

УДК 621.818; 001.57

Оценка герметичности затворных узлов по результатам моделирования шероховатых поверхностей после шлифования одно- и пятидисковым инструментами

О.С. Бучнев, С.Н. Гайсин, С.А. Зайдес

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Assessing the gate assembly tightness based on the results of simulating rough surfaces after the one- and five-disc grinding

O.S. Buchnev, S.N. Gaisin, S.A. Zaides

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk National Research Technical University

Выполнена оценка герметичности шероховатых металлических поверхностей затворных узлов трубопроводной арматуры после шлифования одно- и пятидисковым инструментами. Обработанные уплотнительные поверхности являются фрагментами случайных полей, зависящими от трех пространственных координат: координат точки на уплотнительной поверхности и ее высоты. Для оценки статистических свойств таких полей использован закон распределения вероятностей и его числовых характеристик в виде автокорреляционных функций и спектральных плотностей. Определены статистические свойства микрорельфа поверхности, воспроизведены случайные поля со статистическими свойствами опытных деталей. Установлено, что случайные поля являются моделями уплотнительных поверхностей, с которыми можно проводить эксперименты по оценке герметичности. Моделирование прижатия контактных поверхностей и площадок контакта выполнено методом среза максимальной высоты исследуемой поверхности. Проведены численные эксперименты по моделированию прижатия деталей, вычислен зазор между случайными полями — моделями двух уплотнительных поверхностей. С помощью моделирования случайных полей получены математические модели шероховатости после шлифования одно- и пятидисковым инструментами, отражающие статистические свойства обработанных поверхностей. По результатам моделирования шероховатых поверхностей установлено, что пятидисковый инструмент обеспечивает более высокую герметичность, чем однодисковый.

EDN: DGKBRA, <https://elibrary/dgkbra>

Ключевые слова: трубопроводная арматура, уплотнительная поверхность, модель шероховатости, герметичность затворных узлов, оценка герметичности

The paper assesses tightness of the pipeline gate assembly rough metal surfaces after the one- and five-disc grinding. The machined sealing surfaces are fragments of the random fields depending on three spatial coordinates: coordinates of a point on the sealing surface and its height. To assess statistical properties of such fields, the paper uses the probability distribution law and its numerical characteristics in the forms of autocorrelation functions and spectral densities. It determines statistical properties of the surface micro-relief and re-

produces random fields with statistical properties of the experimental parts. The paper shows that random fields are models of the sealing surfaces, which could be used in the tightness assessment experiments. The contact surfaces and contact areas pressing is simulated by cutting off the maximum height of the surface under study. Numerical experiments are conducted to simulate the pressing of parts; the gap between random fields, i.e. models of the two sealing surfaces, is computed. The paper uses random field simulation to obtain mathematical models of roughness after the one- and five-disk grinding; the models reflect statistical properties of the machined surfaces. According to results of the rough surfaces simulation, the paper indicates that the five-disk grinding provides higher tightness than the one-disk grinding.

EDN: DGKBRA, <https://elibrary/dgkbra>

Keywords: pipeline assembly, sealing surface, roughness model, gate assembly tightness, tightness assessment

Трубопроводные системы являются неотъемлемой частью промышленных объектов. Надежное перекрытие потоков жидких и газообразных сред в трубопроводах обеспечивает стабильность технологических процессов, охрану окружающей среды и производственную безопасность.

В затворном узле трубопроводной арматуры стык уплотнительных поверхностей (УП) соединения представляет собой сложную техническую систему как для описания шероховатых поверхностей, так и для изучения механики контактного взаимодействия и истечения герметизирующей среды [1–5].

При оценке герметичности соединения металл — металл обычно определяют такие микрогеометрические параметры поверхностей как волнистость Wz и шероховатость Ra . Как правило, необходимые значения волнистости и шероховатости достигаются финишными технологическими операциями: шлифованием и доводкой — притиркой УП трубопроводной арматуры [3–6].

Для оценки герметичности затворных узлов на предприятиях обычно используют специализированные установки [3–5], что экономически оправдано для изделий серийного производства, когда конструкция постоянна, а детали и узлы изготавливают по стабильной технологии.

При разработке новых уплотнительных устройств, создании новых обрабатывающих инструментов и отработке режимов обработки требуются новые конструкции испытательных устройств, что связано со значительными материальными и временными затратами. Поэтому на этапе подготовки производства весьма перспективным направлением является разработка методов оценки герметичности УП без прове-

дения физических (гидравлических) испытаний.

