

УДК 622.24.062

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В БУРОВОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**

**DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR THE STUDY OF THE
MECHANICS AND MANIFESTATIONS OF PROPERTIES OF
ELASTOMERS IN THE DRILLING PROCESS**

**Аль-Сухили М.Х., Исмаков Р.А., Янгиров Ф.Н., Дихтярь Т.Д.
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», филиал, г. Октябрьский,
Российская Федерация**

**M.H. Al-Suhili, R.A. Ismakov, F.N. Yangirov, T.D. Dihtyar
FSBEI NPE “Ufa State Petroleum Technological University”
Ufa, the Russian Federation**

**FSBEI NPE “Ufa State Petroleum Technological University”, branch
Oktyabrskii, the Russian Federation
e-mail: mohammed_15b@hotmail.com**

Аннотация. В настоящее время отмечаются проблемы с нестабильностью работы винтовых забойных двигателей (ВЗД), их остановками, низким сроком службы рабочих органов (РО), а также авариями (отворотами, разрушениями элементов ВЗД) компоновки бурильной колонны (БК). В частности, сроки работы двигателей, в зависимости от типоразмера и условий эксплуатации, составляют от 90 до 235 ч. Отказы ВЗД по данным буровых компаний ООО «Газпром бурение» и «КСА Deutag» - от 5 до 12 в год, что приводит к длительным восстановительным работам в скважине,

либо полной ликвидации последней. Из практики использования установлено, что около 50% всех отказов ВЗД связано с износом рабочих органов, представляющих собой пару трения резина-металл (стальной ротор - резинометаллический статор).

Решение комплексных научно-технических задач предусматривает проведение значительного объема экспериментальных исследований и испытаний с целью изучения и получения объективной оценки влияния различных факторов на изменение исследуемых параметров. В связи с этим, нами была реконструирована установка ИИ-5018 с целью изучения трибологических свойств «эластомер – промывочная жидкость – металл» применительно к взаимодействию пары трения «статор – ротор» в ВЗД. С этой целью максимально приближена к реальности пара трения «резина – металл». В статье обсуждается проблема выбора методики лабораторных исследований, которая должна отвечать требованиям и нормам действующих стандартов и инструкций на проведение стандартизованных триботехнических испытаний и исследований по определению физико-механических свойств резин.

Приведены результаты комплексных исследований в области изучения процессов трения и изнашивания пары трения «эластомер-металл» с целью совершенствования методики изучения триботехнических аспектов работы силовой секции винтовых забойных двигателей.

Abstract. In the current drilling technology today pointed out the problems associated with the instability of work down hole drilling motors , they stop, short service life of working devices (WD) and accidents (lapels, destruction elements DDM) layout of the drill string (DS). In particular, the timing of the engines, depending on the size and operating conditions, ranging from 90 to 235 hours. Failures DDM according to drilling companies “Gazprom drilling” and “CSA Deutag” - from 5 to 12 per year; which leads to long-term recovery efforts in the well, or the complete elimination of the latter. From the practice of using

found that about 50% of all failures associated with DDM wear working devices are a pair of friction rubber-metal (stainless steel rotor - rubber steel-stator).

Solving complex scientific and engineering problems calls for a considerable amount of experimental research and testing in order to study and obtain an objective assessment of the impact of various factors on the change in the studied parameters. In this regard, we install AI 5018 was reconstructed to study the tribological properties of the "elastomer - rinsing liquid - the metal" as applied to the interaction of the friction pair "stator - rotor" in the PDM. To this end, as close to reality friction pair "rubber - metal". The article discusses the problem of choosing the methods of laboratory tests, which must meet the requirements and standards applicable standards and regulations to carry out standardized tribological tests and studies to determine the physical and mechanical properties of rubber.

The results of complex investigations in the field of studying the processes of friction and wear of friction pairs elastomer-metal with the purpose of improvement of a technique of study of tribological aspects of the power section of screw down hole motors.

Ключевые слова: винтовой забойный двигатель, пара трения «резина-металл», эластомер, ИИ5018, изнашивание, триботехнические свойства.

