



Особенности расчета кинематических параметров и величины шероховатости при абразивной доводке запорных поверхностей корпусов задвижек, соединяющих трубы

В. А. Скрябин

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

(г. Пенза, Россия)

vs_51@list.ru

Введение. В статье сформулированы и обоснованы основные положения особенностей кинематики перемещения притира в процессе доводки запорных элементов задвижек, а также разработаны методики определения режимных параметров и величины шероховатости в процессе абразивной доводки уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры.

Материалы и методы. Разработана кинематическая схема шлифовально-притирочного переносного станка для определения угловых скоростей вращения инструментального диска и притиров. На основании разработанной кинематической схемы получены аналитические зависимости для определения мощностей двигателя привода станка и резания, а также угловых и линейных скоростей вращения инструментального диска и притиров. В статье описаны траектории следов сетки точки притира при его перемещении по обрабатываемой поверхности детали трубопроводной арматуры.

Результаты исследования. Приведены примеры расчета кинематических параметров и шероховатости обработанной уплотнительной поверхности задвижки с диаметром условного прохода DN 100 по созданным аналитическим зависимостям для черновой и чистовой притирки. Рассчитаны координаты точек перемещения инструментов с визуализацией траектории движения точек с помощью специального программного продукта Lazarus. Рассчитаны координаты и построен графический след точки инструмента при его перемещении в процессе обработки. Определено расчетным путем удельное межуплотнительное пространство, характеризующее пропускную способность уплотнительных поверхностей.

Обсуждение и заключение. Выполненные расчеты позволили установить, каким образом размещать притир относительно обрабатываемой уплотнительной поверхности в плане оптимизации процесса обработки. Предварительные расчеты показали, что площадь контакта притира с обрабатываемой деталью и оптимальный угол контакта изменятся незначительно в пределах относительной погрешности 5...10%.

Ключевые слова: особенности кинематики абразивной доводки, кинематическая схема, аналитические зависимости режимных параметров и шероховатости поверхности, координаты точек перемещения инструмента, площадь контакта притира с обрабатываемой поверхностью

Для цитирования: Скрябин В. А. Особенности расчета кинематических параметров и величины шероховатости при абразивной доводке запорных поверхностей корпусов задвижек, соединяющих трубы // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29, № 4. С. 546–559. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.546-559>

© Скрябин В. А., 2019



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Features of Calculating Kinematic and Roughness Parameters at Abrasive Finishing of Shut-Off Surfaces of Gate Valve Bodies Connecting Pipes

V. A. Skryabin

Penza State University (Penza, Russia)

vs_51@list.ru

Introduction. The author defines main provisions for peculiarities of the kinematics of plant lapping in the process of finishing shut-off elements of the valves, as well as methods for determination of operating parameters and values of roughness in the process of abrasive finishing of sealing surfaces of valves.

Materials and Methods. The kinematic scheme of grinding machines was developed to determine the angular velocity of rotation of an instrumental disc and lapping machine. Based on the developed kinematic scheme, we obtained analytical expressions to determine the capacity of the machine's drive motor and cutting elements, as well as the angular and linear speeds of rotation of tool drive and laps. There were also developed trajectory traces of grid points of the lapping tool at its movement along with the treated surface details of pipe fittings.

Results. There are given examples of calculation of kinematic parameters and roughness of the treated sealing surface of gate valves with the diameter $DN = 100$ according to established analytical dependencies for rough and finish lapping. The coordinates of the moving tools were calculated with visualization of trajectory points using special software Lazarus. The coordinates were calculated and the trace of the moving point tool was built. The specific space which characterizes the capacity of the sealing surfaces was calculated.

Discussion and Conclusion. Calculations allowed us to determine how to place the lapping tool relative to the machine's sealing surface for optimization of the treatment process. Preliminary calculations showed that the area of lapping tool's contact with the workpiece and the optimum angle of contact would change slightly within the relative probability of error of 5% and 10%.

Keywords: features of abrasive finishing kinematics, kinematic scheme, analytical dependences of operating parameters and surface roughness, coordinates of tool movement points, contact area of lapping tool with the treated surface

For citation: Skryabin V.A. Features of Calculating Kinematic and Roughness Parameters at Abrasive Finishing of Shut-Off Surfaces of Gate Valve Bodies Connecting Pipes. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2019; 29(4):546-559. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.546-559>

Введение

Для обеспечения качественных параметров запорных элементов притиркой необходимо обращать внимание на:

– исходное состояние поверхности детали;

– скорости вращения инструментального блока и инструментов для абразивной доводки (их величины зависят от характера доводочной операции);

– давление (усилие прижима) притира на обрабатываемые поверхности;

– состав абразивной рабочей среды.