В работах [7–13] приведены примеры статистического моделирования УП с помощью случайных процессов и полей. Главное требование к модели поверхности следующее: она должна в достаточной мере отражать такие существенные характеристики поверхности, как макроотклонения, волнистость и шероховатость. Моделирование поверхностей показывает высокую эффективность метода при изучении свойств шероховатых УП и требований к качеству обработки при изучении герметичности их соединения.

При теоретическом рассмотрении герметичности выделяют как минимум два вида плотного состояния, и, соответственно, два вида запираания — статическое и динамическое [14]. При статическом запираании процесс обеспечения плотного состояния осуществляется с геометрическим рассмотрением внешней границы среды. При динамическом запираании процессом обеспечения плотного соединения является установление стационарного состояния — динамического равновесия сил. В этом случае физические явления отличаются по характеру от таковых при статическом запираании.

Процесс уплотнения при контакте двух УП запорной арматуры теоретически сводится к образованию замкнутой линии уплотнения, когда геометрические границы пятен контакта сливаются в одну непрерывную линию. Для трехмерного потока две УП с произвольной топологией будут соприкасаться во многих областях, составляющих так называемые пятна контакта. Они будут представлять собой хаотически разбросанные участки контакта.

Установлено [15], что запираание зависит не от площади затвора, а от критической доли

сливающихся пятен контакта в одну узкую непрерывную полосу. Именно от критической величины пятен контакта, задаваемого деформацией макро- и микроотклонений при запирании, зависит наличие уплотнений [14, 15].

Как показано в публикациях [14, 15], для идеальной жидкости порог запирания среды определяется критическим отношением пятен контакта к площади уплотнения, при этом совершенно не требуется полный контакт двух УП. В статье [16] по результатам компьютерного моделирования шероховатых поверхностей создана методика оценки герметичности соединений металл — металл.

Цель работы — оценка герметичности неподвижных разъемных соединений по результатам оценки шероховатости УП, полученных после шлифования одно- и пятидисковым инструментами.

Методика эксперимента. Для оценки качества УП после шлифования одно- (рис. 1) и пятидисковым (рис. 2) инструментами использованы образцы-свидетели, имитирующие уплотнительные элементы затворного узла — седло и золотник клапана низкого давления (рис. 3), изготовленные из стали 20Х13 (ГОСТ 5632–2014).

Шлифование УП однодисковой головкой проводили с использованием кругового вращательного движения рабочего инструмента. Пятидисковое шлифование основано на использовании сложного движения — плоскопараллельного кругового осциллирующего [17].

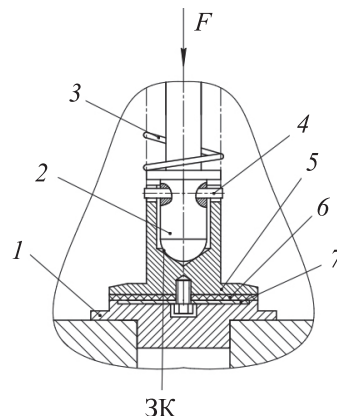


Рис. 1. Конструктивная схема однодискового инструмента:

1 — седло; 2 — шпиндель; 3 — пружина; 4 — штифт; 5 и 6 — шлифовальные блоки и шкурка; 7 — поджимная шайба; F — усилие, действующее на шлифовальный блок; ЗК — зона контакта со сферической поверхностью шпинделя

Волнистость УП по окружности определяли на координатно-измерительной машине Carl Zeiss Contura G2 Aktiv (Германия) методом автоматического сканирования в равномерно расположенных точках, число которых составляло 35 000. Оборудование имело активную сканирующую измерительную головку VAST XT, позволяющую выполнять проверку формы с максимальной скоростью при высоком качестве результатов измерения. Погрешность измерения при сканировании — 2,5 мкм.

Результаты измерения отклонений твердых шероховатых УП от плоскостности после шлифования одно- и пятидисковым инструментами приведены на рис. 4, а и б. Видно, что после

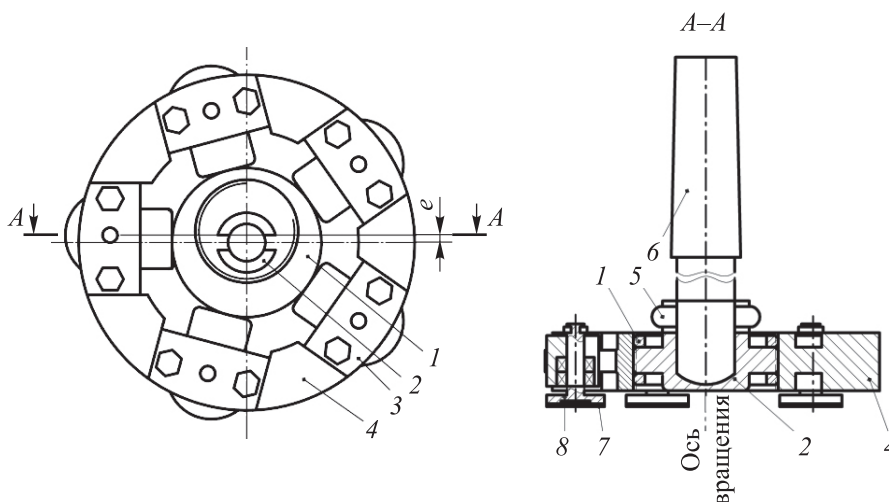


Рис. 2. Конструктивная схема пятидисковой шлифовальной головки:

1 — контрольная гайка; 2 — съемная ступица; 3 — вставка; 4 — планшайба; 5 — штифт; 6 — шпиндель; 7 — шлифовальная шкурка; 8 — рабочий диск; e — эксцентриситет

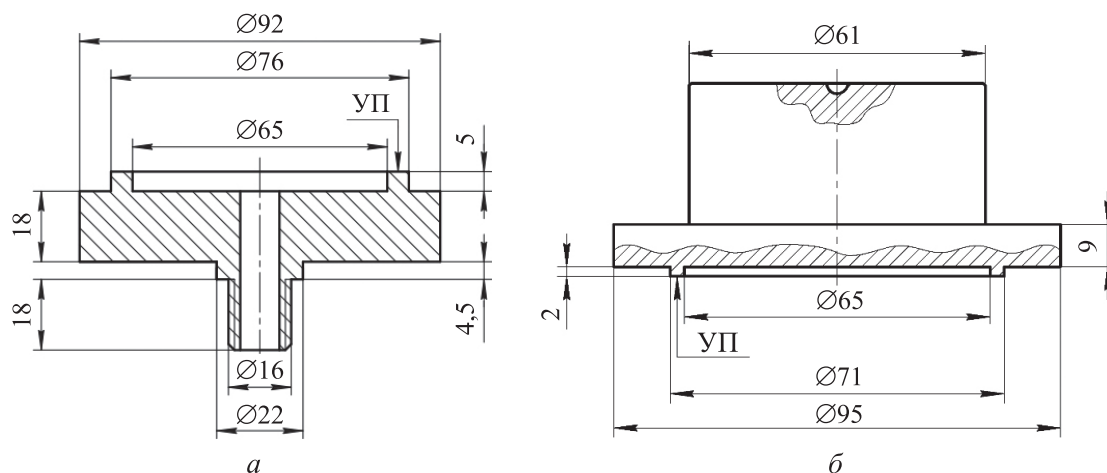


Рис. 3. Конструктивные схемы образцов-свидетелей, имитирующих седло (а) и золотник (б) клапана низкого давления

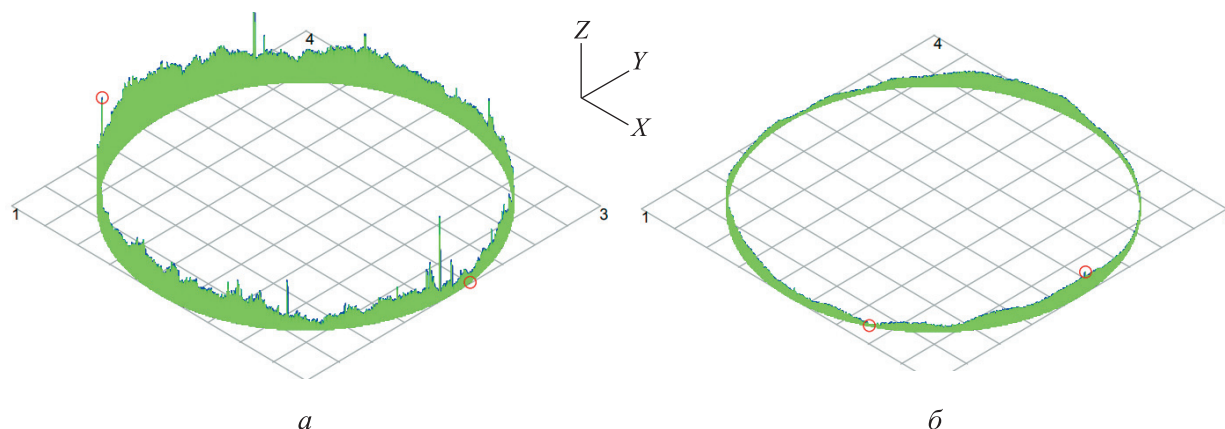


Рис. 4. Результаты измерения отклонений твердых шероховатых УП от плоскостности после шлифования одно- (а) и пятидисковым (б) инструментами

шлифования пятидисковым инструментом топография по контролируемому диаметру имеет существенное снижение высотных параметров волнистости.

