

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 620.16:621.317: 620.3

doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-4-16

ВОПРОС ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРЕЦЕССИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Набат Сулейманова¹, Ниджар Мустафаева², Хумай Гулиева³

^{1,2,3} Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан

^{1,2,3} nabatsuleymanova@gmail.com

Аннотация

Рассматривается проблема повышения надежности прецессионных элементов метрологического оборудования, которые играют определяющую роль в обеспечении точности измерений и устойчивости функционирования приборов в процессе эксплуатации. Прецессионные элементы подвержены воздействию различных дестабилизирующих факторов, включая механические нагрузки, трение, износ, температурные колебания и изменения свойств материалов, что в совокупности приводит к снижению характеристик точности и эксплуатационной надежности оборудования.

В этой связи особый научный и практический интерес представляет применение нанотехнологических методов, направленных на модификацию структуры и свойств материалов на наноразмерном уровне. Использование нанотехнологий открывает новые возможности для целенаправленного управления физико-механическими, трибологическими и поверхностными характеристиками прецессионных элементов, что позволяет существенно снизить уровень износа, уменьшить коэффициенты трения и повысить устойчивость к внешним воздействиям.

Целью является исследование научно-технических основ обеспечения надежности прецессионных элементов метрологического оборудования с использованием нанотехнологических ме-

тодов.

В работе определены и проанализированы следующие основные задачи: исследование надежности прецессионных элементов и систематизация факторов, влияющих на их работоспособность; изучение влияния нанотехнологических методов на структуру и свойства материалов; анализ поверхностных характеристик и способов их целенаправленной модификации; разработка статических и фрикционных математических моделей, описывающих процессы взаимодействия элементов в условиях эксплуатации.

В результате исследования предложены математические модели и получены экспериментальные графики, позволяющие повысить надежность прецессионных узлов метрологического оборудования и увеличить срок их службы. Реализация разработанных подходов может обеспечить существенный практический эффект за счет повышения точности и надежности измерительных систем, применяемых на машиностроительных предприятиях и в других отраслях промышленности, где предъявляются повышенные требования к качеству метрологического обеспечения.

Ключевые слова: материаловедение, прецессионная деталь, нанотехнологический метод, машиностроение, метрологические измерения.

Ссылка для цитирования:

Сулейманова Н. Вопрос исследования надежности прецессионных материалов промышленного измерительного оборудования / Н. Сулейманова, Н. Мустафаева, Х. Гулиева // Транспортное машиностроение. – 2026. - № 3. – С. 4-16. doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-4-16.

Original article

Open Access Article

THE ISSUE OF STUDYING THE RELIABILITY OF PRECESSION MATERIALS FOR INDUSTRIAL MEASURING EQUIPMENT

Nabat Suleymanova¹, Nijar Mustafaeva², Humai Gulieva³

^{1,2,3} Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan

^{1,2,3} nabatsuleymanova@gmail.com

Abstract

The problem is considered to increase the reliability of precession elements of meteorological equipment, which play a crucial role in ensuring the accuracy of measurements and the stability of functioning devices during operation. Precession elements are subject to various destabilizing factors, including mechanical loads, friction, wear, temperature fluctuations and changes in material properties, which together lead to a decrease in accuracy characteristics and operational reliability of equipment.

In this regard, the application of nanotechnological methods aimed at modifying the structure and properties of materials at the nanoscale is of particular scientific and practical interest. The use of nanotechnology opens up new opportunities for targeted control of the physico-mechanical, tribological and surface characteristics of precession elements, which significantly reduces wear, friction coefficients and increases resistance to external influences.

The paper objective is to study the scientific and technical foundations of ensuring the reliability of precession elements of metrological equipment using nanotech-

nological methods. The following main tasks are identified and analyzed in the paper: study of the reliability of precession elements and systematization of factors affecting their performance; study of the influence of nanotechnological methods on the structure and properties of materials; analysis of surface characteristics and ways of their targeted modification; development of static and frictional mathematical models describing the processes of elements interaction under operating conditions.

As a result of the research, mathematical models are proposed and experimental graphs are obtained that make it possible to increase the reliability of precession units of metrological equipment and increase their service life. The implementation of the developed approaches can provide a significant practical effect by increasing the accuracy and reliability of measuring systems used in machine-building enterprises and in other industries where there are increased requirements for the quality of metrological support.

Keywords: materials science, precession part, nanotechnology method, mechanical engineering, metrological measurements.

Reference for citing:

Suleymanova N, Mustafaeva N, Gulieva H. The issue of studying the reliability of precession materials for industrial measuring equipment. *Transport Engineering*. 2026;3:4-16. doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-4-16.

Введение

Быстрое развитие современного научно-технического прогресса выдвинуло на первый план требования к высокой точности, надежности и стабильности в области измерительной техники и метрологического обеспечения. Точность измерений, проводимых в стратегических областях, таких как производство, энергетика, медицина, аэрокосмическая промышленность, электроника и информационные технологии, напрямую зависит от качества используемого метрологического оборудования и технического состояния его прецизионных частей [1, 2]. В этой связи обеспечение надежности метрологического оборудования считается одной из главных проблем современной науки и промышленности.