При производстве или ремонте запорных (уплотнительных) деталей трубопроводной арматуры (в частности при мелком ремонте, то есть восстановлении уплотнительных поверхностей корпусов клиновых задвижек) необходимым параметром является герметичность затвора. Для этого необходимо получить заданные качественные характеристики уплотнительных поверхностей на специальном станке

ГАКС-Ф-4¹ [1–3] с определенным сочетанием движений притира и рабочего диска (рис. 1):

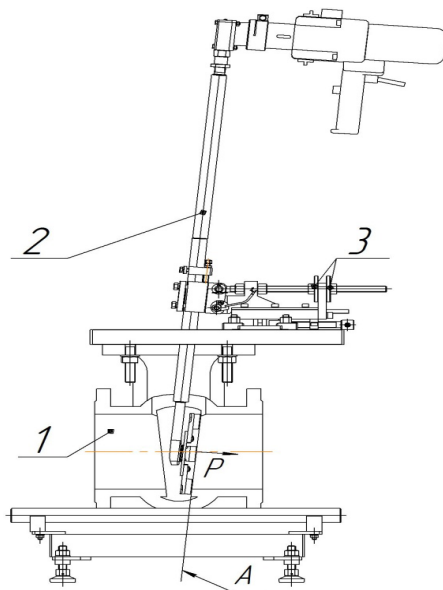
– главного движения (вращения диска, на котором закреплен инструмент, непосредственно от двигателя);

– движения, обеспечивающего равномерную обработку (вращения инструмента вокруг своей оси).

Плотность (непроницаемость уплотнительных поверхностей деталей арматуры-задвижки и корпуса) в процессе ремонта достигается абразивной доводкой. К уплотнительным поверхностям деталей трубопроводной арматуры, обработанным доводкой, предъявляются следующие требования: шероховатость поверхности не ниже $R_a = 0,08$ мкм, отклонения от плоскостности до 1 мкм.

Обзор литературы

При абразивной доводке запорных поверхностей деталей трубопроводной арматуры основным недостатком является отсутствие основных положений особенностей кинематики движения инструмента относительно обрабатываемых уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры. Отсутствуют также методики определения режимных параметров и величины шероховатости в процессе абразивной доводки уплотнительных поверхностей² [2–5]. Неполностью раскрыты вопросы настройки технологического оборудования перед притиркой поверхностей. Все это негативным образом влияет на производительность и качество процесса обработки и требует



Р и с. 1. Схема переносного станка для абразивной доводки
1 – обрабатываемый корпус; 2 – станок; 3 – регулировочные винты для приложения усилия;
А – обрабатываемая уплотнительная поверхность корпуса задвижки

Fig. 1. Scheme of portable machine for abrasive finishing
1 – treated housing; 2 – machine; 3 – adjustment screws for force application;
А – machined sealing surface of the gate valve body

¹ Сейнов С. В., Сейнов Ю. С., Маргьнов А. Н. Технологии и оборудование для притирки уплотнений арматуры: технич. справочник. М.: Прондо, 2013. 250 с. URL: <http://tpkom.com/book/book.php?ID=1414.5> (дата обращения: 30.08.2019).

² Там же.

применения соответствующих технических и технологических решений. Большой вклад в создание установок для абразивной доводки уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры внесли ученые и инженеры немецких фирм, в том числе Л. В. Молчанова, генеральный директор концерна Unigrind-SLIM, и Якоб Вост, генеральный директор концерна EFCO-HSL, а также российские ученые и специалисты: С. В. Сейнов, А. К. Адаменков, В. А. Поляков, В. К. Погодин и др. Однако конструкции установок немецких фирм при всей их оригинальности обладают определенными недостатками: малая мощность электро- или пневмодвигателя, по сравнению с российской фирмой «ГАКС-РЕМ-АРМ», и малая глубина погружения шинделя с инструментальным диском, оборудованным притирами, не позволяют обеспечить высокую производительность и заданные качественные параметры при абразивной доводке крупногабаритных корпусов клиновых задвижек с диаметром условного прохода $DN = 1000 \dots 1400$ мм и глубиной погружения $L = 1200 \dots 1400$ мм. Одними из первых предприятий в России по производству вышеуказанных установок и по технологии шлифования и доводки запорных поверхностей деталей трубопроводной арматуры являются «ГАКС-АРМ-Сервис» и «ГАКС-РЕМ-АРМ» в составе «ГАКС-АРМ-Сервис», генеральным директором которых является Ю. С. Сейнов, а президентом – профессор С. В. Сейнов. Значительный вклад в вопросы настройки переносных станков для абразивной доводки и создания методики определения режимных параметров и величины шероховатости процесса абразивной доводки уплотнительных поверхностей, а также в вопросы выбора рациональных абразивных материалов и смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), внес ведущий эксперт вышеуказанных предприятий профессор В. А. Скрябин.

Материалы и методы

При решении данной задачи необходимо определить траекторию движения инструмента. Для этого выполним расчет по определению кинематических параметров и шероховатости обработанной уплотнительной поверхности задвижки с диаметром условного прохода $DN 100$ по схеме, приведенной на рисунке 2. Определяем размеры OA и AC [4–7].