После шлифования однодисковым инструментом максимальное отклонение УП от номинальной поверхности составляет 0,007 мкм, а после обработки пятидисковым инструментом — 0,003 мкм. Отсюда следует, что после шлифования УП пятидисковым инструментом ее топография улучшается.

Моделирование шероховатой поверхности и оценка адекватности модели. Микрогеометрические параметры обработанных УП представляют собой фрагменты случайных полей, зависящих от трех пространственных координат: координат точки на УП и ее высоты. Для оценки статистических свойств таких полей можно использовать закон распределения вероятно-

стей и его числовые характеристики в виде автокорреляционных функций (АКФ) и/или спектральных плотностей.

Если определить статистические свойства микрорельфа УП, то можно научиться воспроизводить случайные поля с такими же свойствами. Эти случайные поля будут являться моделями УП, с которыми можно проводить численные эксперименты по оценке герметичности.

Для оценки статистических свойств УП использованы экспериментальные данные, полученные путем сканирования шероховатых УП, показанных на рис. 3.

Профилограммы УП после шлифования одно- и пятидисковым инструментами приведены на рис. 5, а и б, где L — порядковый номер измеренной высоты профиля; h — высота возвышенностей и глубин впадин, мкм.

Для определения статистических свойств шероховатости УП использованы значения из-

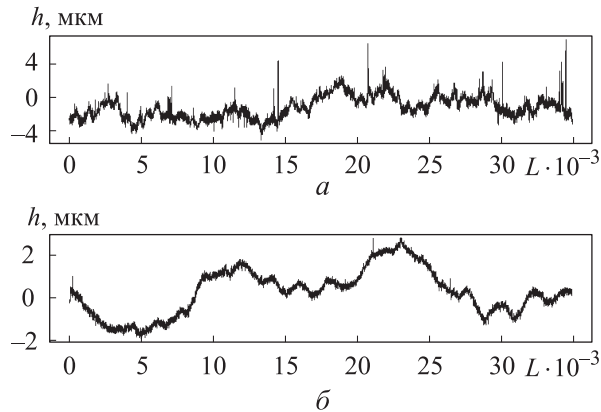


Рис. 5. Профилограммы УП после шлифования одно- (а) и пятидисковым (б) инструментами

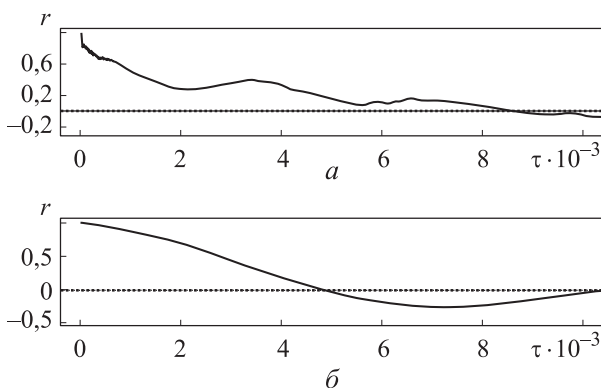


Рис. 6. АКФ для профилограммы УП после шлифования одно- (а) и пятидисковым (б) инструментами

меренных микрогеометрических параметров УП после шлифования одно- и пятидисковым инструментами, по которым построены АКФ, показанные на рис. 6, а и б, где r — значение АКФ; τ — аргумент АКФ.

АКФ позволяют оценить не только пиковые значения профилограммы и количество стати-

стических данных, но и порядок следования значений, частоты и др. (т. е. динамические свойства процесса). Чтобы полученные модели были статистически подобны моделируемым поверхностям, необходимо совпадение законов распределения и автокорреляционных свойств имеющихся наблюдений и моделей. Для вычисления и построения графиков АКФ использована встроенная функция `acf()` языка R.

Чтобы оценить закон распределения значений профилограммы, необходимо убрать тренды, которые дают нестационарность и вносят смещение в этот закон, делая его зависимым от реализации, что вызывает трудности в оценке экспериментального закона распределения. Под нестационарностью понимают зависимость средних значений профилограммы, вычисленных в некоторой окрестности ее определенного значения, от положения этой окрестности на профилограмме.

Для удаления нестационарности выполняли усреднение данных профилограммы УП по четырестам пятидесяти значениям, и от каждого пикового значения профилограммы вычитали ее усредненное значение. На рис. 7, а и б приведены исходные профилограммы УП, обработанные одно- и пятидисковым инструментами, на рис. 7, в и г — профилограммы после удаления нестационарности.

