

Определение режимных параметров при восстановлении или изготовлении деталей трубопроводной арматуры

В.А. СКРЯБИН, д-р техн. наук, профессор, Н.В. СОРОКИНА, канд. техн. наук, доцент,

С.А. ГУСЕВ, аспирант

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, 440026, Российская Федерация

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2561-2026-0-1-7-13

Поступила в редакцию 05.06.2025

После доработки 25.07.2025

Принята к публикации 07.10.2025

В статье приведены особенности определения режимных и силовых параметров при притирке на плоско-доводочных станках кольцевых уплотнительных поверхностей корпусов задвижек трубопроводной арматуры. Разработаны кинематические схемы процесса финишной обработки.

Ключевые слова: режимные параметры, притирка, плоская кольцевая поверхность, кинематические схемы, задвижки.

The features of determining the operating and power parameters during lapping of the annular sealing surfaces of gate valve bodies of pipe fittings on flat-lapping machines are given. Kinematic schemes of the finishing process have been developed.

Keywords: operating parameters, lapping, flat annular surface, kinematic schemes, gate valves.

Введение

В современном машиностроении при восстановлении или механической обработке уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры актуальной задачей является получение их качественных характеристик, которые определяют высокую степень герметичности. Качество изготовления деталей невозможно повысить без совершенствования финишных операций процессов абразивной обработки, одной из которых является абразивная доводка (притирка). Одной из деталей с высокой степенью герметичности кольцевых уплотнительных поверхностей является корпус задвижки трубопроводной арматуры (рис. 1) [1, 2]. Притирке на доводочном станке должна обязательно предшествовать опе-

рация шлифования абразивными кругами. После выполнения шлифовальной операции шлифовальные круги в инструментальных блоках меняются на притиры, а иногда, в случае необходимости, целиком меняются и кронштейны с инструментами. Слой металла, снимаемый притиркой, составляет 0,002—0,03 мм. Притиркой достигается высокая точность размеров и геометрической формы (до 0,001—0,002 мм), шероховатость поверхностей деталей до $R_a = 0,032—0,02$ мкм.

Материалы и методы

В качестве материала шлифовальных кругов использовали хромотитанистый электрокорунд марок 91А—95А зернистостью F60(Z 25).