На рисунке 3 показан инструментальный блок 1 с расположенными на нем пластинами 2, на которых закрепляются инструменты 3.

Наружные диаметры инструментальных блоков $D = \emptyset 116,5 \dots 241$ мм; $D_{\text{инструмента}} = 40$ мм; $D_{\text{диска}} = 40$ мм.

Из рисунков 2 и 3: OA – расстояние от центра инструментального блока до центра инструмента; $OA = 116,5/2 - 40/2 = 58,25 - 20 = 38,25$ мм; AC – расстояние от центра инструментального блока до середины обрабатываемой уплотнительной поверхности; H – ширина уплотнительной поверхности.

Для $DN 100 - H = \frac{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}}{2}$, $H =$

$= (125 - 110)/2 = 7,5$ мм. Из рисунка 2:

$AC = \frac{D_{\text{инструмента}}}{2} - \Delta - \frac{H}{2}$, где Δ – вылет инструмента за край уплотнительной поверхности для исключения его торможения за счет разности линейных скоростей вращения инструментального блока V_A и инструмента V_C , $\Delta \approx 5$ мм.

$$AC = \frac{40}{2} - 5 - 3,75 = 11,25 \text{ мм.}$$

Мощность резания определяется по формуле:

$$N_{\text{рез}} = n \cdot R_p \cdot V_C,$$

где n – число одновременно работающих инструментов; R_p – сила резания; V_C – линейная скорость точки приложе-

ния силы сопротивления. Сила резания подсчитывается по формуле:

$$R_p = f \cdot F_{\text{пр}},$$

где f – коэффициент (трения) сопротивления между инструментом и обрабатываемой поверхностью; $F_{\text{пр}}$ – усилия прижима инструмента к обрабатываемой поверхности. По производственным данным при чистовой притирке V_C ограничивают значениями 0,25...0,5 м/с, а при черновой притирке V_C ограничивают значениями 0,4...2 м/с.

Коэффициент трения f между абразивным инструментом и обрабатываемой поверхностью из легированной стали изменяется в диапазоне 0,1...0,4. В этом случае $N_{\text{рез}} = n \cdot f \cdot F_{\text{пр}} \cdot V_C$.

Для определения усилия прижима инструмента к обрабатываемой поверхности $F_{\text{пр}}$ приведем таблицу 1. Все рекомендуемые усилия прижима в таблице 1 являются данными, полученными в результате производственных испытаний на базе ООО «ГАКС-РЕМ-АРМ (г. Пенза).

Таблица 1

Table 1

Рекомендуемые значения усилия прижима
Recommended values of the clamping force

DN – диаметр условного прохода, мм // DN – diameter of the conditional pass, mm	50	80	100	150	200	400	600	800	1000	1200
S – суммарная площадь контакта инструментов с обрабатываемой поверхностью, cm^2 // S – total contact area of the tools with the work, cm^2	11	20	28	47	85,4	193,2	290	617	805	1160
$F_{\text{пр}}(F)$ ($P = 0,1$ МПа) – усилие прижима инструмента к обрабатываемой поверхности детали $F_{\text{пр}}$, кг, и соответствующее ему давление P , МПа // $F_{\text{пр}}(F)$ ($P = 0,1$ МПа) – tool clamping force on the work piece surface $F_{\text{пр}}$, kg, and pressure P , МПа	11	20	7	8	10	20	24	30	30	36
$F_{\text{пр}}(F)$ ($P = 0,04$ МПа) – усилие прижима инструмента к обрабатываемой поверхности детали $F_{\text{пр}}$, кг, и соответствующее ему давление P , МПа // $F_{\text{пр}}(F)$ ($P = 0,04$ МПа) – tool clamping force on the work piece surface $F_{\text{пр}}$, kg and P , МПа	4,4	8	2,6	3	4	7,7	9,6	12	12	15
$F_{\text{пр}}(F)$ ($P = 0,15$ МПа) – усилие прижима инструмента к обрабатываемой поверхности детали $F_{\text{пр}}$, кг, и соответствующее ему давление P , МПа // $F_{\text{пр}}(F)$ ($P = 0,15$ МПа) – tool clamping force on the work piece surface $F_{\text{пр}}$, kg) P , МПа	16,5	30	8,5	12	15	30	36	45	45	54

$N_{рез} = 3 \cdot 0,2 \cdot 70 \cdot 0,3 = 12,6 \text{ Н} \cdot \text{м/с} = 12,6 \text{ Вт} = 0,0126 \text{ кВт}$ – чистовая притирка.

$N_{рез} = 3 \cdot 0,2 \cdot 85 \cdot 0,4 = 20 \text{ Н} \cdot \text{м/с} = 26 \text{ Вт} = 0,02 \text{ кВт}$ – черновая притирка.

