

УДК 621.791.92+822.5

## РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ КОМПРЕССОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Газиев Р.Р.<sup>1</sup>, Захаров Н.М., Бабенко А.Ф., Чурагулова А.Г.

*Филиал Уфимского государственного нефтяного  
технического университета в г. Салавате, e-mail: <sup>1</sup>gaziev.grr@yandex.ru*

***Аннотация.** В работе предлагается производить ремонт подшипниковых узлов поршневых компрессоров путем предварительного растачивания вкладышей коренных подшипников просевших опор с учетом величины их отклонения относительно первоначального положения с последующим газопламенным напылением на вкладыши баббита. Разработано приспособление по напылению и подобрано необходимое оборудование. Произведен анализ эффективности предлагаемой технологии.*

***Ключевые слова:** поршневой компрессор, подшипник скольжения, вкладыши, баббит, газопламенное напыление*

### Введение

Транспортирование и переработка природного газа, производство искусственных удобрений, получение пластических масс – вот далеко не полный перечень отраслей промышленности, где широко применяются поршневые компрессоры, в том числе самые крупные. Большое число поршневых компрессоров требуется также для пневматических установок, действующих на различных предприятиях страны и на транспорте.

Долговечность, экономичность, надежность, а во многих случаях габариты и веса машин существенно зависят от конструкции, качества изготовления и монтажа подшипниковых узлов. Поэтому к подшипниковым узлам предъявляются повышенные требования, обусловленные в первую очередь ростом скоростей вращающихся деталей, увеличением статических и ударных нагрузок, действующих на опоры, и необходимостью значительного увеличения надежности опорных узлов.

Применение подшипников качения, несмотря на многообразие их типоразмеров и высокое качество изготовления, оказывается в ряде случаев нерациональным, а иногда и невозможным. В частности, они недостаточно долговечны и надежны при высоких скоростях и динамических нагрузках, не пригодны в тех случаях, когда для удобства монтажа и демонтажа машины нужны разъемные опоры. Используя подшипники качения, не всегда удается удовлетворить требования бесшумности, химической и тепловой стойкости опорных узлов. В подобных условиях рациональное решение может быть найдено при использовании опорных узлов с подшипниками скольжения.

Конструкции опор скольжения непрерывно совершенствуются, разрабатываются нормальные ряды взаимозаменяемых подшипников, уточняются методы расчета, изыскиваются и внедряются в практику новые подшипниковые и смазочные материалы. Опоры скольжения применяют в сепараторах, центрифугах, газовых турбинах, шлифовальных станках, компрессорах и других машинах, где скорость вращения вала измеряется десятками тысяч оборотов в минуту [1].

Таким образом, подшипники скольжения смогут конкурировать с подшипниками качения во многих отраслях машиностроения. В ряде случаев предпочтение должно быть отдано именно подшипникам скольжения, так как в отличие от подшипников качения они имеют такие ценные свойства, как, работоспособность в широком температурном диапазоне, стойкость в химически активной среде, виброустойчивость, бесшумность, сохранение работоспособности при недостаточной смазке, а в специальных конструкциях – даже без смазки.

В статье приведены результаты разработки технологии ремонта коренных подшипников скольжения компрессора, в котором был учтен опыт ремонта и изготовления подшипников скольжения другими производителями.

### **Актуальность работы**

В ОАО «Газпром нефтехим Салават» широко используются компрессоры типа 4НВ-12К-400/290 с опорами скольжения. Компрессор поршневой, двенадцатирядный на оппозитной базе предназначен:

– для сжатия очищенного от углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) конвертированного газа с начального давления не более 1,17 МПа до давления нагнетания не более 9,2 МПа секцией TV-1 и подачи его на установку получения смеси оксида углерода и водорода (синтез-газа) и технического водорода;

– для сжатия синтез-газа с начального давления не более 9,1 МПа до давления не более 30,5 МПа секцией TV-3.

Одним из основных элементов, определяющим работоспособность нагруженного компрессора является подшипник скольжения. Как правило, выход из строя коренного подшипника скольжения является причиной остановки компрессора, турбины, то есть высокопроизводительного и дорогостоящего оборудования. Причин, по которым происходит выход подшипников скольжения из строя, много. Одной из причин является усадка фундамента компрессора.

Так на картере компрессора произошла усадка фундамента и три опоры коренных подшипников сместились от первоначального положения. В результате уменьшился зазор между вкладышем подшипника и шейкой вала. Это может привести к уменьшению толщины масляного слоя и заклиниванию подшипника.

По существующей технологии для ремонта компрессора необходимо восстановить просевший фундамент до первоначальной отметки и заново перезалить

все коренные подшипники компрессора. Такая технология ремонта имеет следующие недостатки:

- большие затраты средств и времени на восстановление фундамента;
- необходимость заливки всех подшипников компрессора;
- большие затраты материалов для заливки подшипников.