Прецессионные детали промышленного метрологического оборудования, то есть механические, оптические и электронные компоненты, требующие

высокой точности, в процессе эксплуатации подвергаются различным внешним и внутренним воздействиям. Изменения температуры, механический износ, вибрация, коррозия, электромагнитные поля и изменения внутренней структуры материала снижают точность и долговечность этих деталей. В результате увеличиваются погрешности измерений, сокращается период калибровки приборов и возрастают эксплуатационные расходы [3]. Традиционных технологических методов уже недостаточно для решения этих проблем, и необходимы более инновационные подходы.

В последние годы стремительное развитие нанотехнологий открыло новые возможности в области материаловедения и прецизионной механики. Поскольку нанотехнологические методы позволяют контролировать материю на атомном и

молекулярном уровнях, можно значительно улучшить механическую прочность, износостойкость, коррозионную стойкость и функциональные свойства материалов [4]. Эти особенности делают нанотехнологии очень перспективным направлением в обеспечении надежности прецизионных деталей метрологического оборудования.

Применение покрытий на основе наночастиц, получение нанокомпозитных материалов, наноструктурирование поверхностей и методы модификации на атомном уровне [5] могут радикально изменить эксплуатационные свойства прецизионных деталей. Например, защитные покрытия нанометрового размера [6] снижают коэффициент трения, минимизируют механический износ и повышают устойчивость поверхности к микротрещинам. Это обеспечивает стабильную работу измерительных приборов и долговременную надежность результатов измерений.

Надежность прецессионных деталей, используемых в метрологическом оборудовании, не ограничивается только физической прочностью, но также имеет большое значение тот факт, что точность их измерений не меняется со временем. Нанотехнологические методы позволяют регулировать коэффициент теплового расширения материалов [7], стабилизировать электрические и магнитные свойства [8]. Это также создает условия для создания высокоточных измерительных систем и их длительной эксплуатации.

Актуальность темы обусловлена также ее экономической и технологической эффективностью. В результате применения нанотехнологий увеличивается срок службы метрологического оборудования, снижаются затраты на ремонт и калибровку, повышается надежность измерительных процессов. Это, помимо повышения производительности промышленных предприятий, также играет важную роль в обеспечении соответствия международным стандартам.

Основная цель данной работы – исследование научно-технических основ обеспечения надежности прецессионных элементов метрологического оборудования

с использованием нанотехнологических методов. Для достижения этой цели изучаются основные принципы нанотехнологий, анализируются основные неисправности, возникающие в прецессионных элементах, и оценивается роль нанотехнологических подходов в устранении этих неисправностей.

В машиностроительной отрасли метрологическое оборудование играет важную роль в обеспечении точности результатов измерений и поддержании соответствия измерительных единиц стандартам. Метрологическое оборудование используется для определения длины, массы, времени, температуры, давления, электричества и других физических величин в соответствии со своим функциональным назначением. Стандартные измерительные приборы предназначены для проверки и калибровки других измерительных приборов. Эти устройства обладают высокой точностью и эксплуатируются в специальных условиях хранения [9, 10].

Метрологическое оборудование, используемое в машиностроительной промышленности, играет важную роль в автоматизации производственных процессов и контроле качества. Поскольку точность приборов при измерении напрямую влияет на качество продукции, к оборудованию предъявляются более жесткие требования. Высокая надежность измерительных систем и стабильная работа в экстремальных условиях считаются главным условием в технологических линиях машиностроительной промышленности [11].

Применение цифровых технологий играет особую роль в развитии современного метрологического оборудования. Цифровые измерительные системы обладают такими преимуществами, как высокая чувствительность, быстрая обработка и автоматическая запись результатов измерений. Однако обеспечение этих преимуществ напрямую зависит от технического уровня прецизионных частей оборудования [12].

Эти детали изготавливаются по принципу минимальных размеров и производятся из специальных материалов для обеспечения стабильности результатов

измерений. К прецессионным деталям относятся высокоточные элементы, зубчатые механизмы, оптические линзы, сенсорные элементы, измерительные шкалы и опорные поверхности [13].

Главная особенность прецессионных деталей – их механическая и физическая стабильность. Даже малейшая деформация этих деталей в процессе измерения может серьезно повлиять на результаты измерения. Поэтому прецессионные детали обладают такими свойствами, как высокая прочность, низкий коэффициент трения и устойчивость к изменениям температуры [14]. Функциональные свойства этих деталей тесно связаны с типом используемых материалов и технологией изготовления. Традиционно для изготовления прецизионных деталей использовались сталь, керамика, стекло и специальные сплавы [15]. В последнее время предпочтение отдается композитным и наноструктурированным материалам с целью улучшения функциональных свойств этих материалов [16]. Надежная работа прецессионных элементов также напрямую влияет на интервал калибровки измерительных систем. Более надежные элементы дольше сохраняют точность измерений, что обеспечивает непрерывность измерительных процессов. В этом отношении качество прецессионных элементов является одним из главных факторов, определяющих общую эффективность метрологического оборудования [17]. Факторы, влияющие на надежность прецессионных деталей, делятся на две основные группы: внутренние и внешние [18]. К внутренним

Модель и экспериментальное исследование

Для обеспечения надежности прецизионных деталей метрологического оборудования на машиностроительном предприятии, использующем нанотехнологии, крайне важно построить математическую модель. Такая модель позволяет анализировать поведение оборудования и оптимизировать его характеристики с учетом условий эксплуатации. Данная модель

факторам относятся структурные свойства материала, технология производства и конструктивные решения. Однородность, кристаллическая структура и механическая прочность материала играют решающую роль в долговечности прецессионных деталей [19].