Угловая скорость вращения инструмента определяется по следующей зависимости (рис. 2) [4; 8; 9]:

$$\omega_2 = \frac{n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot \omega_1 \cdot OA - N_{рез}}{n \cdot f \cdot F_{пр} \cdot AC},$$

где n – число одновременно работающих инструментальных головок; $R_p = f \cdot F_{пр}$ – сила резания; ω_1, ω_2 – угловые скорости двигателя привода и инструмента; OA, AC – плечи приложения движущей силы $P_{дв}$ от привода, приложенной в точке A и результирующей силой резания R_p ; f – коэффициент (трения) сопротивления между инструментом и обрабатываемой поверхностью; $F_{пр}$ – усилия прижима инструмента к обрабатываемой поверхности. Мощность резания и мощность двигателя привода связаны соотношением:

$$N_{рез} \leq \eta \cdot N_{дв}$$

где η – КПД привода ($\eta \approx 0,9$).

Результаты исследования

Мощность двигателя связана с моментом вращения двигателя привода зависимостью:

$$\eta \cdot N_{дв} = M_{дв} \cdot \omega_1.$$

Угловая скорость двигателя определяется следующим образом:

$$\omega_1 = \frac{2\pi n}{60}.$$

По производственным данным технологических процессов ООО «ГАКС-РЕМ-АРМ» $n_1 = 120 \text{ мин}^{-1}$ при черновой притирке. Тогда:

$$\omega_1 = \frac{2\pi n}{60} = \frac{6,28 \cdot 120}{60} = 12,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

При получистовой и чистовой притирке:

$$\omega_1 = \frac{6,28 \cdot 100}{60} = 10,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

При чистовой притирке:

$$M_{дв} = \frac{\eta \cdot N_{дв}}{\omega_1} = \frac{0,9 \cdot 2}{12,6} = 0,16 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

При черновой притирке:

$$M_{дв} = \frac{\eta \cdot N_{дв}}{\omega_1} = \frac{0,9 \cdot 2}{10,4} = 0,18 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Угловая скорость инструмента ω_2 для чистовой притирки определяется как:

$$\begin{aligned} \omega_2 &= \frac{3 \cdot 0,2 \cdot 70 \cdot 10,4 \cdot 38,25 \cdot 10^{-3} - 12,6}{3 \cdot 0,2 \cdot 70 \cdot 11,25 \cdot 10^{-3}} = \\ &= \frac{4,1}{0,47} = 8,72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Определим линейную скорость инструмента по зависимости:

$$V_2 = \omega_2 \cdot R,$$

где R – радиус инструмента.

$$V_2 = 8,72 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,174 \frac{\text{м}}{\text{с}} (10,44 \frac{\text{м}}{\text{мин}}).$$

В соответствии с производственными данными по предприятиям России и литературным источникам окружная скорость при чистовой притирке ограничивается значениями не более 0,5..0,8 м/с и рекомендуется задавать ее в диапазоне 0,2...0,5 м/с.

Давление притира на обрабатываемую поверхность определяется как:

$$P = \frac{F_{пр}}{S} = \frac{7}{28} = 0,25 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 0,025 \text{ МПа}.$$

Среднее давление по таблице 1: $P = 0,04 \dots 0,1$ МПа ($0,4 \dots 1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$).

По производственным и литературным данным давление при чистой притирке находится в диапазоне $0,05 \dots 0,12$ МПа.

Определим скорость вращения диска с инструментами:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_{\text{диска}} \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 116,5 \cdot 100}{1000} \approx 37 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Шероховатость обработанной поверхности при плоской притирке, согласно исследованиям П. Н. Орлова (МГТУ им. Н. Э. Баумана), определяется по следующей зависимости:

$$R_a = C_{R_a} \cdot P^y \cdot HB^{-m} \cdot d,$$

где C_{R_a} – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, абразива и других условий обработки; P – давление притира на обрабатываемый материал; HB – твердость обрабатываемого материала; d – диаметр абразивных зерен. Для наплавленной поверхности из высоколегированной стали марки Св-15Х18Н12С4ТЮ $HB = 120 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$, $P = 0,4 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ ($0,04$ МПа), $y = 1$, $m = -1$, абразивный материал – микрошлифпорошки М10(F800) электрокорунда хромтитанистого марок 91А...95А; $C_{R_a} = 235 \dots 280$.

$$R_a = 235 \cdot 0,4^1 \cdot (120 \cdot 10^2)^{-1} \cdot 10 \approx 0,07 \text{ мкм.}$$

Угловая скорость инструмента ω_2 для черновой притирки определяется как:

$$\omega_2 = \frac{3 \cdot 0,25 \cdot 85 \cdot 12,6 \cdot 38,25 \cdot 10^{-3} - 20}{3 \cdot 0,25 \cdot 85 \cdot 11,25 \cdot 10^{-3}} = \frac{10,7}{0,7} = 15,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$V_2 = 15,2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,31 \frac{\text{м}}{\text{с}} (18,6 \frac{\text{м}}{\text{мин}}).$$