Key words: don whole drilling motors, rubber-metal, elastomer, И5018, friction and deterioration, tribological aspects.

Выбор методики лабораторных исследований должен отвечать требованиям и нормам действующих стандартов и инструкций на проведение стандартизованных триботехнических испытаний и исследований по определению физико-механических свойств резин [1,2], а также учитывать существующие практические методы определения износа резиновой обкладки (РО) винтовых забойных двигателей (ВЗД) в реальных условиях бурения [3,4,5].

Решение комплексных научно-технических задач предусматривает проведение значительного объема экспериментальных исследований, и испытаний с целью изучения и получения объективной оценки влияния различных факторов на изменение исследуемых параметров.

Согласно общепринятому в практике научных исследований порядку этапов разработки, полный цикл предусматривает проведение трех видов испытаний: лабораторных, стендовых (заводских) и опытно-промышленных (промысловых). Кроме того, при организации и проведении испытаний необходимо руководствоваться условиями сохранения методологической взаимосвязи между этапами (подэтапами), позволяющими учитывать степень приближения условий и режимов испытаний, от моделируемых в лабораторных условиях, до реальных - эксплуатационных.

Основная трудность выбора подхода к проведению лабораторных исследований для решения поставленных задач связана с тем, что, во-первых, существующие стандартизованные лабораторные методы испытаний и расчета не позволяют применять их к условиям взаимодействия РО ВЗД, из-за сложности и многообразия процессов трения и изнашивания, а во-вторых, практические методы оценки износостойкости РО ВЗД на основе эксплуатационной информации (анализ данных о промышленной отработке) не дают возможности оценить характер влияния отдельных эксплуатационных факторов на интенсивность изнашивания пары.

В связи с этим, целесообразно определить и отработать этапы лабораторных исследований по направлениям, с учетом выбора методологического подхода к их проведению, обеспечивающего оптимальное соответствие условий моделирования и достоверности анализа получаемой информации.

Разработка лабораторной установки

Нами была реконструирована установка ИИ-5018 с целью изучения трибологических свойств «эластомер – промывочная жидкость – металл»

применительно к взаимодействию пары трения «статор – ротор» в ВЗД. С этой целью максимально приближена к реальности пара трения «резина – металл» [8].

Испытания проводятся по следующей схеме нагружения:

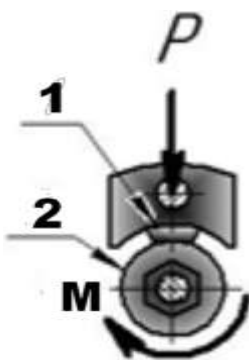


Рисунок 1. Схема испытания пары «резина – металл» на установке ИИ–5018: 1 – вкладыш (резина); 2 – ролик (сталь)

Расчет критериев подобия для установки ИИ – 5018

В общем виде скорость изнашивания эластомера (α) статора представлена в виде зависимости:

$$\alpha = f(P_{уд}, \eta, v_c, q_c, HB, A_{ж}, R, l), \quad (1)$$

где $P_{уд}$ - удельная нагрузка;

η - частота взаимодействия;

v_c - скорость скольжения;

q_c - удельный расход жидкости;

HB- твёрдость;

$A_{ж}$ - качество промывочной жидкости;

R - радиус кривизны поверхности трения;

L - геометрические характеристики пары трения.

На основе метода нулевых размерностей и π -теоремы соотношение (1) представлено в виде безразмерных комплексов (критериев подобия). При этом в качестве базисных факторов, имеющих независимые размерности,

приняты $HВ$, R и η . Определитель, составленный из показателей степеней их размерностей (масса, длина, время), равен минус 1, то есть базисные факторы имеют независимые друг от друга размерности.

Таким образом, критерии подобия равны:

$$\Pi_1 = P_{уд} / HВ \cdot R;$$

$$\Pi_2 = v_c / \eta \cdot R;$$

$$\Pi_3 = q_c / \eta \cdot R;$$

$$\Pi_4 = P_{уд} / HВ$$

$$\Pi_5 = idem$$

(2)

Для выбора экспериментальной установки и обоснования её параметров рассчитаны интервалы измерения критериев подобия в натуре, то есть при реальном (промысловом) бурении скважин с применением винтовых забойных двигателей.