Внешние факторы связаны с условиями эксплуатации. Изменения температуры вызывают термическое расширение материала, что приводит к нарушению точности измерений [20]. Механические нагрузки и вибрации вызывают образование микротрещин на поверхности прецессионных деталей. В то же время влажность и агрессивные среды ускоряют коррозионные процессы, ослабляя функциональные свойства деталей. Трение и износ являются одними из основных факторов, снижающих надежность прецессионных деталей [21]. В процессе длительной эксплуатации происходит износ поверхностей, что снижает точность измерительных механизмов. Хотя для решения этой проблемы используются смазки, традиционные методы не всегда достаточно эффективны.

Все эти факторы показывают, что обеспечение надежности прецессионных деталей требует комплексного подхода. Именно на этом этапе применение нанотехнологических методов приобретает особое значение. С помощью нанотехнологий можно изменять поверхностные свойства материалов, повышать их износостойкость и коррозионную стойкость, а также поддерживать стабильную точность измерений в течение длительного времени.

предназначена для оценки как микроскопических свойств материала, так и его механических характеристик. Основной математической моделью для этой цели будут использоваться метод конечных элементов (МКЭ), модель трения и износа, модель распределения температуры и модель коррозии метрологического оборудования, используемая на машиностроительном

заводе. Модель износа и трения прецессионных деталей является одним из основных факторов, определяющих надежность этих деталей в течение длительного периода эксплуатации. Для повышения надежности этих деталей с учетом коэффициента трения и износостойкости материалов, обработанных с помощью нанотехнологий, используется следующее математическое выражение:

$$dV/dt = k\sigma v, \quad (1)$$

где dV – скорость износа детали ($\text{см}^3/\text{с}$); k – коэффициент износа (основанный на свойствах нанотехнологического

материала); σ – нагрузка ($\text{Н}/\text{м}^2$); v – скорость движения ($\text{м}/\text{с}$).

Используемая модель оценивает скорость износа материала метрологического оборудования и эффекты трения в условиях его эксплуатации. Входными параметрами для экспериментального исследования являются: $\sigma = 5 \times 10^6 \text{ Н}/\text{м}^2$; $v = 0,01 \text{ м}/\text{с}$; k_1 (классический) = 1×10^{-6} ; k_2 (нано) = 3×10^{-7} . Для экспериментальной оценки показателей процесса износа материала составлены табл. 1 и график 1 в соответствии с временными рядами для классических и нанотехнологических материалов (рис. 1).

Таблица 1

Экспериментальная оценка процесса износа материала метрологического оборудования

Table 1

Experimental evaluation of the material wear of metrological equipment

Время t(с)	Объём износа для классического материала (см^3)	Объём износа – нанотехнологического материала (см^3)
0	0,0000	0,0000
100	0,0050	0,0015
200	0,0100	0,0030
300	0,0150	0,0045
400	0,0200	0,0060
500	0,0250	0,0075
600	0,0300	0,0090
700	0,0350	0,0105
800	0,0400	0,0120
900	0,0450	0,0135
1000	0,0500	0,0150



Рис. 1. График экспериментальной оценки процесса износа материала метрологического оборудования

Fig. 1. Graph of the experimental evaluation of the material wear of metrological equipment

Experimental parameters of friction of metrological equipment material

Нормальная сила F_n (Н)	Сила трения – классического материала F_f (Н)	Сила трения – нанотехнологического материала F_f (Н)
10	3,5	1,2
20	7,0	2,4
30	10,5	3,6
40	14,0	4,8
50	17,5	6,0
60	21,0	7,2
70	24,5	8,4
80	28,0	9,6
90	31,5	10,8
100	35,0	12,0

Коэффициент трения:

$$\mu = \frac{F_f}{F_n}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент трения; F_f – сила трения; F_n – нормальная сила.

Согласно выражению (2), определена зависимость силы трения от нормальной нагрузки:

$$F_f = \mu F_n.$$

Для экспериментального исследования вводятся следующие входные параметры: $\mu_k = 0,35$ (коэффициент трения классического материала), $\mu_n = 0,12$ (коэффициент трения наноматериала).

Для экспериментальной оценки показателей процесса трения материала построены табл. 2 и график в зависимости от времени для классических и нанотехнологических материалов (рис. 2).

Анализ экспериментальных таблиц показывает, что объем износа материалов, обработанных нанотехнологическими методами, увеличивается со временем значительно меньше, чем у классических материалов. За 1000 секунд работы объем

$$V(t) = V_0 + \int_0^t k \sigma(t) v(t) dt, \quad (3)$$

где $V(t)$ – общее изменение объема износа; V_0 – начальный износ (предполагается износ, наблюдаемый в первых циклах); t – время (с).

