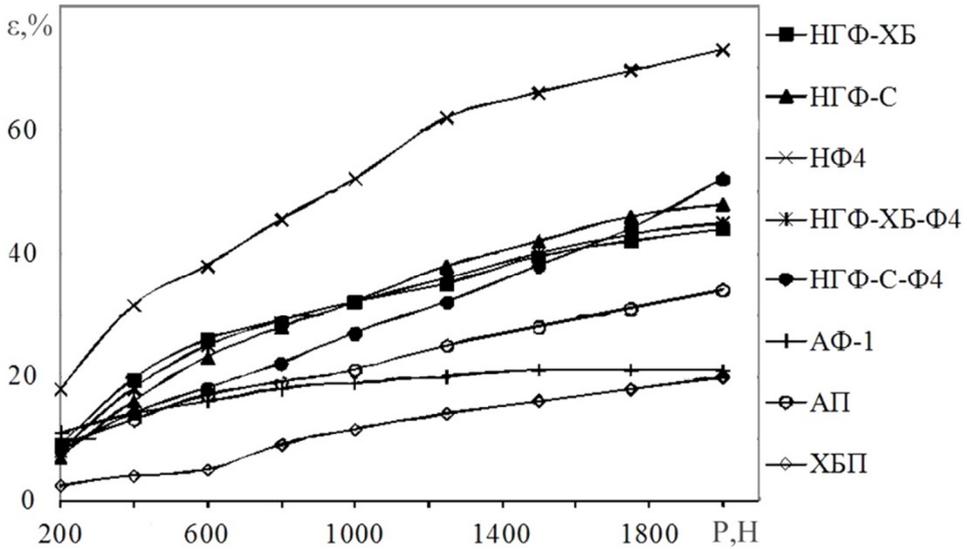


Рис. 3. Зависимость относительной деформации набивок от силы сжатия

Таблица 2

**Результаты относительной деформации в зависимости от нагрузки**

Набивка	Нагрузка, Н								
	200	400	600	800	1000	1250	1500	1750	2000
	Относительная деформация, %								
НГФ-ХБ	8,1	19,2	25,5	29,1	32,0	35,1	39,3	41,9	44,1
НГФ-С	6,3	16,6	22,9	27,5	32,5	37,0	41,4	46,2	49,1
НФ4	18,1	32,3	37,9	45,5	52,2	61,5	65,0	69,1	72,5
НГФ-ХБ-Ф4	10,1	18,3	24,7	29,1	32,5	36,5	38,9	41,8	44,0
НГФ-С-Ф4	6,5	13,7	18,0	22,1	26,8	31,9	37,5	43,4	51,2
АФ-1	11,5	14,2	15,6	17,5	18,4	19,7	20,4	20,8	21,0
АП	6,9	12,8	16,3	18,5	21,3	24,5	27,4	30,3	34,0
ХБП	1,4	3,0	4,1	9,4	11,5	14,1	16,6	18,4	20,9

Таблица 3

**Результаты свободного восстановления набивок**

Набивка	НГФ-ХБ	НГФ-С	НФ4	НГФ-ХБ-Ф4	НГФ-С-Ф4	АФ-1	АП	ХБП
Высота через 60 суток	9,0	7,0	10,0	9,0	9,0	8,5	8,0	8,0

Из трибологических свойств определялись коэффициент трения и величина износа. Данные по коэффициентам трения набивок в зависимости от числа двойных ходов в минуту (дв.х./мин) или средней скорости скольжения штока и нагрузки на образцы приведены в табл. 4.

Таблиця 4

## Коефіцієнти тертя набивок

Набивка	250 дв.х./мин (0,520 м/с)	375 дв.х./мин (0,775 м/с)	450 дв.х./мин (0,930 м/с)	Нагрузка, Н
НГФ-ХБ	0,111	0,156	0,100	150
	0,106	0,094	0,072	300
	0,087	0,085	0,064	450
НГФ-С	0,100	0,111	0,067	150
	0,069	0,067	0,056	300
	0,057	0,059	0,051	450
НФ4	0,111	0,127	0,122	150
	0,094	0,097	0,111	300
	0,083	0,087	0,089	450
НГФ-ХБ-Ф4	0,100	0,133	0,111	150
	0,094	0,106	0,089	300
	0,081	0,089	0,074	450
НГФ-С-Ф4	0,105	0,133	0,100	150
	0,083	0,094	0,078	300
	0,070	0,078	0,067	450
АФ-1	0,100	0,133	0,128	150
	0,089	0,111	0,117	300
	0,089	0,096	0,104	450
АП	0,089	0,100	0,111	150
	0,089	0,097	0,100	300
	0,082	0,081	0,100	450
ХБП	0,111	0,122	0,133	150
	0,092	0,111	0,111	300
	0,092	0,089	0,107	450

Характерным есть то, что коэффициент трения уменьшается с увеличением нагрузки на образец, хотя сила трения с увеличением нагрузки и количества двойных ходов штока в минуту – повышается.

