

Повышение качества гидравлических машин поршневого типа

В.Е. Овсянников, Р.Ю. Некрасов, А.С. Губенко

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В статье рассматриваются вопросы повышения качества гидравлических машин поршневого типа. В качестве базового образца рассматривается буровой насос. Служебное назначение бурового насоса заключается в подаче раствора.

Основная проблема, которая возникает при эксплуатации гидравлических машин данного типа, является повышенный износ рабочих поверхностей втулок цилиндров. Преимущественно это вызвано наличием фракций в буровом растворе, которые обладают повышенными абразивными свойствами. Для повышения долговечности узла в качестве материала для изготовления втулки используют высокохромистые легированные чугуны типа ИЧХ-22. Однако данные детали являются дорогостоящими. Также следует отметить, что высокохромистый чугун имеет худшие литейные свойства, по сравнению с другими марками чугунов (например, серыми чугунами).

Цель данного исследования состоит в обосновании возможности использования втулки из модифицированного чугуна в конструкции цилиндров буровых насосов и оценки степени влияния такой замены на качество узла.

Методы. Для повышения качества гидравлических машин поршневого типа предлагается использовать серый чугун, который подвергнут упрочнению посредством нагрева в контакте со смесью оксидов легирующих элементов. Учитывая тот факт, что качество является комплексным свойством оценку его целесообразно выполнять на основе сравнения как технических, так и экономических аспектов. Комплексная оценка проводилась дифференциальным методом по технико-экономическим показателям: герметичность соединения пары «втулка-шток», интенсивность износа поверхностного слоя втулки цилиндра, прочность, жёсткость и себестоимость. Герметичность и износ определялась расчётным методом с использованием данных по результатам экспериментов о свойствах упрочнённого слоя, прочность и жёсткость втулок определялись с использованием метода конечных элементов.

Результаты. Полученные результаты, показывают, что по износостойкости и герметичности предлагаемый вариант не уступает базовому, а по себестоимости – существенно эффективнее. Анализ вариантов проводился без учёта технологических аспектов, таких как производительность обработки и процент брака. В качестве перспективы для дальнейших исследований, следует рассмотреть и указанные критерии.

Заключение. В ходе проведенных исследований было установлено, что рабочая часть втулки, которая изготовлена из легированного чугуна может быть заменена на модифицированный серый чугун. В результате оценки уровня качества установлено, что результирующий показатель качества для предлагаемого варианта выше, чем для базового. Хотя частные показатели качества, характеризующие функциональное назначение для модифицированного чугуна несколько ниже, экономический эффект от использования таких втулок существенно превышает аналог. Таким образом, результирующий показатель, характеризующий качество втулок в целом для модифицированного серого чугуна, существенно превышает аналог.

Ключевые слова: качество; повышение; квалиметрия; гидравлические машины; коэффициент сравнения.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Овсянников В.Е., Некрасов Р.Ю., Губенко А.С. Повышение качества гидравлических машин поршневого типа// Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 4. С. **x-y**. DOI: [10.17816/0321-4443-641839](https://doi.org/10.17816/0321-4443-641839) EDN: SDRKEE

Improving the Quality of Piston-Type Hydraulic Machines

Viktor E. Ovsyannikov, Roman Yu. Nekrasov, Arseniy S. Gubenko

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The paper discusses the issues of improving the quality of piston-type hydraulic machines. The base case is the mud pump. The service purpose of the mud pump is to supply mud.

The main problem that occurs when operating hydraulic machines of this type is increased wear of the working surfaces of the cylinder sleeves. This is mainly due to the presence of fractions in the drilling mud, which have increased abrasive properties. To increase the durability of the assembly, high-chromium alloyed cast irons of the IChKh-22 type are used as a material for making the sleeve. However, these parts are expensive. It should also be noted that high-quality cast iron has worse foundry properties compared to other types of cast iron (for example, gray cast iron).

AIM: Justification of the possibility of improving the quality of piston-type hydraulic machines by improving the design of the cylinder assembly.