Исходные данные ВЗД (статор – ротор):

1) удельная нагрузка (интенсивность прижатия ротора к статору) принимается в интервале от 8 до 15 кг/см².

Анализ напряжённо-деформированного состояния двигательной секции винтового забойного двигателя, проведённый К. В. Сызранцевым и В. А. Аришиным в программном комплексе ANSYS методом конечных элементов, показал, что максимальное контактное давление приходится на место контакта впадины статора с зубом ротора и составляет 0,786 МПа/см², что составляет 8 кг/см² [2]. Верхнее значение в 15 кг/см² принято, опираясь на стендовые испытания радиальной деформации обкладки статора, исследуемой при нагружении на валу 500-600 Н м.

Данные по типоразмеру и физические параметры были приняты из характеристик двух винтовых забойных двигателей: NOV 675-24X-123 и

ДРУ- 192, так как экспериментальные образцы эластомера были получены, именно, из этих двигателей.

2) длина ротора 3240-5144 мм.

3240 мм – длина ротора ДРУ- 192

5144 мм - длина ротора NOV 675-24X-123.

3) частота вращения ротора

$\eta = 170 - 300$ об/мин.

4) расход промывочной жидкости

19 -37,8 л/с.

5) удельный расход жидкости рассчитается по формуле (3):

$$S_{ц-ра} = 2\pi R \cdot (h + R), \quad (3)$$

где $R=27-54$;

$h = 3240$ мм;

$$S_{ц-ра_1} = 2 \cdot 3,14 \cdot 27 \cdot (3267) = 554 \text{ мм}^2;$$

$$Q_1 = 0,019 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$Q_1 / S_{ц-ра_1} = 0,019 / 0,054 = 0,034 \text{ м} / \text{с};$$

$$S_{ц-ра_2} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,054 \cdot 5,12 = 1,763 \text{ м}^2;$$

$$Q_2 = 0,0378 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$Q_2 / S_{ц-ра_2} = 0,0378 / 1,763 = 0,0214 \text{ м} / \text{с}.$$

б) скорость скольжения рассчитается по формуле (4):

$$\omega \cdot R = (2\pi\eta / 60) \cdot R, \quad (4)$$

$$\text{min} : (2\pi\eta / 60) \cdot R = ((2 \cdot 3,14 \cdot 170) / 60) \cdot 27 = 480 \text{ мм} / \text{с};$$

$$\text{max} : (2\pi\eta / 60) \cdot R = ((2 \cdot 3,14 \cdot 300) / 60) \cdot 54 = 1683 \text{ мм} / \text{с}.$$

7) твёрдость поверхности ротора по Бринеллю 319-353 НВ.

В связи с недостатком информации по кинематике пары «ротор-статор», пренебрегаем критерием интервала времени контакта.

Исходные данные установки ИИ 5018 (стальной ролик – резина):

1) удельная нагрузка 10 – 500 кг рассчитается по формуле(5):

$$P_{уд} = Q / S_{обр-ца}, \quad (5)$$

$$P_{уд_1} = 10 / 2 = 5 \text{ кг / см}^2;$$

$$P_{уд_2} = 500 / 2 = 250 \text{ кг / см}^2.$$

2) параметры образца:

Наружный диаметр ролика – 50 мм

30 – 50 мм

Ширина ролика (рабочая поверхность) – 12 мм

7 – 12 мм

3) диапазон измерения частоты вращения вала:

50– 350 об/мин

4) расход промывочной жидкости составляет 1 и 3 литра за 10 минут

этот расход обеспечивается за счёт вращения ролика в жидкости

$$0,1/1=0,1/60=0,017 \text{ л/с,}$$

$$0,3/1=0,3/60=0,051 \text{ л/с.}$$

5) скорость скольжения

$$\omega \cdot R = (2\pi n / 60) \cdot R, \quad (6)$$

$$\text{min} : (2\pi n / 60) \cdot R = ((2 \cdot 3,14 \cdot 50) / 60) \cdot 15 = 78,5 \text{ мм / с;}$$

$$\text{max} : (2\pi n / 60) \cdot R = ((2 \cdot 3,14 \cdot 350) / 60) \cdot 25 = 916 \text{ мм / с.}$$