При механической доводке плоских наружных поверхностей рациональные значения давлений в соответствии с производственными и литературными данными скорости вращения притира составляют для предварительной притирки и изменяются в диапазоне $0,5 \dots 2$ м/с.

$$P = \frac{F_{\text{пр}}}{S} = \frac{10,5}{28} = 0,4 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 0,04 \text{ МПа} \\ (0,15 \text{ МПа}).$$

Определим скорость вращения диска с инструментами:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_{\text{диска}} \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 116,5 \cdot 120}{1000} \approx 43,92 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

По производственным и литературным данным, давление при черновой притирке находится в диапазоне $0,12 \dots 0,2$ МПа. В качестве абразивного материала используются микрошлифпорошки М14(F600) электрокорунда хромтитанистого марок 91А...95А; $C_{R_a} = 235 \dots 280$ [10–14].

$$R_a = 280 \cdot 1,5^1 \cdot (120 \cdot 10^2)^{-1} \cdot 14 \approx 0,56 \text{ мкм.}$$

Вследствие того, что построение траекторий движения инструмента связано с достаточно трудоемкими и длительными по времени вычислениями, следует использовать программный продукт, который позволит быстро и точно рассчитать положение заданных точек в определенный момент времени.

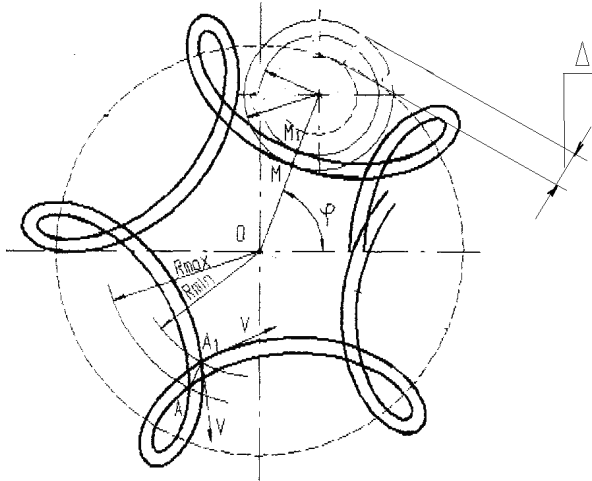
Визуализация траектории движения точек инструмента выполнена с помощью программного продукта Lazarus (симбиоз программ DELFI и C++).

Одним из важных вопросов стабильного обеспечения качества обработки поверхностей деталей является управление траекторией движения притира.

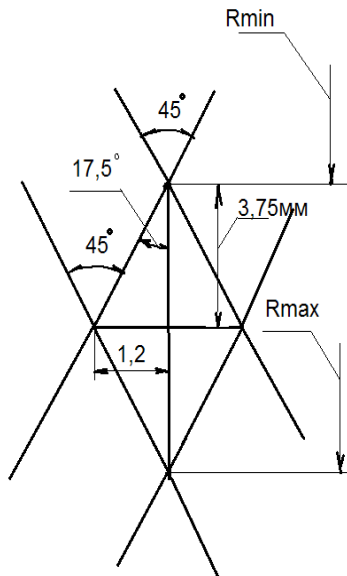
На рисунке 4 показан след точки притира по обрабатываемой поверхности.

На рисунке 5 приведено графическое изображение следов сетки точки притира на обрабатываемой поверхности.

Анализ теоретических результатов исследований сложного движения пластин показывает влияние следа точки инструмента по обрабатываемой уплотнительной поверхности на качество обработки поверхностей деталей. Из



Р и с. 4. След точки притира по обрабатываемой поверхности
F i g. 4. Trace of the point of lapping on the processed surface



Р и с. 5. Графическое построение следов сетки точки притира на обрабатываемой поверхности с помощью программы Lazarus

F i g. 5. Graphic construction of traces of the point of lapping on the processed surface with the help of the program Lazarus

рисунков 4 и 5 следует, что равномерная сетка при пересечении рисок от наложения двух движений получилась за счет плавной и равномерной скорости движения инструмента по траектории, стабильной величины давления притира на обрабатываемую поверхность по всей ее площади. Это уменьшает завал торцевой уплотнительной плоскости и способствует достижению заданных параметров качества поверхности.