METHODS: To improve the quality of piston-type hydraulic machines, it is proposed to use gray cast iron, which is hardened by heating in contact with a mixture of oxides of alloying elements. Considering the fact that quality is a complex property, it is reasonable to evaluate it based on a comparison of both technical and economic aspects. The complex assessment was carried out using a differential method based on technical and economic indicators: tightness of the connection of the "sleeve-rod" pair, wear rate of the surface layer of the cylinder sleeve, strength, rigidity and cost. The tightness and wear were determined by calculation using experimental data on the properties of the hardened layer, and the strength and stiffness of the bushings were determined using the finite element method.

RESULTS: The results obtained show that the proposed variant is not inferior to the basic one in terms of wear resistance and tightness, and is significantly more efficient in terms of cost. Analysis of the options was carried out without taking into account technological aspects such as processing performance and the percentage of defects. As a perspective for further research, these criteria should also be looked at.

CONCLUSION: In the course of the research, it was found that the working part of the sleeve, which is made of alloy cast iron, can be replaced with modified gray cast iron. As a result of the assessment of the quality level, it was found that the resulting quality indicator for the proposed option is higher than for the basic one. Although the specific quality indicators characterizing the functional purpose for modified cast iron are somewhat lower, the economic effect of using such bushings is significantly higher than its counterpart. Thus, the resulting indicator characterizing the quality of bushings in general for modified gray cast iron significantly exceeds its analogues.

Keywords: quality; improvement; qualimetry; hydraulic machines; comparison factor.

TO CITE THIS ARTICLE:

Ovsyannikov VE, Nekrasov RYu, Gubenko AS. Improving the Quality of Piston-Type Hydraulic Machines. Tractors and Agricultural Machinery. 2025;92(4):x-y DOI: 10.17816/0321-4443-641839 EDN: SDRKEE

ОБОСНОВАНИЕ

Одними из самых распространённых на практике типов гидравлических машин являются поршневые насосы. Типичными представителями машин данного класса, являются буровые насосы типа УНБТ (универсальный насос буровой трёхпоршневой). Служебное назначение данного оборудования заключается в обеспечении процесса циркуляции технических жидкостей в процессе разработки скважин.

Основным узлом, который обеспечивает выполнение машиной своего служебного назначения, является контактирующая пара поршень–втулка цилиндра. В работах [1–3] был выполнен анализ технических причин выхода из строя насосов УНБТ, а также проведена оценка рисков с декомпозицией по узлам. Результаты данных исследований показывают, что наибольшую проблему с точки зрения обеспечения качества работы насоса представляет втулка цилиндра.

Основной причиной выхода из строя втулки цилиндра является изнашивание. Буровой раствор содержит в своём составе частица, обладающие высокой абразивной способностью, что в сочетании с достаточно большой скоростью перемещения подвижных частей машины приводит к низкой долговечности деталей: 100–200 часов.

В качестве направления для совершенствования возможно применение составной конструкции втулки [4, 5]. На рис. 1 приведён пример конструкции втулки насоса, рабочая часть которой изготовлена из чугуна.



Рис. 1. Конструкция втулки с рабочей частью из чугуна.

Fig. 1. Design of a sleeve with a working part made of cast iron.

Втулка на рис. 1 собрана из двух деталей: наружная часть (корпус), которая изготавливается из стали и внутренняя рабочая часть (гильза), изготавливаемая из износостойкого материала. В качестве материала для изготовления рабочей части в промышленной практике используется износостойкие марки чугуна, прежде всего чугун ИЧХ-22. Однако можно отметить ряд недостатков такого решения: чугуны данного типа обладают ухудшенными литейными свойствами и повышенной стоимостью. Также есть необходимость предусмотреть операцию объёмной закалки, что приводит к искажению детали.

В качестве альтернативного варианта предлагается изготавливать рабочую часть из серого чугуна. Поверхность рабочей части втулки с двух сторон подвергается упрочнению посредством

QUALITY, RELIABILITY

химико-термической обработки. Упрочнение выполняется в два этапа. На первом этапе происходит насыщение поверхности серого чугуна легирующими элементами с одновременным удалением углерода основы. Это даёт возможность в дальнейшем закалывать детали. Вторым этапом — поверхностная закалка. Использование поверхностной закалки даёт возможность уменьшить деформации детали (по сравнению с базовым вариантом).