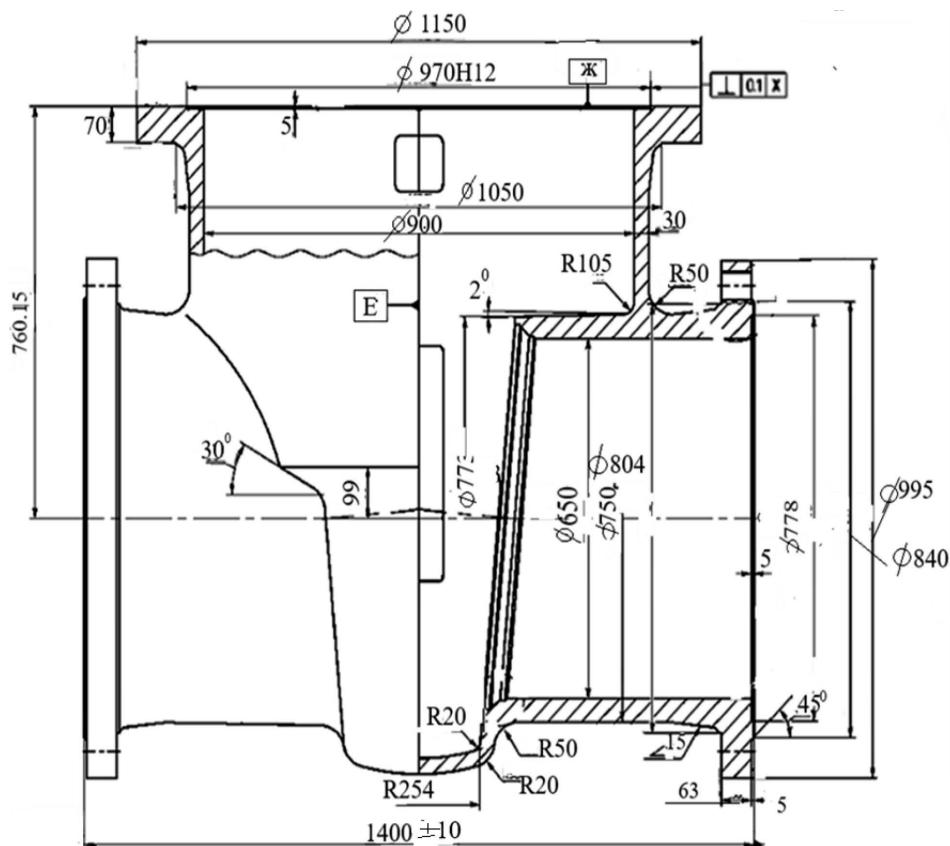


Рис. 1. Корпус задвижки трубопроводной арматуры

В качестве материала притиров используют серый чугун СЧ20 ГОСТ1412–85 или сталь 45 ГОСТ 1050–88 с самоклеющимися абразивными шкурками. Материал шкурки и зернистость: черновая обработка 91A16-Н(P80); 91A10-Н(P120); 15A16-Н(P80); 15A10-Н(P120); чистовая обработка 91AM63-Н(P240); 15AM63-Н(P240). Пасту изготавливали на основе хромтитанистого электрокорунда марки 91А (92А) или белого электрокорунда марки 24А (25А). В таблице приведен состав притирочно-доводочной пасты [1–4].

На рис. 2 приведены конструкции инструментальных блоков, изготовленных из углеродистых и легированных сталей, а также из сплавов алюминия. Блоки имеют кронштейны с гнездом для крепления инструментов. Кронштейны могут выдвигаться на определенное расстояние, позволяя обрабатывать детали различных диаметров.

Движения инструментальных блоков с инструментами приведены на схеме обработки кольцевых поверхностей деталей на вертикальном плоскодоводочном станке (рис. 4) [5].

Состав притирочно-доводочной пасты

Наименование компонента	Содержание, %	Примечание
Электрокорунд белый марок 24А, 25А или хромтитанистый электрокорунд марки 91А (92А)	50	Марка и зернистость абразива, а также состав пасты может быть другой в зависимости от обрабатываемого материала и условий обработки
Кислота олеиновая ГОСТ 7580–91	10	—
Литол-24 ГОСТ 21250–87	15	—
ПАВ (кальцинированная сода)	10	—
Масло промышленное И20А	15	—