Удельное междууплотнительное пространство определяется в соответствии с литературным источником³ [10] по следующей зависимости:

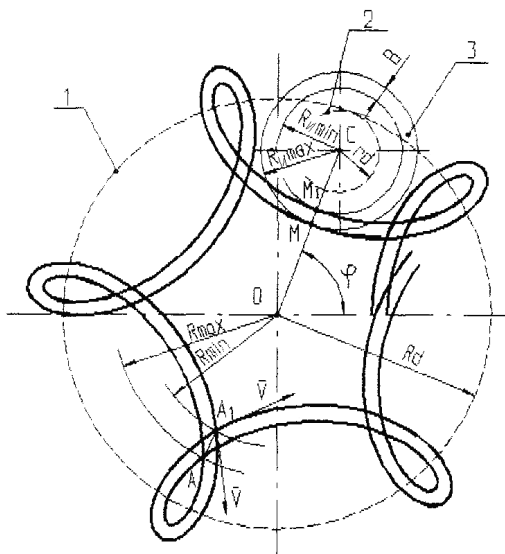
$$S_{\text{мп}} = R_{\text{max}} \cdot L \cdot K,$$

где L – базовая длина, мм; K – коэффициент, учитывающий незаполненное пространство профиля.

При чистовой доводке уплотнительных поверхностей согласно предшествующим расчетам $Ra = 0,07$ мкм, $R_{\text{max}} = 0,4$ мкм, $L = 0,25$ мм, $K = 0,5$.

$$S_{\text{мп}} = 0,4 \cdot 250 \cdot 0,5 = 50 \text{ мкм}^2.$$

Эта величина хорошо соответствует величине удельного междууплотнительного пространства, определенного экспериментальным путем на предприятии ООО «ГАКС-АРМ-СЕРВИС».



Р и с. 6. Положение притира 3 слева от обрабатываемой уплотнительной поверхности: Ru_{min} и Ru_{max} – минимальный и максимальный радиусы рабочей поверхности притира; R_{min} и R_{max} – минимальный и максимальный радиусы обрабатываемой уплотнительной поверхности; φ – угол поворота водила с инструментом; M , M_1 , A и A_1 – точки начала и конца рабочей поверхности притира; r_a и R_a – радиусы окружностей, описываемых при вращении вала крепления притира при вращении его вокруг своей оси 2 и вокруг оси инструментального блока 1; \vec{V} – вектор линейной скорости вращения инструмента

Fig. 6. Position of lapper 3 to the left of the machined sealing surfaces: Ru_{min} and Ru_{max} – minimum and maximum radii of the working surface of the lapper; R_{min} and R_{max} – minimum and maximum radii of the processed sealing the surface; φ – angle of rotation of the carrier with the tool; M , M_1 , A and A_1 – start and end points of the working surface of the lapper; r_a and R_a are the radii of the circles described by the rotation of the shaft mounting lapper by rotating it around its axis 2 and axis tools instrumental block 1; \vec{V} is the vector of linear speed of rotation of the tool

³ Там же.

Обсуждение и заключение

Анализ представленных результатов позволил решить вопрос о месте расположения притиров на инструментальном блоке относительно обрабатываемых уплотнительных поверхностей (рис. 6).

Диаметр посадочной поверхности притира $D_d = 13$ мм для $DN 100$. Таким образом, ширина рабочей поверхности притира:

$$B = \frac{D_{\text{инструмента}} - D_d}{2} = \frac{40 - 13}{2} = 13,5 \text{ мм.}$$

$R_{\text{max}} = 20$ мм, $R_{\text{min}} = 6,5$ мм. С учетом выхода верхней точки притира относительно верхней точки обрабатываемой уплотнительной поверхности на величину $\Delta \approx 5$ мм контакт притира с обрабатываемой поверхностью детали происходит по размеру 8,5 мм и на 1 мм перекрывает ширину уплотнительной поверхности $H = 7,5$ мм.

Оптимальный сектор контакта притира и уплотнительной поверхности, рекомендуемый для благоприятных условий вращения абразивного инструмента определяется следующим образом из рисунка 7:

Из рассмотрения треугольника $AOK - OK$ определяется как:

$$OK = d/2 - \Delta - 7,5 - 1 = 20 - 5 - 7,5 - 1 = 6,5 \text{ мм.}$$

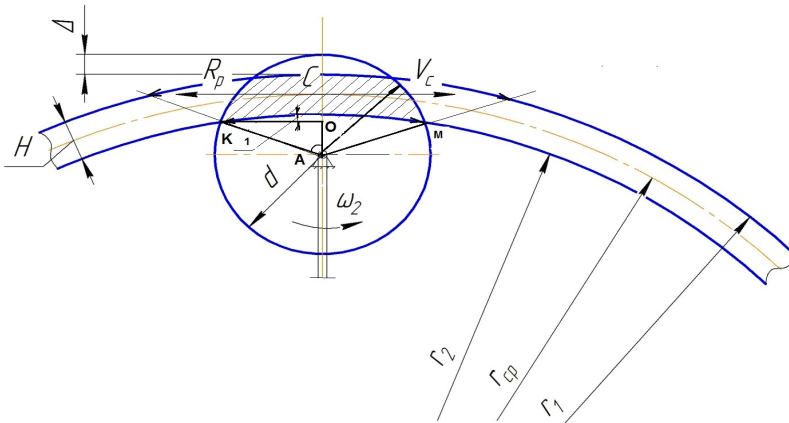
\sin угла $AKO = OA/AK$; \sin угла $AKO = 6,5/20 = 0,325$; Угол $AKO = 19^\circ$. Угол $OAK = 90^\circ - 19^\circ = 71^\circ$. Оптимальный угол контакта KAM равен 142° .