Цель данного исследования состоит в обосновании возможности использования втулки из модифицированного чугуна в конструкции цилиндров буровых насосов и оценки степени влияния такой замены на качество узла.

Для того, чтобы достичь поставленной цели, необходимо выполнить сравнение базового варианта (для втулки из высокохромистого чугуна) и предлагаемого варианта по ряду критериев:

- износостойкость;
- герметичность;
- прочность детали;
- жёсткость детали;
- себестоимость изготовления.

Принимая во внимание то, что рассматриваемые факторы имеют различную природу, для выполнения сравнения будем использовать квалиметрический анализ. В качестве метода анализа выбираем дифференциальный [6].

МЕТОДЫ

Определение интенсивности изнашивания рабочей части производилась по следующей расчётной зависимости [7]:

$$I_h = 0,24 \cdot 0,5^{\frac{5}{4}t_y} \cdot 15^{\frac{2t_y}{5}} \cdot \alpha \cdot K_{tv} \cdot p \cdot E^{\frac{t_y}{5}-1} \cdot \tau_0^{\frac{5t_y}{12}} \cdot \alpha_G^{-\frac{t_y}{2}} \cdot \left(\frac{k \cdot fm}{\sigma_0} \right)^{t_y},$$

где σ_0 — значение напряжений, которые приводят материал втулки к разрушению за один цикл нагрузки, МПа; E — модуль продольной упругости материала рабочей части втулки, МПа; t_y — параметр, учитывающий характер кривой фрикционной усталости материала рабочей части втулки; α — коэффициент, полноту контакта поверхностей поршня и втулки; K_{tv} — коэффициент, который показывает количество циклов нагрузки, при котором с рабочей поверхности втулки начинают удаляться продукты износа; α_G — коэффициент, который учитывает гистерезисные явления; $fm = \frac{\tau_0}{HB} + \beta$ — значение молекулярной составляющей коэффициента трения пары «втулка цилиндровая–шток»;

τ_0, β — характеристики условий функционирования пары «втулка цилиндровая–шток»; HB — твёрдость деталей по шкале Бринеля; k — параметр, зависящий от качества поверхностного слоя деталей; p — давление в зоне контакта пары «втулка цилиндровая–шток», МПа.

С учётом переменного характера твердости при использовании упрочнённого слоя на сером чугуне, расчёты интенсивности изнашивания для этого случая проводились послойно с притоном слоёв одинаковой твёрдости (разбиением упрочнённого слоя на 10 частей).

Давление в зоне контакта пары определяется по формуле [7]:

$$p = \frac{1}{\pi} \sqrt[3]{\frac{6 \cdot k_d \cdot F_n \cdot E_1^2 \cdot E_2^2}{R_{pr}^2 \cdot [E_2 \cdot (1 - \mu_1^2) + E_1 \cdot (1 - \mu_2^2)]^2}},$$

где F_n — действующее усилие в зоне контакта «втулка цилиндровая–шток»; k_d — коэффициент, который позволяет учесть динамический характер действующих нагрузок; R_{pr} — приведённый радиус контакта пары «втулка цилиндровая–шток».

Определение параметров герметичности производилось посредством учёта величины утечек в зоне контакта деталей «втулка цилиндровая–шток». Для вычисления были использованы формулы, представленные в литературе [8, 9]:

$$G = 0,0066 \cdot \frac{\pi d \cdot \Delta p \cdot u \cdot [0,5 \cdot (H_{\max 1} + H_{\max 2} + W_{z1} + W_{z2} + R_{z1} + R_{z2}) - y]}{\mu' \cdot l},$$

где d, l — длина и диаметр зоны контакта пары «втулка цилиндровая–шток»; u — постоянная, которая характеризует карман (константа кармана); R_z, W_z — параметры шероховатости и волнистости исполнительных поверхностей пары «втулка цилиндровая–шток»; μ' — поправочный коэффициент, который учитывает динамику передаваемой среды; y — величина деформации в зоне контакта, учитывающая упругую составляющую (y_{yn}) и пластическую (y_{nl}).