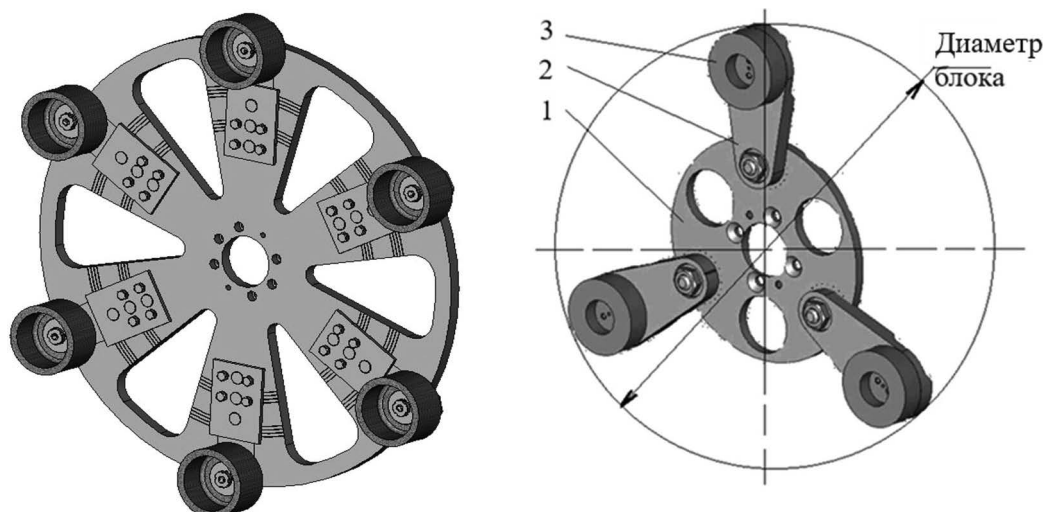


Рис. 2. Конструкции инструментальных блоков на 6 и на 3 инструмента:
1 — инструментальный диск; 2 — кронштейн; 3 — шлифовальный круг или притир

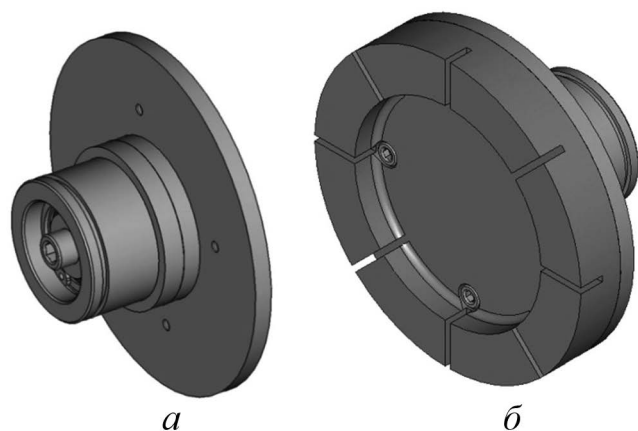


Рис. 3. Конструкции притиров:
а — конструкция стального притира с самоклеющейся абразивной шкуркой; б — конструкция чугунного притира с нанесенной на него доводочной пастой

Для определения режимных параметров при обработке кольцевой уплотнительной поверхности задвижки трубопроводной арматуры после операции восстановления наплавкой высоколегированным сплавом выполняются операции шлифования и доводки. При изготовлении деталей после операции шлифования выполняется доводочная операция. Рассмотрим кинематическую схему совокупности круговых движений инструментального блока и инструментов для притирки [1, 5, 6].

OA — межцентровое расстояние между центром притира и инструментальным блоком ($OA = R_{cp}$).

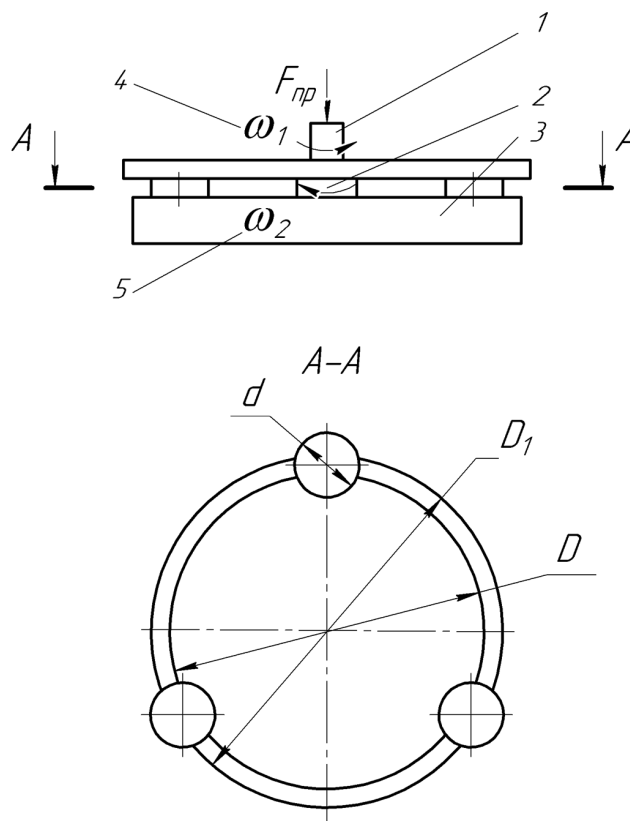


Рис. 4. Схема притирки кольцевых поверхностей на вертикальном доводочно-шлифовальном станке:

1 — шпиндельная оправка; 2 — чугунный или стальной притир; 3 — обрабатываемая деталь; 4 — угловая скорость вращения инструментального блока ω_1 ; 5 — угловая скорость вращения притира ω_2 ; D_1 — наружный диаметр кольцевой поверхности детали; D — внутренний диаметр кольцевой поверхности детали; d — диаметр притира

Расстояние AC от центральной точки блока с размещенными на нем притирами

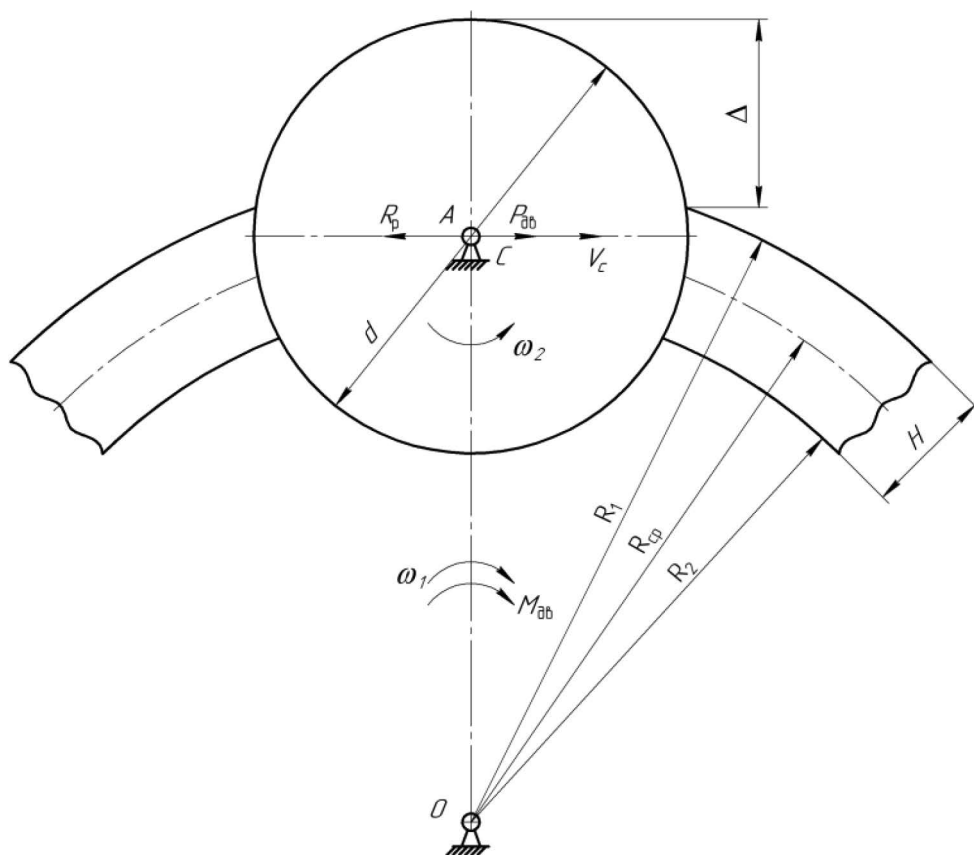


Рис. 5. Кинематическая схема совокупности круговых движений инструментального блока и притирочных инструментов

до средней линии кольцевой поверхности шириной H равно нулю.

Рассмотрим движение инструмента (рис. 5), на который действуют следующие нагрузки: движущая сила $P_{дв}$ от привода, действующая в центральной точке A притира; силы резания (сопротивления), которые распределены по кольцевой поверхности.

В первом приближении считаем их равномерно распределенными по поверхности обработки.