б) твёрдость поверхности стального ролика по Бринеллю 319-353 НВ

Диапазоны изменения критериев $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ связаны с типоразмером винтового забойного двигателя, и приведённые выше исходные данные позволяют их рассчитать. Поскольку в экспериментах используются реальные составы технологических жидкостей, а изнашиваемые образцы из соответствующей буровой технологии материалов, прошедшие аналогичную химико-термическую обработку, можно принять $\Pi_4 = \text{idem}$.

По приведённому выше анализу существующих машин трения, сделан вывод, что при соответствующей реконструкции установка ИИ-5018 вполне может обеспечивать физическое подобие процесса изнашивания пары «эластомер - металл» силовой секции винтового забойного двигателя.

Критерии подобия для ВЗД (натуры):

$$1) \quad \Pi_1 = P_{уд} / HB \cdot R, \quad (7)$$

$$\Pi_{1_{min}} = 8 / 353 \cdot 53,6 = 4,23 \cdot 10^{-4};$$

$$\Pi_{1_{max}} = 15 / 319 \cdot 27 = 17,4 \cdot 10^{-4}.$$

$$2) \quad \Pi_2 = v_c / \eta \cdot R, \quad (8)$$

$$\Pi_{2_{min}} = 480,42 / 300 \cdot 53,6 = 3 \cdot 10^{-2};$$

$$\Pi_{2_{max}} = 1682,73 / 170 \cdot 27 = 37 \cdot 10^{-2}.$$

$$3) \quad \Pi_3 = q_c / \eta \cdot R, \quad (9)$$

$$\Pi_{3_{min}} = 0,0214 / 300 \cdot 53,6 = 1,3 \cdot 10^{-6};$$

$$\Pi_{3_{max}} = 0,554 / 170 \cdot 27 = 120,7 \cdot 10^{-6}.$$

$$4) \quad \Pi_4 = P_{уд} / HB, \quad (10)$$

$$\Pi_{4_{min}} = 8 / 353 = 23 \cdot 10^{-3};$$

$$\Pi_{4_{max}} = 15 / 319 = 47 \cdot 10^{-3}.$$

Критерии подобия для ИИ-5018 (модели):

$$1) \quad \Pi_1 = P_{уд} / HB \cdot R, \quad (11)$$

$$\Pi_{1_{min}} = 4 / 353 \cdot 25 = 4,5 \cdot 10^{-4};$$

$$\Pi_{1_{max}} = 80 / 319 \cdot 15 = 167 \cdot 10^{-4}.$$

$$2) \quad \Pi_2 = v_c / \eta \cdot R, \quad (12)$$

$$\Pi_{2_{min}} = 78,5 / 350 \cdot 25 = 1 \cdot 10^{-2};$$

$$\Pi_{2_{max}} = 915,8 / 50 \cdot 15 = 122 \cdot 10^{-2}.$$

$$3) \quad \Pi_3 = q_c / \eta \cdot R, \quad (13)$$

$$\Pi_{3_{min}} = 0,017 / 350 \cdot 25 = 2 \cdot 10^{-6};$$

$$\Pi_{3_{max}} = 0,051 / 50 \cdot 15 = 68 \cdot 10^{-6}.$$

$$4) \quad \Pi_4 = P_{уд} / HB, \quad (14)$$

$$\Pi_{4_{min}} = 4 / 353 = 11,3 \cdot 10^{-3};$$

$$\Pi_{4_{max}} = 200 / 319 = 627 \cdot 10^{-3}.$$

Указанные выше критерии подобия природы и модели приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значение критериев подобия для процесса изнашивания «статор – ротор»

Критерий подобия	Значения критериев подобия	
	Статор – ротор (ВЗД)	Ролик – резина (ИИ-5018)
$\Pi_1 \cdot 10^{-4}$	4,23...17,4	5,67...522,5
$\Pi_2 \cdot 10^{-2}$	3...37	1...122,1
$\Pi_3 \cdot 10^{-6}$	1,3...121	1,9...68
$\Pi_4 \cdot 10^{-3}$	22,6...47	11,3...627
Π_5	idem	idem

Из таблицы 1 видно, что критерии подобия сопоставимы и установка ИИ – 5018 подходит для проведения испытаний пары «статор – ротор» для изучения изнашивания силовой секции ВЗД.