Величина деформации определяется с учётом свойств обеих деталей пары [8, 9]:

$$y = (y_{пл1} + y_{пл2}) + (y_{yn1} + y_{yn2})$$

Расчёт параметров герметичности производился в программной среде MathCad. Пример расчётной зависимости величины утечек в соединении от величины среднеарифметического отклонения профиля приведён на рис. 2 (для износостойкого чугуна ИЧХ-22).

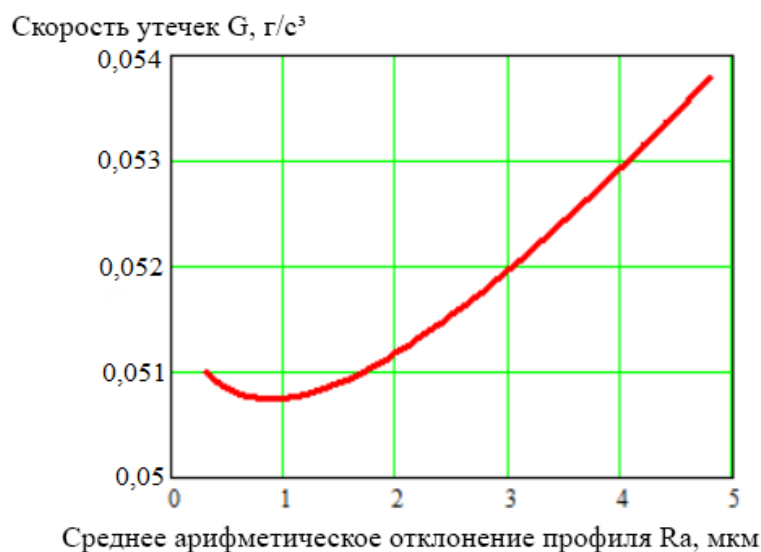


Рис. 2. Пример расчётов по определению величины утечек (G , г/с³) в зависимости от среднеарифметического отклонения профиля поверхностей контакта (R_a , мкм).

Рис. 2. An example of calculations for determining the leakage rate (G , g/s³) as a function of the arithmetic mean deviation of the profile of the contact surfaces (R_a , microns).

Исследование прочности и жёсткости втулок производилось методом конечных элементов. Пример расчёта приведён на рис. 3 (для износостойкого чугуна ИЧХ-22).

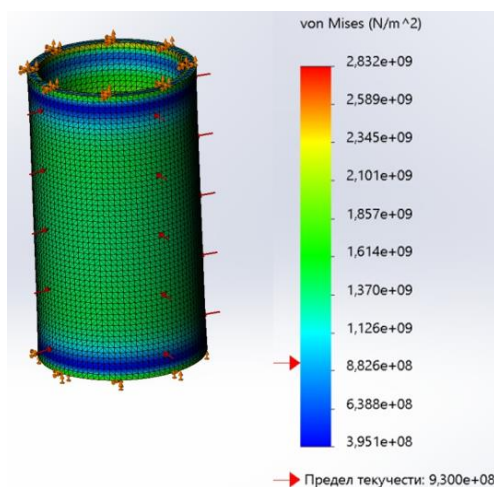


Рис. 3. Пример результата расчётов методом конечных элементов для базового варианта по Мизесу (эквивалентные напряжения, Н/м² — максимальное напряжение, которое соответствует прочности материала).

QUALITY, RELIABILITY

Fig. 3. An example of the result of finite element analysis for the basic version (von Mises stress, N/m², maximum stress, which corresponds to the strength of the material); the red arrow indicates the yield strength (предел текучести).

Критерий себестоимости определялся величиной приведённых затрат на изготовление чугунной втулки по базовому варианту (с использованием хромистого чугуна и объёмной закалки) и предлагаемому варианту (с применением серого чугуна и термодиффузионного легирования). Методика расчетов приведена в работе [10].

В табл. 1 и на рис. 4 представлены результаты расчётов коэффициентов сравнения дифференциальным методом. Значения коэффициентов сравнения определялись по формулам [10]:

$$k_i = \frac{P_{i\sigma}}{P_{io}}, \quad (1)$$

$$k_i = \frac{P_{io}}{P_{i\sigma}}. \quad (2)$$

Выражение (1) используется в случае оценки негативных показателей, т.е. параметр оказывает отрицательное влияние на служебное назначение узла и нужно стремиться к тому, чтобы у оцениваемого образца он был меньше, нежели чем у базового. Выражение (2) используется для вычисления позитивных показателей, которые оказывают положительное влияние на служебное назначение узла.