В модели износа используется несколько практических подходов для учета изменяющихся условий эксплуатации. Главная цель – корректно выразить изменяющиеся во времени давление $\sigma(t)$ и скорость $v(t)$.

износа уменьшается примерно в 3 раза. Сравнение сил трения доказывает, что коэффициент трения на поверхностях с нанопокрывтием значительно ниже и остается стабильным при увеличении нагрузки. Эти факторы приводят к повышению надежности прецессионных деталей метрологического оборудования.

Метрологическое оборудование с использованием нанотехнологий Этот параметр оказывает положительное влияние на повышение надежности обрабатываемых деталей, поскольку коэффициент трения в материалах снижается. Для разработки такой модели можно использовать динамические математические уравнения, учитывающие изменяющиеся во времени эффекты. Например, скорость износа детали может меняться со временем, поскольку скорость износа изменяется с каждым последующим увеличением давления и скорости. Для таких моделей используются следующие уравнения:

Согласно подходу стационарных режимов, рабочий процесс делится на режимы низкой, средней и высокой нагрузки. Здесь для каждого режима σ_i , v_i и время Δt_i принимаются постоянными. Этот метод чаще всего используется для экспериментальных данных, основанных на дискретных измерениях.

Время делится на небольшие шаги.

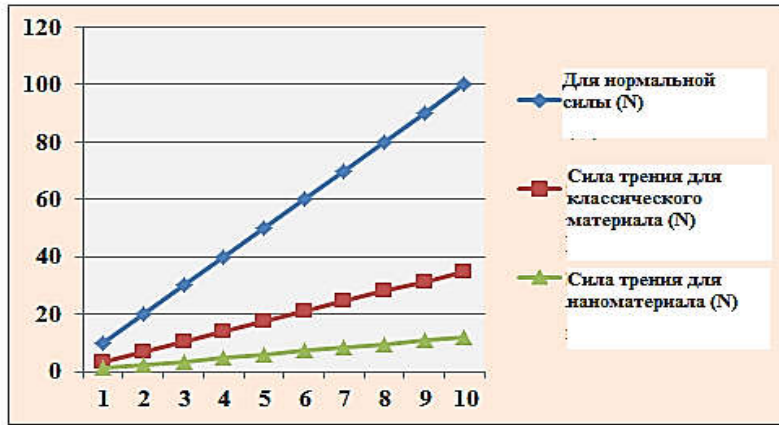


Рис. 2. Экспериментальные графики показателей процесса трения материала метрологического оборудования
 Fig. 2. Experimental graphs of indicators of the friction process of the material of metrological equipment

Значения $\sigma(t_j)$ и $v(t_j)$, измеренные датчиками, непосредственно включаются в расчет.

$$\sigma(t) = \sigma_0 + at, \quad v(t) = v_0 + bt. \quad (4)$$

Периодическое изменение

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 \sin(\omega t), \quad (5)$$

где σ_0 , v_0 – соответственно начальное давление и скорость; a , b – коэффициенты роста.

В этом случае интеграл в (3) вычисляется аналитически. При переходах между режимами учитываются показатели ускорения и нагрузки. Для $\sigma(t)$ и $v(t)$ выбираются гладкие функции, а коэффициент износа k также принимается

Если изменение режима является регулярным, то происходит линейный рост, который записывается в виде:

зависящим от режима, т.е. $k = k(\sigma, v)$. В результате можно отметить, что для получения переменных режимов работы целесообразно разделить процесс на режимы и выполнить поэтапно-линейные вычисления или вычислить интеграл, задав $\sigma(t)$ и $v(t)$ как функцию времени.

Если подставить функции (4) и (5) в (3), получим следующее:

$$V(t) = V_0 + k \int_0^t (\sigma_0 + at)(v_0 + bt) dt. \quad (6)$$

Преобразовав выражение, получаем

$$(\sigma_0 + at)(v_0 + bt) = \sigma_0 v_0 + (\sigma_0 b + v_0 a)t + abt^2. \quad (7)$$

Затем, в результате интегрирования, получаем следующее выражение:

$$V(t) = V_0 + k \left[\sigma_0 v_0 t + \frac{(\sigma_0 b + v_0 a)t^2}{2} + \frac{abt^3}{3} \right]. \quad (8)$$

Для оценки процесса износа метрологического прибора также приведены экспериментальные данные: начальный износ – $V_0 = 0,02$ мм³; коэффициент износа – $k = 2 \times 10^{-1}$ Па; временной интервал – $t = 1000$ с.

Выражение (4) используется для определения изменения давления в зависимости от времени t . Здесь $\sigma_0 = 50$ МПа, $a = 0,02$ МПа/с. Выражение (5) используется для оценки процесса изменения скорости со временем. Здесь $v_0 = 0,5$ м/с, $b = 0,0005$ м/с².