На рисунке 8 положение притира изображено справа от уплотнительной поверхности.

Предварительные расчеты показали, что площадь контакта и оптимальный угол контакта изменятся незначительно в пределах относительной погрешности 5...10 %.

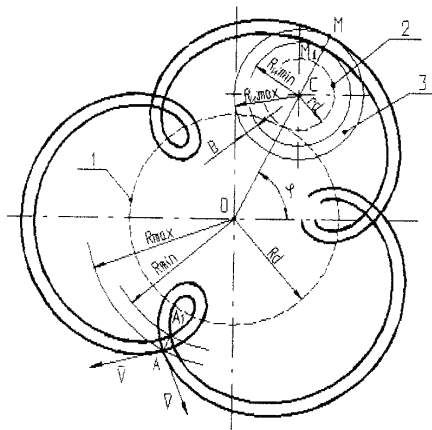
Экспериментально установлено, что при настройке переносного станка более предпочтительным будет расположение притира 3 слева от обрабатываемой поверхности, так как схема, предложенная на рисунке 8, обладает рядом существенных недостатков:

1. Увеличение плеча OC инструментального диска примерно на 15...20 мм с учетом того, что он изготовлен из алюминиевого сплава, уменьшает



Р и с. 7. Определение оптимального угла контакта абразивного инструмента с уплотнительной поверхностью

F i g. 7. Determination of the optimum contact angle of the abrasive tool with the sealing surface



Р и с. 8. Положение притира 3 справа от обрабатываемой уплотнительной поверхности F
 F i g. 8. Position of the lapper 3 to the right of the machined sealing surface

жесткость инструментальной системы и повышает ее вибрации, что негативно влияет на качественные параметры обрабатываемой поверхности.

2. Кроме того, это может привести к проблеме размещения инструментов на обрабатываемой уплотнительной поверхности деталей трубопроводной арматуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адаменков А. К., Поваров В. П., Шаранов С. В. Диагностика электроприводной арматуры с использованием комплекса ПКСД-01 // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2006. № 16. С. 23–27.
2. Oren J. W. Design Considerations of Deflection in a Rigid Flange Gasket Joint // SAE Transactions. 1983. Vol. 92. Pp. 817–828. URL: https://www.jstor.org/stable/44644415?seq=1#page_scan_tab_contents (дата обращения: 30.08.2019).
3. Скрыбин В. А., Павлова Ж. В. Модернизация переносного станка для шлифования и притирки уплотнительных поверхностей затворов задвижек трубопроводной арматуры // Ремонт, восстановление, модернизация. 2015. № 2. С. 8–13. URL: http://www.nait.ru/journals/number.php?p_number_id=2227 (дата обращения: 30.08.2019).
4. Скрыбин В. А., Желтова Ж. В. Определение траектории движения инструмента при абразивной доводке уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры // Машиностроитель. 2015. № 5. С. 20–24.
5. Скрыбин В. А. Этапы обработки при восстановлении запорных деталей трубопроводной арматуры // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 2. С. 228–245. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201602.228-245>
6. Sarda S. P., Le Tirant P., Baron G. Influence Des Contraintes Et De La Pression De Fluide Sur Le Cou Lement Dans Les Rocked Fissurees // Advances of Rock Mechanics. 1974. Vol. 2. Pp. 667–673.
7. Gläser H. Eine Methode der näherungsweise Berechnung der Dichtungskennwerte für Metalledichtungen der ND-Technik anhand mechanischer Ersatzmodelle – 4 Int. Dichtungstag. Dresden, 1970. Pp. 420–444.
8. Gane N., Skinner J. The Friction and Scratch Deformation of Metals on a Micro Scale // Wear. 2005. Vol. 24, Issue 2. Pp. 207–217. DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(73\)90233-0](https://doi.org/10.1016/0043-1648(73)90233-0)

9. Macdonald I. F., El-Sayed M. S., Mow K., Dullien F. A. L. Flow through Porous Media-the Ergun Equation Revisited // *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. 1979. Vol. 18, no. 3. Pp. 199–208. DOI: <https://doi.org/10.1021/i160071a001>

10. Поляков В. А., Шестаков Р. А., Комаров Д. Н. Комплексная параметрическая методика обнаружения утечек и несанкционированных взрывов на трубопроводах // *Трубопроводный транспорт: теория и практика*. 2018. № 1 (65). С. 40–44.

11. Исследование влияния эксплуатационных параметров на ресурс и герметичность затворного узла трубопроводной арматуры / В. К. Погодин [и др.] // *Арматуростроение*. 2004. № 5. С. 64–67.