Что касается обеспечения соответствия трения по критерию температуры жидкости, то здесь можно отметить следующее. Объёмная температура жидкости влияет на износостойкость эластомера при трении. Однако это явление неоднозначно и зависит и от состава промывочной жидкости.

Удельная нагрузка, определённая при помощи метода конечных элементов попадает в интервал, моделируемый на ИИ – 5018, но на установке эта нагрузка может быть представлена в более широком интервале.

Обработки экспериментальных данных

Коэффициент трения и скорость изнашивания эластомера определяются по формулам:

$$\phi_c = \frac{M_{\text{тр}}}{R \cdot P}, \quad (15)$$

где $M_{\text{тр}}$ – момент трения, Н·м;

R – радиус диска, м;

P – нагрузка на вкладыш, Н.

$$a = \frac{\Delta m}{t \cdot \rho \cdot S}, \quad (16)$$

где Δm – разность массового износа вкладыша, мг;

t – время опыта, мин;

ρ – плотность материал вкладыша, мг/мм³;

S – рабочая площадь вкладыша, см².

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (17)$$

где V – объём образца, мм³;

m – масса образца.

Построив деталь – «вкладыш» в программной среде Компас 3D, мы определили объём тела, его площадь и площадь рабочей поверхности.

$$S_{\text{раб.пов.}} = 200 \text{ мм}^2,$$

$$V = 2127,354 \text{ мм}^3 = 2,13 \text{ см}^3;$$

$$m = 2,4839 \text{ г};$$

$$\rho = \frac{2,4839}{2,13} = 1,16 \approx 1,2 \text{ г/см}^3.$$

По данным расчётов строим графики зависимостей (ϕ_c) и (a) от $N_{\text{уд}}$ и проводим анализ проявления противоизносных свойств различных промышленных жидкостей в зависимости от энергетической загрузки пары трения.

Поскольку геометрические размеры деталей, взаимодействующих в паре трения «ролик – вкладыш» изменяются в ходе эксперимента, то значения параметров, в частности скорости изнашивания и коэффициента трения, находятся в зависимости от нагрузки или интенсивности нагрузки. В нашем эксперименте принят диапазон нагрузок от 200 до 400 Н – в пределах от 10 до 20 кг/см². Эти параметры достаточно точно передают данные лабораторных исследований для винтового забойного двигателя.

Установка ИИ – 5018 имеет компьютерное управление, что позволяет в автоматическом режиме весьма точно поддерживать заданную частоту вращения (погрешность не превышает 1%). Погрешность измерения момента трения составляет 0,2%.

Оценка погрешности результатов экспериментов

Для оценки погрешности используют различные числовые характеристики:

а) среднее арифметическое значение:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0,0655 \quad (18)$$

б) дисперсия: среднеквадратичная погрешность. Рассеяние результатов измерений относительно среднего значения принято характеризовать дисперсией v :

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = 0,00003025 \quad (19)$$

в) стандартное отклонение рассчитывается по формуле:

$$S = \sqrt{V} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,0036 \quad (20)$$

г) относительное стандартное отклонение:

$$S_r = \frac{S}{\bar{x}} = 0,0549 \quad (21)$$

д) доверительный интервал:

$$\Delta_x = \mp \frac{t_{pf} \cdot S}{\sqrt{n}} = \frac{2,20 \cdot 0,0218}{\sqrt{12}} = 0,0022 \quad (22)$$

где t_α – коэффициент Стьюдента зависит от доверительной вероятности и числа проведенных экспериментов [6]. В математической статистике коэффициент Стьюдента вычислен для различных значений, и его можно найти в таблицах.