При вводе вышеуказанных входных данных в (8) получается следующее значение: $V(t) = 0,02009$ мм³. Входные данные, введенные в показатель степени и полученные значения $k\sigma v \Delta t$ показаны в табл. 3.

В табл. 3 показано накопление износа с учетом изменения давления и скорости с дискретным временным шагом. Результаты расчетов также подтверждают нелинейное увеличение объема износа со временем на графике (рис. 3).

Входные данные, введенные в показатель степени и полученные значения $k\sigma v \Delta t$

Table 3

Input data entered into the exponent and the resulting values of $k\sigma v \Delta t$

m_u, c	$\sigma(t_i), \text{МПа}$	$v(t_i), \text{м/с}$	$k \sigma v \Delta t, \text{мм}^3$	$V(t_i), \text{мм}^3$
0	50,0	0,50	–	0,02000
100	52,0	0,55	$5,72 \times 10^{-6}$	0,02001
200	54,0	0,60	$6,48 \times 10^{-6}$	0,02002
300	56,0	0,65	$7,28 \times 10^{-6}$	0,02003
400	58,0	0,70	$8,12 \times 10^{-6}$	0,02004
500	60,0	0,75	$9,00 \times 10^{-6}$	0,02005
600	62,0	0,80	$9,92 \times 10^{-6}$	0,02006
700	64,0	0,85	$1,09 \times 10^{-5}$	0,02007
800	66,0	0,90	$1,19 \times 10^{-5}$	0,02008
900	68,0	0,95	$1,29 \times 10^{-5}$	0,02009
1000	70,0	1,00	$1,40 \times 10^{-5}$	0,02009

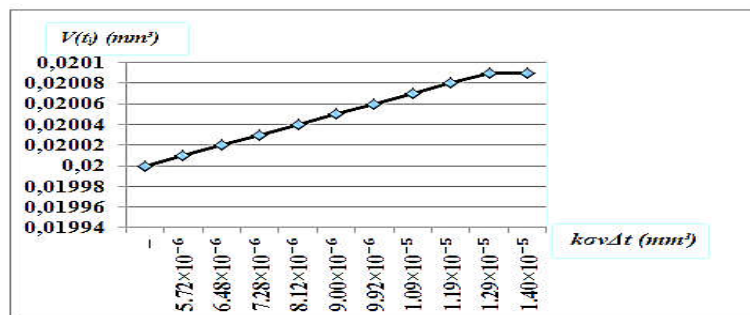


Рис. 3. Нелинейный график изменения объема износа во времени
 Fig. 3. Nonlinear graph of changing the wear extent over time

В связи с повышенной стабильностью наноматериалов при высоких температурах, важно оценить поведение материалов в таких условиях. Для моделирования теплового поведения рассчитываются теплопроводность и тепловая диффузия. При этом используется уравнение рассеивания тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T, \quad (9)$$

где T – температура ($^{\circ}\text{C}$); t – время (с); α – коэффициент тепловой диффузии ($\text{м}^2/\text{с}$); $\nabla^2 T$ – вторая производная температуры, т.е. распределения тепла.

Это уравнение позволяет оценить скорость теплопередачи и термическое напряжение материала. Проведем эксперимент для оценки поведения метрологического оборудования, используемого в производственном процессе, в зависимости от теплового режима. Затем для оценки надежности работы нанотехнологических материалов метрологического оборудования в тепловом режиме, показатели теплового поведения в зависи-

мости от высоких температур представлены в табл. 4.

В табл. 4 отражаются следующие показатели: t – момент измерения температуры; T – фактическая температура материала; ∇T – разница температур внутри материала; α – коэффициент тепловой диффузии, рассчитанный на основе уравнения Фурье. Согласно табл. 4 построен экспериментальный график зависимости температуры от времени (рис. 4).

Коррозионная стойкость материала метрологического оборудования также очень важна при длительной эксплуатации деталей, подверженных коррозионному воздействию.

Для моделирования процессов коррозии используются ток коррозии:

$$I = k A (E_{corr} - E). \quad (10)$$

Здесь I – ток коррозии (А); k – коэффициент скорости коррозии; A – площадь поверхности (м^2); E_{corr} – потенциал коррозии (В); E – внутренний потенциал (В).

Показатели теплового поведения метрологического оборудования
в зависимости от высоких температур

Table 4

Indicators of thermal behavior of metrological equipment depending on high temperatures

№ измерения	Время, t (с)	Температура, T ($^{\circ}\text{C}$)	Температурный градиент, ∇T ($^{\circ}\text{C}/\text{м}$)	Коэффициент тепловой диффузии, α ($\text{м}^2/\text{с}$)	Примечание
1	0	25	0	0,000012	Исходная ситуация
2	60	100	15	0,000013	Стабильный рост
3	120	200	28	0,000013	Стабильная наноструктура
4	180	300	35	0,000014	Минимальное тепловое напряжение
5	240	400	40	0,000015	Высокая износостойкость



Рис. 4. Экспериментальный график зависимости температуры прецизионной части метрологического оборудования от времени
 Fig. 4. Experimental graph of the temperature dependence of the precision part of the metrological equipment on time

Данная модель основана на разработке метрологического оборудования с использованием нанотехнологий. Он оценивает коррозионную стойкость материалов и обеспечивает надежность при длительной эксплуатации. Для изучения процесса коррозии прецизионной части метрологического оборудования были получены экспериментальные данные для различных материалов прецизионных элементов (табл. 5).