Таблица 1. Значения коэффициентов сравнения по вариантам изготовления втулки цилиндра из хромистого чугуна (базовый вариант) и упрочнённого серого чугуна (предлагаемый вариант)

Table 1. The values of the comparison coefficients for the options of manufacturing the cylinder sleeve from the chrome-plated cast iron (basic option) and the hardened gray cast iron (proposed option)

Название оцениваемых показателей,	Численные значения показателя качества		Номер формулы	Коэффициент сравнения u_i
	СЧ20 с упрочнённым слоем	Износостойкий хромистый чугун (базовый образец)		
П1. Интенсивность изнашивания I, мм/мм	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,613 \cdot 10^{-7}$	1	0,95
П2. Утечка рабочей среды, Г, г/с	0,051	0,065	2	1,3
П3. Расчётное напряжение по критерию Мизеса, Н/мм ²	$2,85 \cdot 10^9$	$2,75 \cdot 10^9$	1	0,95
П4. Расчётная деформация (ESTRN), мм	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	1	0,75
П5. Себестоимость изготовления детали, руб	15 854	31 985	1	2

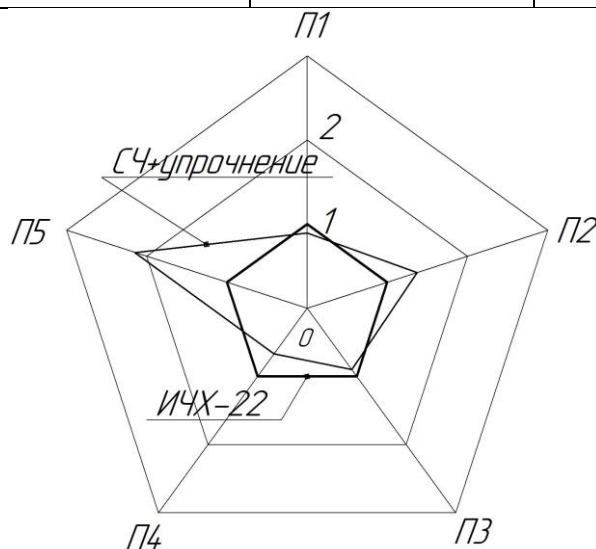


Рис. 4. Диаграмма результатов сравнения вариантов, содержащая расчёт коэффициентов сравнения по критериям (см. таблицу 1 столбец 1), номер луча, соответствует номеру критерия сравнения.

Fig. 4. Diagram of the results of the options comparison, containing the calculation of the comparison coefficients by criteria (see Table 1, column 1), the beam number corresponds to the number of the comparison criterion.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе расчётов были определены величины интенсивности изнашивания для рассматриваемых вариантов, в результате которого установлено, что для предлагаемого варианта она ниже в среднем на 5%. Расчётные значения герметичности по показателю утечки для предлагаемого варианта выше примерно на 30%, однако не противоречат требованиям к герметичности узла. Прочность и жёсткость для предлагаемого варианта также несколько хуже, чем для износостойкого чугуна [11, 12].

На основе вычисления коэффициентов сравнения для базового и предлагаемого вариантов изготовления узла насоса можно определить результирующее значение коэффициента сравнения:

$$y_k = \frac{0,95 + 1,3 + 0,95 + 0,75 + 2}{5} = 1,2$$

ОБСУЖДЕНИЕ

Причиной, которая вызывает более низкие показатели по герметичности, прочности и износостойкости для модифицированного серого чугуна, является несколько меньшая твёрдость упрочнённого слоя. Однако имеется возможность существенного снижения себестоимости изготовления втулок за счёт того, что серый чугун дешевле хромистого. Также при упрочнении используются оксиды легирующих элементов, что также снижает затраты [13–15]. Поэтому общий уровень качества предлагаемого решения выше, чем использование легированных чугунов. Данный вывод можно сделать на основании уже рассмотренного набора критериев оценки и вычисления результирующего коэффициента.