Заменим эти силы одной равнодействующей R_p , приложив ее в центре тяжести «С» кольцевой поверхности. Эта сила является силой резания.

Выступление притира за наружный диаметр обрабатываемой поверхности детали Δ назначается из условий ликвидации «зава-ла» кромки наружного диаметра кольцевой поверхности D_1 с целью получения стабильной точности обработки.

$$2\Delta = d - H.$$

Мощность резания при абразивной доводке кольцевой поверхности детали определяется следующим образом:

$$N_{рез} = n \cdot R_p \cdot V_c, \quad (1)$$

где n — количество притиров или шлифовальных кругов в инструментальном блоке; R_p — результирующая сила резания; V_c — скорость точки приложения силы сопротивления.

$$R_p = f \cdot F_{пр}, \quad (2)$$

где f — коэффициент трения притира с поверхностью обрабатываемой детали; $F_{пр}$ — сила прижима притира к кольцевой поверхности детали.

Исходя из производственного опыта и производственных данных предприятий Российской Федерации, занимающихся технологиями притирки (абразивной доводки) плоских деталей, а также по литератур-

ным источникам, линейная скорость притира V_C находится в диапазоне 0,2—0,5 м/с, если абразивная доводка чистовая, и 0,4—2 м/с, если абразивная доводка черновая. Коэффициент трения f между абразивным инструментом и обрабатываемой поверхностью из чугуна или легированной стали изменяется в диапазоне 0,1—0,4. В этом случае:

$$N_{рез} = n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot V_C. \quad (3)$$

В процессе абразивной доводки мощность привода $N_{прив}$ будет равна мощности $N_{рез}$, развиваемой силой резания R_p , т.е.:

$$N_{прив} = N_{рез}. \quad (4)$$

Мощность привода определяется по зависимости:

$$N_{прив} = N_{рез} = M_{дв} \cdot \omega_1 = P_{дв} \cdot V_A, \quad (5)$$

где $P_{дв}$ — движущая сила от привода; V_A — скорость точки приложения движущей силы; $M_{дв}$ — момент вращения двигателя привода станка.

Скорость V_C точки приложения силы сопротивления можно определить по теореме о сложении скоростей при плоском движении:

$$V_C = V_A - V_{CA} = \omega_1 \cdot OA - \omega_2 \cdot AC. \quad (6)$$

где ω_1 и ω_2 — соответственно угловые скорости двигателя привода и притира, задающие

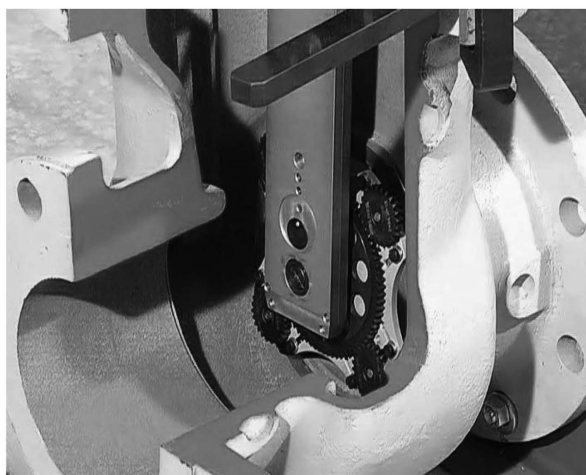


Рис. 6. Модернизированная конструкция инструментального блока шлифовально-притирочного станка

вращательные движения инструментальному блоку с притирами (рад/с).

Так как $AC = 0$, то $V_C = \omega_1 \cdot OA$.