Согласно табл. 5, экспериментальным показателям процесса коррозии прецизионной части метрологического оборудования и в зависимости от типа

материала, построены графики (рис. 5). Предложенные математические модели и экспериментальные результаты (табл. 1–5, рис. 1–5) рассматриваются как важный инструмент обеспечения надежности прецизионных деталей метрологического оборудования на машиностроительных предприятиях с использованием нанотехнологических методов.

Разработка модели обеспечивает высокоточную работу и долговременную надежность каждой детали. С помощью моделирования можно выбрать оптимальные решения для различных материалов метрологического оборудования и условий их эксплуатации.

Experimental data for various materials of precession elements

Тип материала	Площадь поверхности A (m^2)	Потенциал коррозии, $E_{корр}$ (В)	Внутренний потенциал, E (В)	Коэффициент скорости коррозии k	Температура ($^{\circ}C$)	Время (часы)	Расчетный ток коррозии, I (А)
Нержавеющая сталь	0,0025	0,45	0,30	0,012	25	24	0,0000045
Алюминиевый сплав	0,0025	0,60	0,35	0,018	25	24	0,000011
Бронза	0,0025	0,50	0,40	0,1510	25	24	0,0000038

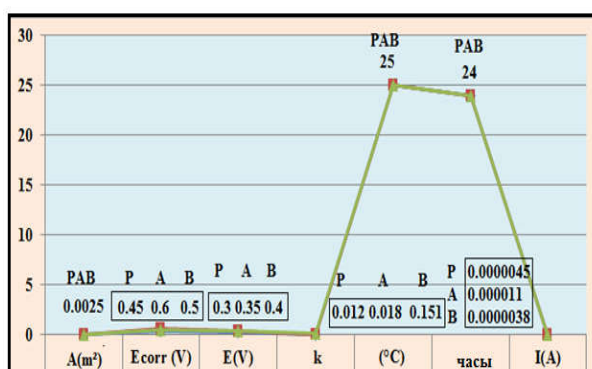


Рис. 5. График экспериментальных показателей процесса коррозии материалов прецессионной части метрологического оборудования (состоящих из стали (P), алюминия (A), бронзы (B))

Fig. 5. Graph of experimental corrosion parameters of precession part materials of metrological equipment (consisting of steel (P), aluminum (A), bronze (B))

Результаты

Исследования показали, что надежность прецессионных элементов метрологического оборудования для машиностроительных предприятий имеет решающее значение для точности и стабильности измерительных систем. Такие факторы, как износ, трение, перепады температуры и коррозия во время эксплуатации, негативно влияют на функциональные свойства этих элементов и приводят к увеличению погрешностей измерений.

Применение нанотехнологических методов позволяет эффективно решать эти проблемы. Наноструктурированные покрытия и наноматериалы повышают механическую прочность прецизионных деталей, снижают трение и продлевают срок их службы. При этом применяемые в статье методы обеспечивают долговременную стабильность точности измерений, повы-

шая надежность метрологического оборудования. Обеспечение надежности прецессионных деталей с использованием нанотехнологических методов рассматривается как перспективное направление для будущих исследований и практических применений, являющееся одновременно технически и экономически эффективным.