Следует отметить, что анализ вариантов проводился без учёта технологических аспектов, таких как производительность обработки и процент брака. В качестве перспективы для дальнейших исследований, следует рассмотреть и данные критерии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Систематический анализ публикаций последних лет убедительно показал, что преждевременный абразивный износ втулок является ключевым фактором, ограничивающим ресурс буровых насосов типа УНБТ, тогда как применяемый в отрасли высокохромистый чугун лишь частично решает проблему и существенно повышает себестоимость узла. При этом до сих пор оставались нерешёнными вопросы снижения производственных затрат и уменьшения деформаций деталей после объёмной термообработки. Проведённое исследование подтвердило, что предложенная составная втулка из серого чугуна СЧ20, подвергнутого термодиффузионному легированию и поверхностной закалке, снижает интенсивность изнашивания в среднем на 5 %, обеспечивает приемлемую герметичность соединения и сохраняет прочность с жёсткостью на уровне эксплуатационных требований, при этом удешевляя деталь почти вдвое. Квалиметрическая оценка по пяти техническим и экономическим критериям показала количественное преимущество новой конструкции над базовой.

В ходе проведенных исследований было установлено, что рабочая часть втулки, которая изготовлена из легированного чугуна может быть заменена на модифицированный серый чугун. В результате оценки уровня качества установлено, что результирующий показатель качества для предлагаемого варианта выше, чем для базового. Хотя частные показатели качества, характеризующие функциональное назначение для модифицированного чугуна несколько ниже, экономический эффект от использования таких втулок существенно превышает аналог. Таким образом, результирующий показатель, характеризующий качество втулок в целом для модифицированного серого чугуна, существенно превышает аналог.

Полученные результаты вносят вклад в развитие методов комбинированного упрочнения серого чугуна для гидравлических машин и расширяют применение дифференциального подхода к оценке качества узлов. Практически это открывает возможность серийного внедрения более доступных и долговечных втулок в буровые насосы и другие поршневые гидромашинны,

QUALITY, RELIABILITY

что позволит одновременно повысить надёжность оборудования и сократить производственные затраты отрасли.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.Е. Овсянников — общая концепция исследования, постановка цели и задач, разработка методики и плана выполнения исследования, общая корректура статьи; Р.Ю. Некрасов — выполнение расчётов, оформление текста и графиков; А.С. Губенко — поиск публикаций по теме статьи, участие в написании текста, редактирование данных. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источник финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: V.E. Ovsyannikov: the general concept of the study, setting aims and tasks, developing the method and plan for the study, general editing of the paper; R.Yu. Nekrasov: calculations, execution of text and graphs; A.S. Gubenko: search for publications on the topic of the article, participation in writing the text, data editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Kharisov MI, Zabiroy F Sh. Justification of Directions for Improving Piston Mud Pump Valve Pairs in Order to Increase Their MTBF and Tightness. *Electronic Scientific Journal Oil and Gas Business*. 2019;(2):112–127. doi: 10.17122/ogbus-2019-2-112-127 (In Russ.) EDN: ZDSLFFZ
2. Kharisov MI, Zabiroy FSh. Improving the design of the valve pair of the drilling pump. In: *Materials of the 69th scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists of USTU, Ufa, April 20-28, 2018*. Ufa: Ufa State Petroleum Technical University; 2018;1:249. (In Russ.) EDN: XSDZXN
3. Oganov AS, Tsukrenko RS, Reichert RS, et. al. Designing Energy-Saving Profiles of Long Horizontal Wells at Shallow Reservoir Depths. *Neftgaz.RU Business Journal*. 2015;(6(42)):24–30. (In Russ.) EDN: RLJZJB
4. Nigmatov LG, Kalinin AE. Improving the efficiency of the well construction process by optimizing the

process of full drill line tightening using the example of the well of the Vinno-Bannovsky field in the Samara region. *Oilfield business*. 2024;(2(662)):38–44. (In Russ.) EDN: PTEYPI