Подставив зависимость (6) для определения V_C в формулу (3), получим:

$$N_{рез} = n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot (\omega_1 \cdot OA), \quad (7)$$

Угловые скорости двигателя привода ω_1 и притира ω_2 , если центральное (солнечное) колесо шлифовально-притирочного станка (рис. 6) неподвижно или вращается, определяются следующим образом:

$$\omega_1 = \frac{2\pi \cdot n_1}{60}; \omega_2 = \frac{2\pi n_2 \cdot i}{60}, \quad (8)$$

где n_1 и n_2 — соответственно частоты вращения двигателя привода и притира шлифовально-притирочного станка, i — передаточное отношение.

$$i = \frac{d}{D},$$

где d и D — соответственно диаметр шестерни, обкатывающей солнечное колесо, и диаметр солнечного колеса.

Линейные скорости двигателя привода V_1 и притира V_2 (м/мин) определяются по зависимостям:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_{би} \cdot n_1}{1000}; V_2 = \omega_2 \cdot r.$$

В зависимостях линейных скоростей $D_{би}$ — диаметр блока инструментального, r — радиус притира.

Большое значение для обеспечения эффективности финишных операций при обработке деталей на шлифовально-притирочных станках имеет величина силы и мощности резания. Результирующая сила резания на шлифовальном круге и притире R , как и при точении, может быть разложена на P_Z — тангенциальную, P_Y — радиальную и P_X — осевую (подачи) составляющие (рис. 7).

При этом результирующая сила резания определяется следующим образом [3, 5]:

$$R = \sqrt{P_Z^2 + P_X^2 + P_Y^2}.$$

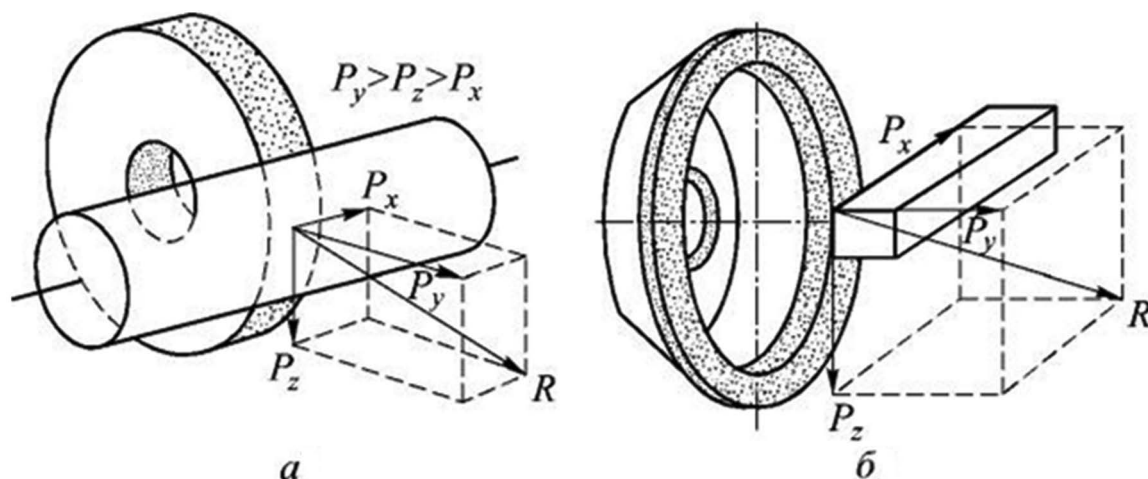


Рис. 7. Схемы обработки периферией и торцом абразивных инструментов

Путем измерения с помощью динамометра тангенциальной составляющей P были найдены эмпирические уравнения как для расчета затраченной мощности N_e , так и для расчета тангенциальной составляющей P , для плоских схем шлифования или притирки. При микрорезании большим количеством абразивных зерен с отрицательными передними углами и снятием очень тонких стружек резко возрастает радиальная составляющая P_x , которая превышает тангенциальную составляющую P_y в 2–3 раза. Величина тангенциальной составляющей силы может быть определена по мощности N_e :

$$P_z = \frac{1000 \cdot N_e}{V_{кр}}, \quad (9)$$

где $V_{кр}$ — скорость круга или притира; N_e — затраченная мощность.