12. Krause H. Tribochemical Reactions in the Friction and Wearing Process of Iron // *Wear*. 1971. Vol. 18, Issue 5. Pp. 403–412. DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(71\)90004-4](https://doi.org/10.1016/0043-1648(71)90004-4)

13. Огар П. М., Тарасов В. А., Ключев Е. А., Максимова О. В. Влияние толщины покрытия на упругую характеристику слоистого упругого полупространства // *Механика XXI века*. 2007. С. 321–327.

14. Адаменков А. К., Веселова И. Н., Рясный С. И. Метод выбора трубопроводной арматуры АЭС, подлежащей ремонту по техническому состоянию // *Тяжелое машиностроение*. 2008. № 10. С. 8–11.

Поступила 11.02.2019; принята к публикации 18.04.2019; опубликована онлайн 31.12.2019

Об авторе:

Скрябин Владимир Александрович, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (440000, Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), доктор технических наук, ResearcherID: R-2385-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7156-9198>, vs_51@list.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Adamenkov A.K., Povarov V.P., Sharanov S.V. Diagnostics of Electric Actuators with the Use of PKSD-01 Complex. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Texnicheskie nauki* = University News. North-Caucasian Region. Technical Sciences Series. 2006; (16):23-27. (In Russ.)

2. Oren J.W. Design Considerations of Deflection in a Rigid Flange Gasket Joint. *SAE Transactions*. 1983; 92:817-828. Available at: https://www.jstor.org/stable/44644415?seq=1#page_scan_tab_contents (accessed 30.08.2019). (In Eng.)

3. Skryabin V.A., Pavlova G.V. Technology of Repair of Corps of Bolt of Pipeline Armature. *Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya* = Repair, Renewal, Modernization. 2015; (2):8-13. Available at: http://www.nait.ru/journals/number.php?p_number_id=2227 (accessed 30.08.2019). (In Russ.)

4. Skryabin V.A., Zheltova Zh.V. Determination of Trajectory of Motion of Instrument at the Abrasive Polishing of Packer Surfaces of Details of Pipeline Armature. *Mashinostroitel* = Mechanical Engineer. 2015; (5):20-24. (In Russ.)

5. Skryabin V.A. The Processing Steps in the Renew of Plug-Forming Details of Pipeline Fittings. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 26(2):228-245. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201602.228-245>

6. Sarda S.P., Le Tirant P., Baron G. Influence Des Contraintes Et De La Pression De Fluide Sur Le Cou Lement Dans Les Rocked Fissurees. *Advances of Rock Mechanics*. 1974; 2:667-673. (In Fr.)

7. Gläser H. Eine Methode der näherungsweise Berechnung der Dichtungskennwerte für Metalldichtungen der ND-Technik anhand mechanischer Ersatzmodelle – 4 Int. Dichtungstag. Dresden; 1970. p. 420–444. (In Ger.)

8. Gane N., Skinner J. The Friction and Scratch Deformation of Metals on a Micro Scale. *Wear*. 2005; 24(2):207-217. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(73\)90233-0](https://doi.org/10.1016/0043-1648(73)90233-0)
9. Macdonald I.F., El-Sayed M.S., Mow K., Dullien F.A.L. Flow through Porous Media-The Ergun Equation Revisited. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. 1979; 18(3):199-208. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1021/i160071a001>
10. Polyakov V.A., Shestakov R.A., Komarov D.N. Complex Parametric Method of Leakage Detection and Unauthorized Taps on Pipelines. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika* = Pipeline Transport: Theory and Practice. 2018; (1):40-44. (In Russ.)
11. Pogodin V.K., Drevin A.K., Mixajlyuk E.A., et al. The Study of the Influence of Operational Parameters on the Service Life and Tightness of the Gate Valve of Pipeline Valves. *Armaturostroenie* = Fittings. 2004; (5):64-67. (In Russ.)
12. Krause H. Tribochemical Reactions in the Friction and Wearing Process of Iron. *Wear*. 1971; 18(5):403-412. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(71\)90004-4](https://doi.org/10.1016/0043-1648(71)90004-4)
13. Ogar P.M., Tarasov V.A., Klyuchev E.A., Maksimova O.V. Influence of Coating Thickness on Elastic Characteristic of Layered Elastic Half-Space. *Mekhaniki XXI veku* = 21st Century Mechanics. 2007; 321-327.
14. Adamenkov A.K., Veselova I.N., Ryasnyy S.I. Method for Selecting the Pipeline Valves of the Nuclear Power Plant to Be Repaired as per Technical Condition. *Tyazheloe mashinostroenie* = Heavy Engineering. 2008; (10):8-11.

Received 11.02.2019; revised 18.04.2019; published online 31.12.2019

About the author:

Vladimir A. Skryabin, Professor of Engineering Technology Chair, Penza State University (40 Krasnaya St, Penza 440000, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: R-2385-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7156-9198>, vs_51@list.ru

The author has read and approved the final manuscript.