е) абсолютная погрешность результата:

$$\mu = \bar{x} \mp \frac{t_{pf} \cdot S}{\sqrt{n}} = 0,0655 + 0,0022 = 0,0677 \quad (23)$$

$$\mu = \bar{x} \mp \frac{t_{pf} \cdot S}{\sqrt{n}} = 0,0655 - 0,0022 = 0,0633$$

Относительная погрешность:

$$\frac{\Delta_x}{x} \cdot 100\% = \frac{0,0022}{0,0655} \cdot 100\% = 3,3\% \quad (24)$$

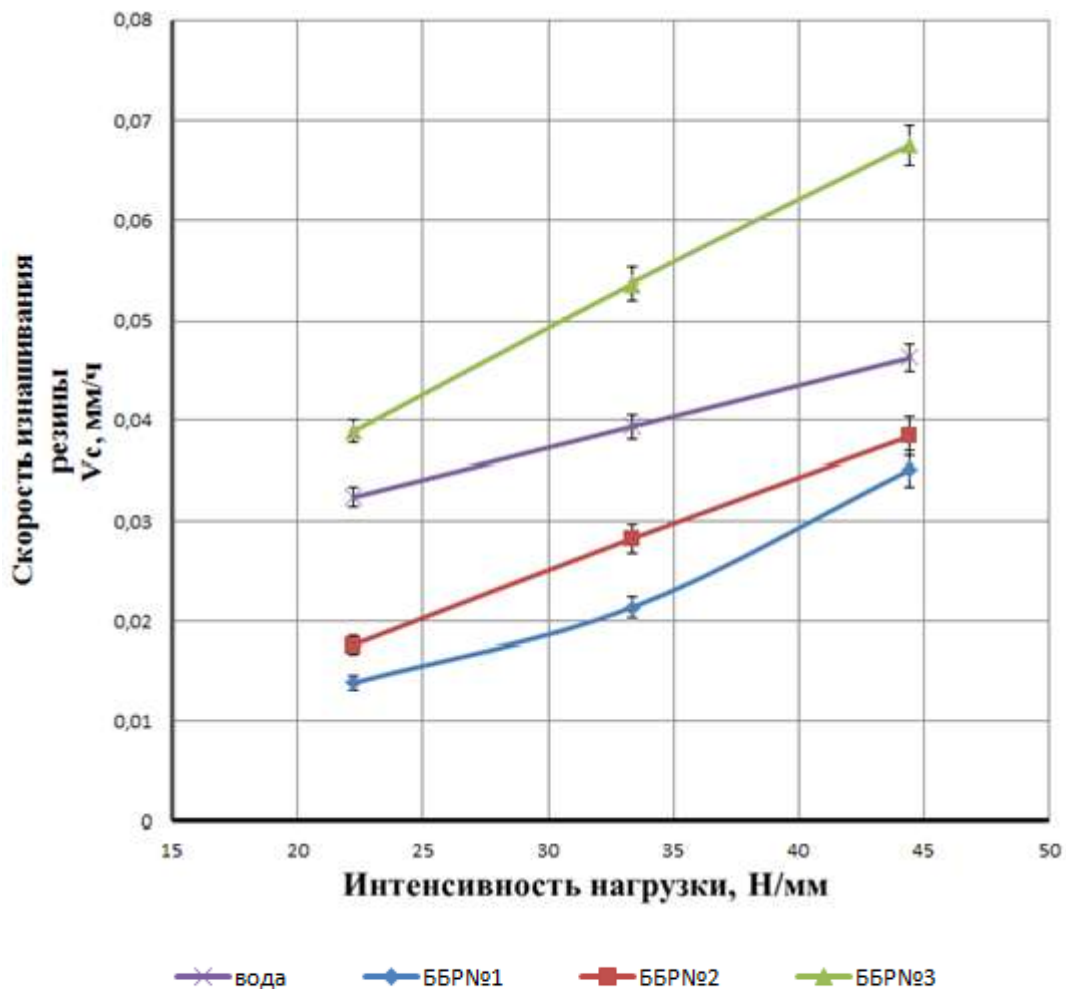


Рисунок 2. Графическое представление доверительных интервалов

Аналитическая методика надёжна, т.к. ее относительная максимальная погрешность не превышает 5%.