5. Tagiyev Sh. Hard-to-recover oil reserves and the problems of their production: increased oil recovery of hard-to-recover oil reserves and the problem of their production. *World Science*. 2023;(6(75)):120–124. (In Russ.) EDN: HVLYBQ

6. Asaul VV, Tsvetkov YuA. Assessment of the competitiveness of organizations in the digital economy. *Issues of an innovative economy*. 2020;10(1):533–548. doi: 10.18334/vinec.10.1.100025 (In Russ.) EDN: FSCLUJ

7. Suslov AG, Dalsky AM. *Scientific foundations of mechanical engineering technology*. Moscow. Mashinostroenie; 2002. (In Russ.) EDN: WKKIRH

8. Sharaya OA, Pastukhov AG, Kravchenko IN. *Surface Engineering of Hardened Parts*. Moscow: INFRA-M; 2020. doi: 10.12737/1031713 (In Russ.) EDN: ETWADX

9. Bezyazychny VF. Method of similarity in mechanical engineering technology. Moscow: Mashinostroenie; 2012. (In Russ.) EDN: QNYFMT

10. Lonzhik PA, Golovin EYu, Lonzhik II, et al. Methods and tools for risk management at a high-tech machine-building enterprise equipped with vibroactive equipment. *Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov*. 2024;22(2):170–180. doi: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-170-180 (In Russ.) EDN: VXYBQM

11. Ovsyannikov VE, Korchagin PA. *Ensuring the durability of working equipment of road construction machines in the development of soils with increased abrasive properties*. Omsk: Siberian State Automobile and Road University; 2023. (In Russ.) EDN: BBIPQG

12. Ovsyannikov VE, Shpitko GN, Nekrasov RYu. Increasing the strength of cast-iron cylinder liners of engines of construction and road machines. *Izvestia MSTU MAMI*. 2020;14(3(45)):36–40. doi: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-36-40 (In Russ.) EDN: QLCZWC

13. Letopolsky AB, Korchagin PA, Teterina IA, et al. Improving the design of the cutting part of the tunneling shield. News of higher educational institutions. *Mining Journal*. 2021;(4):74–82. doi: 10.21440/0536-1028-2021-4-74-82 (In Russ.) EDN: EXNLRN

14. Letopolsky AB, Korchagin PA, Teterina IA. Working equipment of the excavator for selective repair of the pipeline. *Bulletin of the Bryansk State Technical University*. 2021;(11(108)):10–16. doi: 10.30987/1999-8775-2021-11-66-72 (In Russ.) EDN: RKGTHQ

15. Korchagin PA, Korchagin EA. *Development of scientific foundations for the design of vibration protection systems of earthmoving machines*: Electronic resource. Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI). 2018. (In Russ.) EDN: XQSODJ

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

* Овсянников Виктор Евгеньевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологии машиностроения; адрес: Россия, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38; ORCID: 0000-0002-7193-7197; eLibrary SPIN: 4711-3250; e-mail: vik9800@mail.ru	* Victor E. Ovsyannikov, Dr. Sci. (Engineering), assistant professor, Professor of the Engineering Technology Department; address: 38 Volodarskogo st, Tyumen, Russia, 625000; ORCID: 0000-0002-7193-7197; eLibrary SPIN: 4711-3250; e-mail: vik9800@mail.ru
Соавторы:	Co-Authors:
Некрасов Роман Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения; ORCID: 0000-0001-7594-6114; eLibrary SPIN: 9501-6503; e-mail: syncler@mail.ru	Roman A. Nekrasov, Cand. Sci. (Engineering), assistant professor, Head of the Engineering Technology Department; ORCID: 0000-0001-7594-6114; eLibrary SPIN: 9501-6503; e-mail: syncler@mail.ru
Губенко Арсений Сергеевич, аспирант кафедры технологии машиностроения;	Arseniy S. Gubenko, Postgraduate of the Mechanical Engineering Technology Department;

QUALITY, RELIABILITY

ORCID: 0009-0007-3108-3127; eLibrary SPIN: 9189-5161; e-mail: gubenkoas@tyuiu.ru	ORCID: 0009-0007-3108-3127; eLibrary SPIN: 9189-5161; e-mail: gubenkoas@tyuiu.ru
* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author	