Исследование показало, что применение методов нанотехнологий является не только технически, но и экономически эффективным. Увеличение срока службы прецессионных деталей, расширение интервалов калибровки и снижение затрат на техническое обслуживание повышают общую эффективность производственных процессов. Это создает условия для повышения конкурентоспособности предприятий и обеспечения соответствия международным стандартам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ измерительных систем. Справочное руководство. 3-е, переработанное издание. и мяч. Н. Новгород: СМЦ Приоритет, 2003. 230 с.
2. Системы качества в автомобилестроении. Методы статистического контроля процессов. М.: Изд-во стандарты. 36 с. ГОСТ Р 51814.3–2001.
3. Фраден Дж. Справочник современных датчиков: физика, конструкция и применение. Springer, 2015, с. 101-156.
4. Smith GT Industrial Metrology: Surfaces and Roundness. Springer, 2016, p. 55-112.
5. Иванов Ю.П. Информационно-статистическая теория измерений. Модели сигналов и анализ точности систем: учебник / Ю.П. Иванов, Б.Л. Бирюков. СПб.: ГУАП, 2008. 160 с.
6. Иванов Ю.П. Комплексование информационно-измерительных приборов летательных аппаратов. Учебное пособие для узов / Ю.П. Иванов, А.Н. Сняжков, И.В. Филатов. Л.: Машиностроение, Ленинград. Кафедра. 1984. 207 с.
7. Иванов Ю.П. Информационно-статистическая теория измерений. Методы оптимального синтеза информационно-измерительных систем, критерии оптимизации и оценочные свойства: учебное пособие / Ю.П. Иванов, В.Г. Никитин. ГУАП, 2011. -102 с.
8. Иванов Ю.П. Универсальная конечно-временная и спектрально-конечная методология оптимальной обработки произвольных сигналов на фоне произвольных шумовых измерений с одноомодальным распределением / Ю.П. Иванов // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: VI Международный форум: Сат. ст. // под ред. академика РАН В. В. Окрепиловой. СПб: ГУАП, 2024. с. 112-113.
9. Виноградова Н.А., Гайдученко В.В., Карякин А.И. Основы построения информационно-измерительных систем: руководство по системной интеграции. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 268 с.
10. Р.А. Алиев, М.А. Ахмедов, Д. Ф. Мамедов, А. Г. Гусейнов. Создание инструмента для автоматизированного проектирования нестандартных элементов гибкой производственной системы. Автоматизация и современные технологии, № 1, 2010. с. 28-32.
11. Кирин И. Г. Специальные радиационно-стойкие волоконно-оптические и оптоэлектронные датчики и системы. М.: Университет, 2008. 148 с.
12. Кирин И. Г. Оптоэлектронное устройство для измерения тока: авторское свидетельство СССР 1597743 А1, 1990.
13. Новицкий П. Б. Динамика ошибок измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 191 с.
14. Горшина И.П., Якушенков Ю.Г. Выбор приемника излучения при проектировании оптико-электронного устройства: учебный . пособие. М.: Изд-во МИИ-ГАиК, 2017. 58 с.
15. МИ 1317-2004. Государственная система обработки единства измерений. Результаты и характеристики погрешностей измерений. Формы представления. Методы использования при испытаниях промышленных образцов и контроле их параметров. МИ 1317-86. М., 2004. 50 с.
16. Мамедов Дж. Ф., Талыбов Н.Г., Тагиева Т.А. Экспертный выбор и оценка инновационного проекта в технологическом парке. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, менеджмент, радиоэлектроника. Том 17, № 4, 2017. с. 161-165.
17. Ефремова, Н.Ю. Оценка неопределенности размеров. Практическое пособие Н.Ю. Ефремова. Минск: БелГИМ, 2003. 50 с.
18. Точность методов и результатов измерений. Часть 6. Применение определений точности на практике: СТБ ИСО 5725–6–2002. Введ. 01.07.2003. Минск: Госстандарт: Белорус. Институт стандартизации и сертификации, 2000. 50 с.
19. Система технического обслуживания измерений Республики Беларусь. Метрологическое подтверждение пригодности методов измерений. Правила работы: ТКП 8.006–2011. - Введ. 01.02.2012. Минск: Госстандарт: Беларусь Г.Ос. Стандартизация и сертификация в области информационных технологий, 2011. 12 с.
20. Единая система проектной документации. Общие требования к текстовым документам: ГОСТ 2.105–95. - Введ. 01.07.1996. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2005. 30 с.
21. Александров В.С., Собенин А.П. Работы ВНИИМ им. Д.И. Менделеева по метрологическому обеспечению нанотехнологий, Мир стандартов, ул. 6-10, № 5(16), 2007.
22. Годуа, П. А. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях и наноиндустрии / П. А. Годуа // Измерительное оборудование, 2008. № 5. с. 5-21.
23. Лукашов Ю. Е. Место и роль верификации и калибровки / Ю. Е. Лукашов // Главный метролог. 3(1) и № 2. 2006. с. 45-53.

REFERENCES

1. Analysis of measuring systems: reference manual. 3rd ed. Novgorod: Prioritet; 2003.
2. GOST P 51814.3–2001. Quality systems for automotive industry. Methods of statistical process control. Moscow: Gosstandart of Russia; 2002.
3. Fraden J. Handbook of modern sensors: physics, design and application. Springer; 2015.
4. Smith GT Industrial Metrology: Surfaces and Roundness. Springer; 2016.
5. Ivanov YuP, Biryukov BL. Information and statistical theory of measurements. Signal models and ac-