При моделировании обработанных УП использовали функции пакета `fields` языка R, с помощью которого получали реализации случайных полей, моделирующих УП. Для моделирования шероховатости генерировали колебания высокой частоты и малой амплитуды, а для моделирования волнистости — колебания низкой частоты и амплитуды большей, чем ампли-

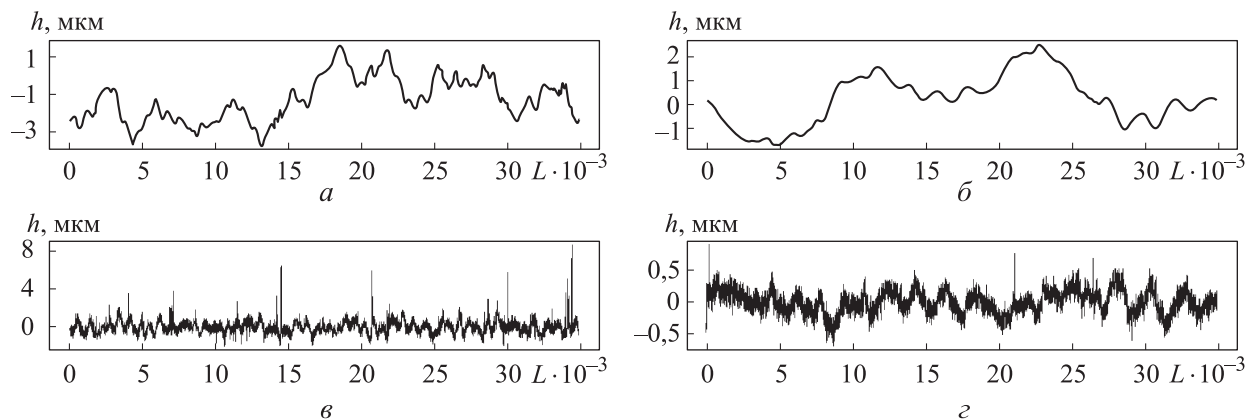


Рис. 7. Профилограммы УП, обработанных одно- (а, в) и пятидисковым (б, г) инструментами, до (а, б) и после (в, г) удаления нестационарности

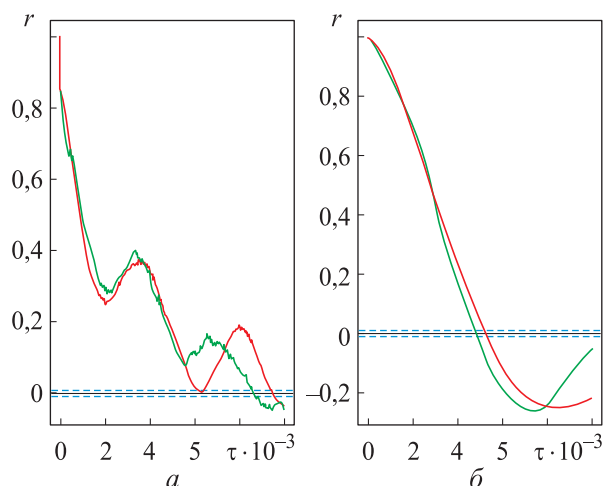


Рис. 8. АКФ экспериментальной (—) и полученной в результате моделирования (—) профилограмм УП после шлифования одно- (а) и пятидисковым (б) инструментами

туда шероховатости. Сложение полей дало модель шероховатой УП.

Чтобы доказать статистическое подобие полученного случайного поля и значений микрогеометрических параметров однодискового шлифования, сравнивали графики АКФ экспериментальных данных и результатов сканирования окружности по центру моделируемой поверхности. Кроме сравнения АКФ с помощью критерия χ^2 проверяли однородность выборок после удаления нестационарности. АКФ экспериментальной и полученной путем моделирования профилограмм УП после шлифования одно- и пятидисковым инструментами приведены на рис. 8, а и б.

При оценке однородности двух выборок после шлифования УП однодисковым инструментом критерий χ^2 составил 9,12, а P-value —

0,0125. Следовательно, нет оснований отвергнуть гипотезу об однородности двух выборок. Для шлифования пятидисковым инструментом критерий $\chi^2 = 5,17$, P-value = 0,0752, что также свидетельствует об однородности двух выборок.

На основании результатов статистического анализа можно заключить, что программно генерируемые модели УП статистически подобны экспериментальным, т. е. отражают их статистические свойства, вследствие чего пригодны для проведения программных экспериментов по оценке статического запирания.

Оценка герметичности уплотнительных узлов после шлифования одно- и пятидисковым инструментами. Оценка герметичности на моделях шероховатости предполагает наличие случайных полей, статистические свойства которых (пространственные корреляции, описывающие частотные свойства и закон распределения вероятностей), совпадают с таковыми для УП образцов-свидетелей.