Погрешность проведённых экспериментов и измеренных параметров испытаний

Так как в расчётах применяются достаточно малые величины, нам необходимо узнать величину отклонения измеряемого значения от истинного.

Рассчитаем погрешности измерений и расчётов результатов экспериментов при выполнении опытов на установке ИИ – 5018:

1) погрешность определения скорости изнашивания вкладыша:

$$\Delta a_m = \sqrt{\Delta m^2 + \Delta S_p^2 + \Delta t^2}, \quad (25)$$

где Δm - погрешность определения износа на аналитических весах с точностью до 0,0001 г;

$$\Delta m = \frac{0,0001}{0,00104} \cdot 100 \% = 9,62\%;$$

ΔS_p - погрешность определения площади рабочей поверхности вкладыша с помощью микрометра, имеющего точность 0,01;

$$\Delta S_p = \sqrt{\Delta D^2 + \Delta B^2}; \quad (26)$$

где ΔD – погрешность определения высоты вкладыша микрометром, мм;

$$\Delta D = \frac{0,01}{10} \cdot 100 \% = 0,1\%;$$

ΔB – погрешность определения ширины вкладыша микрометром, мм;

$$\Delta B = \frac{0,01}{10} \cdot 100 \% = 0,1\%;$$

следовательно,

$$\Delta S_p = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = 0,14\%;$$

Δt – погрешность определения времени проведения эксперимента с помощью электронного секундомера, точность которого 0,1с;

$$\Delta t = \frac{0,1}{3600} \cdot 100 \% = 0,003\%;$$

$$\Delta a_m = \sqrt{9,62^2 + 0,14^2 + 0,003^2} = 9,62\%.$$

2) погрешность определения частоты вращения вольтметром (класс точности 0,5).

Установка ИИ – 5018 имеет компьютерное управление, что позволяет в автоматическом режиме весьма точно поддерживать заданную частоту вращения (погрешность не превышает 1%):

$$\Delta v = \frac{0,5}{Q_{\min}} \cdot 100, \quad (27)$$

где Q_{\min} - минимальное значение частоты вращения на ИИ – 5018;

$$\Delta v = \frac{0,5}{50} \cdot 100 = 1\% .$$

1) погрешность определения момента трения и нагрузки.

Согласно технических характеристик установки максимальная приведенная погрешность измерений момента трения (ΔM) и нагрузки (ΔP) на образец не превышает $\pm 3\%$.

$$\Delta M = 3\%;$$

$$\Delta P = 3\% .$$

2) погрешность определения коэффициента трения:

$$\Delta \varphi = \sqrt{\Delta M^2 + \Delta D^2 + \Delta P^2}, \quad (28)$$

$$\Delta \varphi = \sqrt{0,1^2 + 3^2 + 3^2} = 4,2\% .$$

Уменьшение случайной ошибки достигается увеличением числа повторных измерений (n). Наблюдения, проведенные А.Н. Поповым относительно точности данного метода исследований, показали, что в большинстве случаев повторение опытов достаточно до 3-4 раз.

Таким образом, каждая точка на графиках вышеназванных зависимостей, есть среднее арифметическое 3-4 повторных измерений. В случае получения результата измерения, вызывающего сомнение в его надежности, число повторных опытов увеличивается.

Выводы

1. Реконструкция узла трения позволила нам проводить эксперименты для подбора оптимального раствора или смазочных добавок, уменьшающей скорость истирания резины статора.

2. ИИ – 5018 установка, по своим основным параметрам, обеспечивает физическое подобие процесса изнашивания пары «статор – ротор» в винтовом забойном двигателе.

3. Разработана система обработки результатов, позволяющая быстро получить необходимые данные.

4. Разработаны методики проведения серии опытов для построения графиков зависимостей трения и скорости износа эластомера.

5. Рекомендуется использовать данную методику для совершенствования знаний о механике и свойствах эластомеров с различными рабочими жидкостями.