Коефициенты трения набивок в исследованном диапазоне нагрузок и числа двойных ходов штока в минуту в режиме трения без дополнительной смазки лежат в диапазоне от 0,057 до 0,156.

В табл. 5 приведены данные по износу набивок в виде изменения массы набивок относительно первоначальной массы при следующих условиях: нагрузка 150 Н, число двойных ходов штока в минуту – 375, время испытаний – 30 минут, трение без дополнительной смазки.

Таблиця 5

## Износ набивок

Набивка	НГФ-ХБ	НГФ-С	НФ4	НГФ-ХБ- Ф4	НГФ-С-Ф4	АФ-1	АП	ХБП
Изменение массы набивок относительно первоначальной массы, %	2,05	2,58	7,94	4,90	5,01	4,90	6,03	4,28

На рисунке 4 приведены фотографии части штока, которые показывают дорожку трения с продуктами изнашивания и позволяют визуально сделать оценку износостойкости набивок.

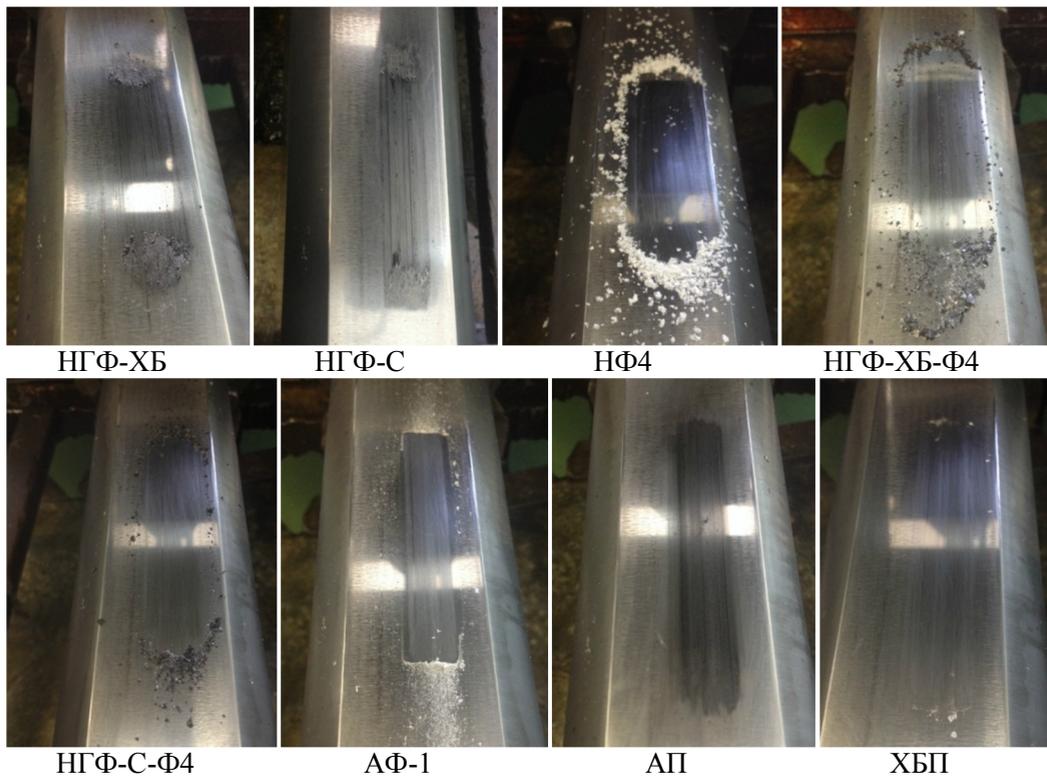


Рис. 4. Изнашивание набивок НГФ-ХБ, НГФ-С, НФ4, НГФ-ХБ-Ф4, НГФ-С-Ф4, АФ-1, АП и ХБП

**Выводы.** В результате проведенных исследований набивок установлено, что:

1. Коэффициент трения набивок лежит в области от 0,057 до 0,156 в зависимости от скорости скольжения и нагрузки в условиях трения без дополнительной смазки.
2. Наименее износостойкой (по массовому износу) является набивка НФ4, наиболее - набивки НГФ-ХБ и НГФ-С, что обусловлено наличием хлопчатобумажной и стеклотканевой основы. Введение в набивки фторопласта-4 снижает износостойкость (набивок НГФ-ХБ-Ф4 и НГФ-С-Ф4).
3. Лучшими упругими свойствами обладает набивка НФ4.

#### Список литературы

1. Сальниковые набивки [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.izola.com.ua/rus/article/salnikovaya\\_nabivka](http://www.izola.com.ua/rus/article/salnikovaya_nabivka).
2. Научно практическая конференция «Применение новых текстильных и композитных материалов в техническом текстиле» (20-21 июня 2013 года): сборник статей; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 3013. – 200 с.
3. Сальниковая набивка (шнур) Н-1430 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://szu.com.ua/salnikovye-nabivki/salnikovye-nabivki-na-osnove-keramicheskikh-voлокon/item/51-salnikovya-nabivka-n-1400>.

4. ООО «Нордтех» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.nordtech.ru/nabivka.htm>.