Следующим этапом после получения полей шероховатости и доказательства их подобия является моделирование прижатия затворного узла и оценка герметичности полученного соединения.

К основным параметрам, влияющим на герметичность соединения, относится сила прижатия контактных УП, так как при их сжатии происходит деформация микронеровностей, в результате чего увеличивается площадь контакта. В ходе численных экспериментов по моделированию прижатия деталей вычисляли зазор между случайными полями — моделями двух УП, для чего определяли его максимальное значение.

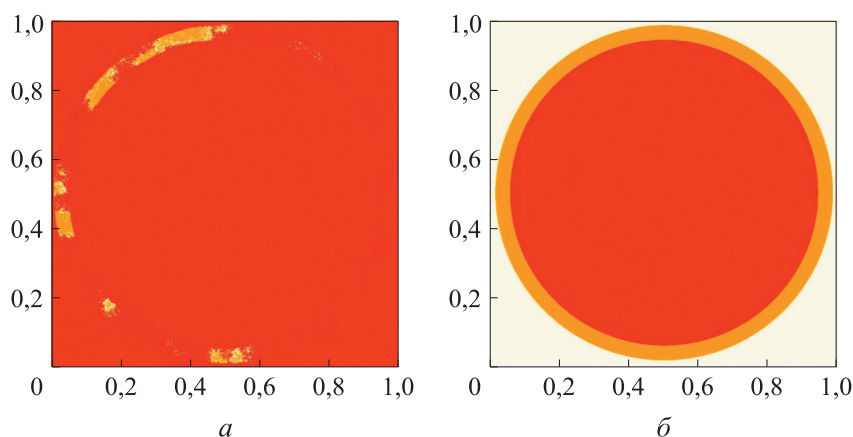


Рис. 9. Результаты оценки герметичности УП после шлифования одно- (а) и пятидисковым (б) инструментами

Моделирование прижатия контактных поверхностей и площадок контакта выполняли методом среза 90 % максимальной высоты исследуемой поверхности. Жидкость принимали идеальной, не имеющей массы и вязкости, поэтому если значение зазора было больше нуля, его заменяли единицей, а области, где нет зазора, оставались равными нулю.

Поле контакта, полученное после шлифования однодисковым инструментом, показано на рис. 9, а, где видно, что идеальная жидкость выходит за пределы кольцевой УП. После шлифования пятидисковым инструментом (см. рис. 9, б) такого явления не наблюдалось.

Оценку герметичности (распространения жидкости) соединения выполняли с использованием алгоритма floodfill и закрашиванием зазора в межуплотнительном пространстве черным цветом. Таким образом, определяли, наличие или отсутствие соединения отдельных участков контакта в статическую полосу записи рабочей среды.

Чтобы оценить герметичность контакта после шлифования одно- и пятидисковым инструментами, моделировали по сорок площадок для каждого из них. Таким образом, герметичность после каждого вида шлифования оценивали по двадцати экспериментам, моделирующим прижатие контактных площадок.

Анализ результатов моделирования показал, что после шлифования однодисковым инструментом соединение получается герметичным в

десяти из двадцати экспериментов, а после обработки пятидисковым инструментом — в тринадцати из двадцати. Это позволяет заключить, что шлифование пятидисковым инструментом дает лучшие результаты по герметичности уплотнительного узла, чем обработка однодисковой головкой.

Выводы

1. С помощью моделирования случайных полей получены математические модели шероховатости после шлифования одно- и пятидисковыми инструментами, отражающие статистические свойства обработанных УП. Эмпирически подобран и реализован алгоритм моделирования сдавливания контактных УП. Разработанный алгоритм можно использовать для моделирования поверхностей с другими статистическими данными и для исследования герметичности уплотнительного узла.

2. Путем численных экспериментов определены статистические свойства шероховатых поверхностей, позволившие воспроизвести случайные поля с такими же статистическими свойствами, как и у УП экспериментальных деталей. Получены математические модели, отражающие выход идеальной жидкости за пределы кольцевой УП после шлифования однодисковым инструментом и отсутствие этого явления после обработки пятидисковой головкой.