Затраченная мощность при шлифовании торцом круга или притира определяется по следующей эмпирической зависимости:

$$N_e = C_N \cdot V^Y \cdot t^X \cdot H^Z, \quad (10)$$

где C_N , Y , X , Z — коэффициенты и показатели степени, зависящие от условий финишной обработки; H — ширина поверхности обрабатываемой детали.

Тангенциальная составляющая силы резания P_z при шлифовании торцом круга

или притира из-за малых величин срезаемого припуска обычно невелика и составляет примерно 200–500 Н. При скоростном и силовом шлифовании затраченная мощность из-за большой скорости резания достаточно велика и достигает нескольких и даже десятков киловатт. Поэтому из-за больших потребляемых мощностей шлифования удельные затраты энергии на единицу снимаемого объема припуска примерно в 10 раз выше, чем при лезвийной обработке. Осевую составляющую P_x обычно не рассчитывают из-за ее малой величины ($P_x < P_z$), что объясняется малыми углами в плане режущих зерен круга [1, 5, 6].

Выводы

Разработанная кинематическая схема процесса абразивной доводки уплотнительных поверхностей корпуса задвижки трубопроводной арматуры позволила впервые создать методику расчета режимных параметров кольцеобразных уплотнительных поверхностей на вертикальном плоско-догодочном станке с оригинальной конструкцией инструментального блока, который может быть предназначен как для шлифования, так и для притирочно-догодочных работ. Проведенные эксперименты позволяют рассчитать режимные параме-

тры технологических операций и получать на станке при обработке уплотнительных поверхностей корпуса задвижки заданную шероховатость поверхностей деталей из различных материалов.

Финансирование работы

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Авторы данной работы заявляют, что при подготовке статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Скрябин В.А.** Этапы обработки при восстановлении запорных деталей — трубопроводной запорной арматуры // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26. № 2. С. 228—244.
2. **Зверовщиков А.Е.** Расширение технологических возможностей объемной центробежно-планетарной обработки // Научные технологии в машиностроении. 2013. № 7. С. 17—23.
3. **Сейнов С.В.** Технологии и оборудование для притирки уплотнений арматуры // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2002. № 2. С. 8—13.
4. **Jakob Vust, Claser H.** Eine methode der naherungswerte fur Metalledichtungen der ND-Technik anhand mechanischen Ersatzmodelle-4. Dresden: Jnt. Dichtungstag, 2004. P. 420—444.
5. **Sarda, S.P., Le Tirant, P., Baron, G.** Influence des contraintes et de la pression de fluide sur le coulement dans les rocked fissures // Advances of Rock Mechanics. Washington. 2004. V. 2. Part A. P. 667—673.
6. **Орлов П.Н.** Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. М.: Машиностроение, 1988. 384 с.

РУКОВОДСТВО АВТОРУ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ*

Автор (или коллектив авторов) осознает, что несет первоначальную ответственность за новизну и достоверность результатов научного исследования, что предполагает соблюдение следующих принципов:

- Авторы статьи должны предоставлять достоверные результаты проведенных исследований. Заведомо ошибочные или сфальсифицированные утверждения неприемлемы.
- Авторы должны гарантировать, что результаты исследования, изложенные в предоставленной рукописи, полностью оригинальны. Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование или присвоение прав на результаты чужих исследований, неэтичны и неприемлемы.
- Необходимо признавать вклад всех лиц, так или иначе повлиявших на ход исследования, в частности, в статье должны быть представлены ссылки на работы, которые имели значение при проведении исследования.
- Авторы не должны предоставлять в журнал рукопись, которая была отправлена в другой журнал и находится на рассмотрении, а также статью, уже опубликованную в другом журнале.
- Соавторами статьи должны быть указаны все лица, внесшие существенный вклад в проведение исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании.
- Если автор обнаружит существенные ошибки или неточности в статье на этапе ее рассмотрения или после ее опубликования, он должен как можно скорее уведомить об этом редакцию журнала.

* Из Кодекса этики научных публикаций