Список используемых источников

1 Карасик И.И. Методы трибологических испытаний в национальных стандартах стран мира/ под ред. В.С. Кершенбаума// Международная инженерная энциклопедия. М.: Центр. Наука и техника, 1993. 325с.

2 Справочник по триботехнике в 3-х т.; под ред. М. Хебды. М.: Машиностроение, 1989. 220 с.

3 Забойные винтовые двигатели для бурения скважин / Гусман М.Т. [и др.] М.: Недра, 1981. 232 с.

4 Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Винтовые забойные двигатели. М.: Недра, 1999. 374 с.

5 Ганелина С.А. Резинометаллические детали гидравлических забойных двигателей. М.: Недра, 1981. 118 с.

6 Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов экспериментов: спр. пособие. М.: Наука, 1991. 163 с.

7 Аветисов А.Г., Булатов А.И., Шаманов С.А. Методы прикладной математики в инженерном деле при строительстве нефтяных и газовых скважин. М.: ООО «Недра - Бизнесцентр», 2003. 239 с.

8 Аль-сухили М.Х., Исмаков Р.А. Совершенствование методики изучения триботехнических аспектов работы силовой секции винтовых забойных двигателей // Территория Нефтегаз: электрон. науч. журн. 2014. № 8. С. 12-16. URL: <http://neftegas.info/tng/vypusk-8-2014-g/?filter=y&rubric=257>.

References

1 Karasik I.I. Metodyi tribologicheskikh ispytaniy v natsionalnykh standartakh stran mira/ pod red. B.C. Kershenbauma//Mezhdunarodnaya inzhenernaya entsiklopediya. M.: Tsentr. Nauka i tehnika. 1993. 325s. [in Russian].

2 Spravochnik po tribotekhnike v 3-h t. /pod red. M. Hebdiy. M.: Mashinostroenie, 1989. 220 s. [in Russian].

3 Zaboynyye vintovyye dvigateli dlya bureniya skvazhin / Gusman M.T. [i dr.] M.: Nedra, 1981. 232 s. [in Russian].

4 Baldenko D.F. Baldenko F.D., Gnoevyih A.N. Vintovyye zaboynyye dvigateli M.: Nedra, 1999. 374 s. [in Russian].

5 Ganelina S.A. Rezinometallicheskie detali gidravlicheskh zaboynnykh dvigateley. M.: Nedra, 1981. 118 s. [in Russian].

6 Rumshinskiy L.Z. Matematicheskaya obrabotka rezultatov eksperimentov. Spravochnoe posobie. M.: Nauka, 1991. 163 s. [in Russian].

7 Avetisov A.G., Bulatov A.I., Shamanov S.A. Metodyi prikladnoy matematiki v inzhenernom dele pri stroitelstve neftyanykh i gazovykh skvazhin. M.: ООО. [in Russian].

8 Al-suhili M.H., Ismakov R.A. Sovershenstvovanie metodiki izucheniya tribotekhnicheskikh aspektov raboty silovoy seksii vintovykh zaboynnykh dvigateley // Territoriya neftegaz: elektron. nauch. zhurn. 2014. №8. S. 12-16. URL: <http://neftegas.info/tng/vypusk-8-2014-g/?filter=y&rubric=257>

Сведения об авторах

About the authors

Аль-Сухили Мохаммед Хамуд Абдо, аспирант кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

M. H. Al-Suhili, Post-graduate Student of the Chair, “Drilling Oil and Gas Wells” FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

E-mail: mohammed_15b@hotmail.com

Исмаков Р. А., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Бурение нефтяных и газовых скважин», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

R. A. Ismakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair “Drilling Oil and Gas Wells” FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Янгиров Ф. Н., канд. техн. наук, доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

F. N. Yangirov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Drilling Oil and Gas Wells” FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Дихтярь Т. Д., канд. техн. наук, доцент кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», филиал ФГБОУ ВПО УГНТУ в г. Октябрьском, Российская Федерация

T. D. Dihtyar, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Exploration and Development of Oil and Gas Fields”, branch FSBEI HPE USPTU, Oktyabrskii, the Russian Federation