Литература

- [1] Погодин В.К. Концепция обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводной арматуры на промышленных предприятиях. *Арматуростроение*, 2006, № 1, с. 34–36.
- [2] Маджумдар А., Бхушан Б. Фрактальная модель упругопластического контакта шероховатых поверхностей. *Современное машиностроение. Сер. Б*, 1991, № 6, с. 11–23.
- [3] Калашников В.А. *Оборудование и технологии ремонта трубопроводной арматуры*. Москва, Машиностроение, 2001. 230 с.
- [4] Сейнов С.В. *Трубопроводная арматура. Исследования. Производство. Ремонт*. Москва, Машиностроение, 2002. 390 с.
- [5] Сейнов С.В., Сейнов Ю.С., Мартынов А.Н. *Технологии и оборудование для притирки уплотнений арматуры*. Москва, Прондо, 2013. 209 с.
- [6] Гайсин С.Н., Зайдес С.А., Цвик Л.Б. *Устройство для шлифования и притирки уплотнительных поверхностей запорной трубопроводной арматуры*. Патент РФ 159212. Заявл. 17.06. 2015, опубл. 10.02.2016.
- [7] Тихомиров В.П., Измеров М.А., Тихомиров П.В. Фрактальные модели инженерных поверхностей. *Вестник БГТУ*, 2014, № 3, с. 72–80.
- [8] Lanaro F. A random field model for surface roughness and aperture of rock fractures. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 2000, vol. 37, no. 8, pp. 1195–1210, doi: [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(00\)00052-6](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(00)00052-6)

- [9] Yu Y., Cui Y., Zhang H. et al. Evaluation analysis on leakage performance for beam seal with two sealing areas. *IEEE Access*, 2022, vol. 10, pp. 29916–29924, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3158485>
- [10] Murtagian G.R., Fanelli V., Villasante J.A. et al. Sealability of stationary metal-to-metal seals. *J. Tribol.*, 2004, vol. 126, no. 3, pp. 591–596, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1715103>
- [11] Marie C., Lasseux D. Experimental leak-rate measurement through a static metal seal. *J. Fluids Eng.*, 2007, vol. 129, no. 6, pp. 799–805, doi: <https://doi.org/10.1115/1.2734250>
- [12] Greenwood J.A., Williamson J.B.P. Contact of nominally flat surfaces. *Proc. Royal Soc. London. Ser. A.*, 1966, vol. 295, no. 1442, pp. 300–319, doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1966.0242>
- [13] Богомолов Д.Ю., Порошин В.В., Радыгин В.Ю. и др. *Математическое моделирование течения жидкости в щелевых каналах с учетом реальной микротопографии поверхности их стенок*. Москва, МГИУ, 2010. 159 с.
- [14] Гайсин С.Н., Зайдес С.А. Условие внутренней герметичности затворов трубопроводной арматуры. *Вестник ИргТУ*, 2014, № 6, с. 45–49.
- [15] Zaides S.A., Gaisin S.N. Creating sealing surface of shutoff assembly of pipeline fittings. *Chem. Petrol. Eng.*, 2017, vol. 53, no. 1–2, pp. 24–27, doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0303-0>
- [16] Бучнев О.С., Гайсин С.Н., Зайдес С.А. Методика оценки герметичности затворов трубопроводной арматуры по результатам моделирования шероховатых поверхностей. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 5, с. 21–29. EDN: SFBMMJ
- [17] Гайсин С.Н., Зайдес С.А. Оптимальные режимы шлифования уплотнительных поверхностей затворного узла трубопроводной арматуры. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2023, № 8, с. 44–48.

References

- [1] Pogodin V.K. The concept of ensuring safe operation of pipeline valves at industrial enterprises. *Armaturostroenie*, 2006, no. 1, pp. 34–36. (In Russ.).
- [2] Madzhumdar A., Bkhushan B. Fractal model of elastic-plastic contact of rough surfaces. *Sovremennoe mashinostroenie. Ser. B*, 1991, no. 6, pp. 11–23. (In Russ.).
- [3] Kalashnikov V.A. *Oborudovanie i tekhnologii remonta truboprovodnoy armatury* [Equipment and technologies of repair of pipeline armature]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 230 p. (In Russ.).
- [4] Seynov S.V. *Truboprovodnaya armatura. Issledovaniya. Proizvodstvo. Remont* [Truboprovodnaya armature. Study. Production. Repair]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2002. 390 p. (In Russ.).
- [5] Seynov S.V., Seynov Yu.S., Martynov A.N. *Tekhnologii i oborudovanie dlya pritirki uplotneniy armatury* [Technologies and equipment for lapping of valve seals]. Moscow, Prondo Publ., 2013. 209 p. (In Russ.).
- [6] Gaysin S.N., Zaydes S.A., Tsvik L.B. *Ustroystvo dlya shlifovaniya i pritirki uplotnitelnykh poverkhnostey zapornoй truboprovodnoy armatury* [Device for grinding and grinding of sealing surfaces of blocking pipeline fittings]. Patent RU 159212. Appl. 17.06.2015, publ. 10.02.2016. (In Russ.).
- [7] Tikhomirov V.P., Izmerov M.A., Tikhomirov P.V. Fractal model of engineering surfaces. *Vestnik BGTU* [Bulletin of Bryansk State Technical University], 2014, no. 3, pp. 72–80. (In Russ.).
- [8] Lanaro F. A random field model for surface roughness and aperture of rock fractures. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 2000, vol. 37, no. 8, pp. 1195–1210, doi: [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(00\)00052-6](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(00)00052-6)
- [9] Yu Y., Cui Y., Zhang H. et al. Evaluation analysis on leakage performance for beam seal with two sealing areas. *IEEE Access*, 2022, vol. 10, pp. 29916–29924, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3158485>
- [10] Murtagian G.R., Fanelli V., Villasante J.A. et al. Sealability of stationary metal-to-metal seals. *J. Tribol.*, 2004, vol. 126, no. 3, pp. 591–596, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1715103>