- curacy analysis of systems: textbook. St. Petersburg: GUAP; 2008.
6. Ivanov YuP, Sinyakov AN, Filatov IV. Integration of information and measuring devices of aircraft: textbook for higher school. Leningrad: Mashinostroenie; 1984.
 7. Ivanov YuP, Nikitin VG. Information and statistical theory of measurements. Methods of optimal synthesis of information and measurement systems, optimization criteria and evaluation properties: textbook. St. Petersburg: GUAP; 2011.
 8. Ivanov YuP. Universal finite-time and spectral-finite methodology for optimal processing of arbitrary signals against the background of arbitrary noise measurements with a single-modal distribution. Collection of Papers of VI International Forum, 2024: Metrological Support of Innovative Technologies; Saint Petersburg: GUAP; 2024.
 9. Vinogradova NA, Gaiduchenko VV, Karyakin AI. Fundamentals of building information and measurement systems: a guide to system integration. Moscow: MEI Publishing House; 2004.
 10. Aliev RA, Akhmedov MA, Mammedov DF, Huseynov AG. Automatic projecting instrument creation of the nonstandard components for flexible production system. Automation. Modern Technologies. 2010;1:28-32.
 11. Kirin IG. Special radiation-resistant fiber-optic and optoelectronic sensors and systems. Moscow: University; 2008.
 12. Kirin IG. Optoelectronic device for current measurement: copyright certificate of the USSR 1597743 A1; 1990.
 13. Novitsky PB. Dynamics of measurement errors. Leningrad: Energoatomizdat; 1990.
 14. Torshina IP, Yakushenkov YuG. The choice of a radiation receiver in the design of an optoelectronic device: textbook. Moscow: Publishing House of MIA-GAIK; 2017.
 15. MI 1317-2004. State system of measurement uniformity processing. Results and characteristics of measurement errors. Forms of representation. Methods of use in testing industrial samples and control of their parameters. Moscow; 2004.
 16. Mammedov JF, Talibov NG, Tagieva TA. Expert selection and evaluation of an innovative project in a technology park. Bulletin of the South Ural State University. Computer Technology, Management, Radio electronics. 2017;17(4):161-165.
 17. Efremova, NYu. Estimation of size uncertainty: practical guide. Minsk: BelGIM; 2003.
 18. Belarusian State Institute of Standardization and Certification. Accuracy of measurement methods and results. Application of accuracy definitions in practice: STB ISO 5725-6-2002. Minsk: Gosstandart; 2000.
 19. Belarusian State Institute of Standardization and Certification. Measurement maintenance system of the Republic of Belarus. Metrological confirmation of the suitability of measurement methods. Working rules: TKP 8.006–2011. Minsk: Gosstandart; 2011.
 20. GOST 2.105–95. Unified system for design. General requirements for textual documents. Moscow: Gosstandart; 2005.
 21. Aleksandrov VS, Sobenin AP. The work of the Mendeleev VNIIM on metrological support of nanotechnology. Mir Standartov. 2007; 5(16):6-10.
 22. Todua PA. Metrology and standardization in nanotechnology and nanoindustry. Izmeritelnoe Oborudovanie. 2008;5:5-21.
 23. Lukashov YuE. The place and role of verification and calibration. Glavny Metrolog. 2006;3(1):45-53.

Информация об авторах:

Сулейманова Набат – PhD по технике, доцент, доцент кафедры «Автоматика и механика» Сумгаитского государственного университета, тел. +994 706644009.

Мустафтаева Ниджар – преподаватель кафедры «Автоматика и механика» Сумгаитского государственного университета.

Suleymanova Nabat – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Automation and Mechanics at Sumgait State University, phone: +994 706644009.

Mustafaeva Nijar – Lecturer of the Department of Automation and Mechanics at Sumgait State University.

Гулиева Хумай – старший преподаватель кафедры «Автоматика и механика» Сумгаитского государственного университета.

Gulieva Humai – Senior Lecturer of the Department of Automation and Mechanics at Sumgait State University.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 26.01.2026; одобрена после рецензирования 05.02.2026; принята к публикации 27.02.2026. Рецензент – Шалыгин М.Г., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 26.01.2026; approved after review on 05.02.2026; accepted for publication on 27.02.2026. The reviewer is Shalygin M.G., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.



НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ!

***В Брянском государственном техническом университете в 2026 году продолжается приём на направление подготовки бакалавров
09.03.03 – Прикладная информатика,
профиль «Компьютерное проектирование и дизайн»***

Развитие техники и технологий в современном мире предъявляют к промышленным машинам и механизмам не только требования в обеспечении надёжности, долговечности и безопасности, но и требования современного дизайна, эстетичности, удобства пользования и оптимальной конструкции. Современные системы 3D-моделирования и виртуализации позволяют на новом уровне переосмыслить промышленный дизайн и создавать инновационную продукцию.

В современной динамично развивающейся России, имеется недостаток в высококвалифицированных специалистах в области компьютерного проектирования и дизайна, которые способны на основе инженерных расчётов разработать инновационный дизайн промышленных объектов с применением самых современных инструментов – промышленных пакетов программ, CAD / CAM / CAE систем, а также 3D-прототипирования, систем виртуальной реальности и прикладного программирования.

Объектом профессиональной деятельности выпускника является промышленный дизайн и проектирование технических систем, машин и механизмов с помощью современных IT технологий, 3D-прототипирования и виртуализации. Областью знаний будущих выпускников является способность выполнять расчёт и проектирование машин и механизмов, применять прикладное программирование для решения технических задач и создавать современный дизайн промышленных объектов с помощью IT технологий.

Будущий выпускник будет востребован конструкторскими организациями, промышленными предприятиями, научно-исследовательскими учреждениями, высшими учебными заведениями в качестве инженера-проектировщика, прикладного программиста или дизайнера технических систем, а материально-техническая база университета и кафедры, квалифицированный преподавательский состав и продуманный учебный план подготовки бакалавра гарантирует получение студентами глубоких знаний в области промышленного дизайна, прикладного программирования и проектирования современных промышленных машин, комплексов и оборудования.

Контактная информация

Сайт университета: www.tu-bryansk.ru
Приемная комиссия: pk@tu-bryansk.ru

Тел.: 8 (4832) 58-82-64,
8 (4832) 51-03-57