5. Техно-Трейд – Пряжа для набивок GORE-TM GFO [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tt.kiev.ua>.

6. Пеньковая набивка – Завод порошковой металлургии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pmplant.com/penkovaya-nabivka>.

7. Набивки сальниковые, резинотехнические изделия, уплотнения, гидравлические уплотнения, РТИ: ОДО «Агродорсервис» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://agrodor.by/catalog7\\_11.html](http://agrodor.by/catalog7_11.html).

8. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др.; Под. общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.

9. ГОСТ 5152-84 Набивки сальниковые. Технические условия. М.: Издательство стандартов. – 13 с.

Стаття надійшла до редакції 09.03.2018

*І. І. НАЧОВНИЙ, О. І. БУРЯ, А. Н. ДУДКА, А. Г. АЛЕКСАНДРОВ,  
ІВ. І. НАЧОВНИЙ*

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ НАБИВОК**

Наведено результати досліджень деформаційних властивостей, зносостійкості і коефіцієнта тертя набивань НГФ-ХБ, НГФ-С, НФ4, НГФ-ХБ-Ф4, НГФ-С-Ф4, АФ-1, АП, ХХН в умовах тертя без змащення в інтервалі навантажень 150- 450 Н, швидкостей ковзання 0,5-1 м / с в умовах зворотно поступального руху. Встановлено, що коефіцієнт тертя набивань знаходиться в межах від 0,057 до 0,156.

**Ключові слова:** набивка, деформація, зносостійкість, коефіцієнт тертя, зворотно-поступальний рух.

**Начовний І. І.** – канд. техн. наук, доцент кафедри машиностроєння та інженерної механіки, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина, E-mail: [dekan\\_meh@ukr.net](mailto:dekan_meh@ukr.net).

**Буря А. І.** – канд. техн. наук, профессор, профессор кафедри фізики конденсованого стану, Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина, E-mail: [ol.burya@gmail.com](mailto:ol.burya@gmail.com).

**Дудка А. Н.** – канд. техн. наук, доцент кафедри машиностроєння та інженерної механіки, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина, E-mail: [An.Dudka@i.ua](mailto:An.Dudka@i.ua)

**Александров А. Г.** – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедри прикладної механіки, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина, E-mail: [spleen@i.ua](mailto:spleen@i.ua).

**Начовний Ів. І.** – старший преподаватель кафедри захисти інформації та телекомунікацій, Национальный горный университет, г. Днепр, Украина, E-mail: [helptankistam@gmail.com](mailto:helptankistam@gmail.com)

*I. I. NACHOVNYY, A. I. BURYA, A. N. DUDKA, A. G. ALEKSANDROV,  
IV. I. NACHOVNYY*

### INVESTIGATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GASKETS

The results of studies of the deformation properties, wear resistance, and the coefficient of friction of NGF-HB, NGF-C, NF4, NGF-HB-F4, NGF-C-F4, AF-1, AP, HBP packing under friction without lubrication within the load range of 150- 450 N, sliding velocities of 0.5-1 m / sec in the conditions of reciprocating motion. The coefficient of friction of the packing has been set in the range from 0.057 to 0.156.

**Keywords:** packing, deformation, wear resistance, coefficient of friction, reciprocating motion

#### References

1. Sal'nikovye nabivki [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: [http://www.izola.com.ua/rus/article/salnikovaya\\_nabivka](http://www.izola.com.ua/rus/article/salnikovaya_nabivka).
2. Nauchno prakticheskaja konferencija «Primenenie novyh tekstil'nyh i kompozitnyh materialov v tehničeskom tekstile» (20-21 ijunja 2013 goda): sbornik statej; M-vo obraz. i nauki Rossii, Kazan. nac. issled. tehnol. un-t. – Kazan': Izd-vo KNITU, 3013. – 200 s.
3. Sal'nikovaja nabivka (shnur) N-1430 [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://szu.com.ua/salnikovye-nabivki/salnikovye-nabivki-na-osnove-keramicheskikh-volokon/item/51-salnikovaya-nabivka-n-1400>.
4. OOO «Nordteh» [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.nordtech.ru/nabivka.htm>.
5. Tehno-Trejd – Prjazha dlja nabivok GORE-TM GFO [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://tt.kiev.ua>.
6. Pen'kovaja nabivka – Zavod poroshkovej metallurgii [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://pmplant.com/penkovaya-nabivka>.
7. Nabivki sal'nikovye, rezinotehničeskie izdelija, uplotnenija, gidravličeskie uplotnenija, RTI: ODO «Agrodorservis» [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: [http://agrodor.by/catalog7\\_11.html](http://agrodor.by/catalog7_11.html).
8. Uplotnenija i uplotnitel'naja tehnika: Spravochnik / L.A. Kondakov, A.I. Golubev, V.B. Ovander i dr.; Pod. obshh. red. A.I. Golubeva, L.A. Kondakova. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 448 s.
9. GOST 5152-84 Nabivki sal'nikovye. Tehničeskie uslovija. M.: Izdatel'stvo standartov. – 13 s.