- [11] Marie C., Lasseux D. Experimental leak-rate measurement through a static metal seal. *J. Fluids Eng.*, 2007, vol. 129, no. 6, pp. 799–805, doi: <https://doi.org/10.1115/1.2734250>
- [12] Greenwood J.A., Williamson J.B.P. Contact of nominally flat surfaces. *Proc. Royal Soc. London. Ser. A.*, 1966, vol. 295, no. 1442, pp. 300–319, doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1966.0242>
- [13] Bogomolov D.Yu., Poroshin V.V., Radygin V.Yu. et al. *Matematicheskoe modelirovanie techeniya zhidkosti v shchelevykh kanalakh s uchetom realnoy mikrotopografii poverkhnosti ikh stenok* [Mathematical modelling of fluid flow in slotted channels taking into account real microtopography of their wall surface]. Moscow, MGIU Publ., 2010. 159 p. (In Russ.).
- [14] Gaysin S.N., Zaydes S.A. Inner pressure-tight condition of pipeline valves. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2014, no. 6, pp. 45–49. (In Russ.).
- [15] Zaides S.A., Gaisin S.N. Creating sealing surface of shutoff assembly of pipeline fittings. *Chem. Petrol. Eng.*, 2017, vol. 53, no. 1–2, pp. 24–27, doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0303-0>
- [16] Buchnev O.S., Gaysin S.N., Zaydes S.A. Methodology for assessing tightness of the pipeline fitting valves based on results of the rough surfaces simulation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2024, no. 5, pp. 21–29. EDN: SFBMMJ (in Russ.).
- [17] Gaysin S.N., Zaydes S.A. Optimal grinding modes for sealing surfaces of the valve assembly of pipeline fittings. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroyeniye*, 2023, no. 8, pp. 44–48. (In Russ.). (Eng. version: *Chem. Petrol. Eng.*, 2023, vol. 59, no. 7–8, pp. 691–698, doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-024-01293-x>)

Статья поступила в редакцию 23.10.2024

Информация об авторах

БУЧНЕВ Олег Сергеевич — кандидат технических наук, доцент института информационных технологий и анализа данных. ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Иркутск, Российская Федерация, ул. Лермонтова, д. 83, e-mail: buchnevo81@mail.ru).

ГАЙСИН Сергей Николаевич — инженер кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств». ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Иркутск, Российская Федерация, ул. Лермонтова, д. 83, e-mail: gaisinsn@mail.ru).

ЗАЙДЕС Семен Азикович — доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение, сварочные и аддитивные технологии». ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Иркутск, Российская Федерация, ул. Лермонтова, д. 83, e-mail: zsa@istu.edu).

Information about the authors

BUCHNEV Oleg Sergeevich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor of the Institute of Information Technology and Data Analysis. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk National Research Technical University (664074, Irkutsk, Russian Federation, Lermontov St., Bldg. 83, e-mail: buchnevo81@mail.ru).

GAISIN Sergey Nikolaevich — Engineer, Department of Technology and Equipment of Machine-building Industries. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk National Research Technical University (664074, Irkutsk, Russian Federation, Lermontov St., Bldg. 83, e-mail: gaisinsn@mail.ru).

ZAIDES Semyon Azikovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Materials Science, Welding and Additive Technologies. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk National Research Technical University (664074, Irkutsk, Russian Federation, Lermontov St., Bldg. 83, e-mail: zsa@istu.edu).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Бучнев О.С., Гайсин С.Н., Зайдес С.А. Оценка герметичности затворных узлов по результатам моделирования шероховатых поверхностей после шлифования одно- и пятидисковым инструментами. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2025, № 2, с. 51–59.

Please cite this article in English as:

Buchnev O.S., Gaisin S.N., Zaides S.A. Assessing the gate assembly tightness based on the results of simulating rough surfaces after the one- and five-disc grinding. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2025, no. 2, pp. 51–59.