Кроме этого обычная технология заливки подшипников имеет следующие недостатки:

- нестабильность химического состава баббита;
- расслоение баббита в процессе кристаллизации;
- отслоение баббита от основы;
- дается большой припуск на предварительную механическую обработку;
- большой расход баббита;
- использование опасных и вредных веществ при подготовке к заливке;
- большие затраты времени на подготовку;
- невысокая производительность процесса.

Поэтому возникла необходимость разработки более технологичного процесса ремонта компрессора. Авторами статьи предлагается следующая технология ремонта:

- растачиваются вкладыши коренных подшипников просевших опор с учетом величины отклонения относительно от первоначального положения;
- производится напыление баббита вкладышей подшипников с помощью технологии газопламенного напыления.

Технология газопламенного напыления по сравнению с обычной технологией наплавки имеет следующие преимущества:

- стабильность химического состава баббита;
- в процессе кристаллизации не происходит расслоения баббита;
- не происходит отслоение баббита от основы;
- дается меньший припуск на предварительную механическую обработку;
- возможно выполнять ремонт местного износа баббитового слоя после предварительного обезжиривания и механообработки без снятия всего слоя залитого баббита;
- меньший расход баббита;
- высокая производительность процесса;
- незначительное влияние на подложку.

### **Выбор оптимального варианта технологии ремонта**

Для нанесения баббита на вкладыши подшипника скольжения используют как традиционные технологии центробежной и стационарной заливки вкладышей баббитом, так и технологию газопламенного напыления баббита.

При центробежной заливке предварительно выплавляют отработанный баббит. Для этого подшипник помещают в электропечь на специальный поддон и нагревают его примерно до  $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Корпус очищают от грязи, жиров и окислов раствором каустической соды, промывают горячей водой и просушивают. Заливка производится на комплекте оборудования типа КО-2. Нагревают вкладыши в печи ПКН-1.0-180, устанавливают его на станок СЦ 3-1, где под действием центробежных сил происходит заливка баббита, предварительно расплавленного в плавильной печи ПП-06-17.

В случае стационарной заливки ремонт подшипника начинается с выплавки отработанного баббита путем нагрева его в печи до  $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Перед заливкой баббита (рис. 1) вкладыши 1 соединяют скобами 2, подогревают до температуры  $200\text{...}250\text{ }^{\circ}\text{C}$  и устанавливают на асбестовый лист 5. Внутри корпуса помещают деревянную пробку 3, покрытую листовым асбестом 4. Радиальный зазор между пробкой и корпусом должен быть больше толщины антифрикционного слоя на величину припуска для механической обработки.

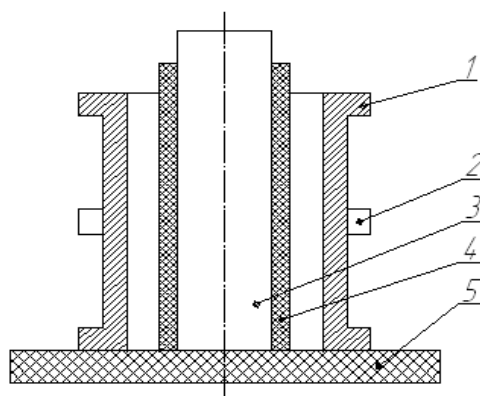


Рис. 1. Схема сборки корпуса подшипника для заливки баббита

Баббит плавят в открытых тиглях, причем предельная температура нагрева зависит от его марки. Например, наилучшие показатели антифрикционного слоя из баббита Б-83 получают при температуре нагрева  $390\text{...}420\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Перегрев баббита приводит к образованию крупнозернистой структуры и ухудшает механические свойства антифрикционного слоя. Для предупреждения окисления поверхность расплавленного баббита покрывают слоем древесного угля. После заливки подшипник растачивают и пришабривают по рабочему или ложному валу. Благодаря тому, что трущиеся детали делают всегда из разных материалов (валы – из черных металлов, вкладыши – из бронзы или другого сплава), трение значительно снижается [2, 3].

При методе газопламенного напыления предварительно выплавляют отработанный баббит из подшипника и готовят его корпус так же, как в вышеописанных методах.

Для лучшего сцепления баббита с материалом вкладыша его наносят на предварительно напыленный на основу подслой из никель-алюминиевого сплава (NiAl). Процесс напыления происходит за счет распыления проволоки в потоке сгорающего в кислороде газа (ацетилена или пропана). Сжатым воздухом расплавленный баббит переносится на вкладыш подшипника, где происходит кристаллизация и формирование покрытия. Для напыления используется баббитовая проволока марки Б88 как отечественного, так и импортного производства (марки W-970 фирмы FST – аналог Б88).

Применяемая при этом горелка (предложенная М.М. Морозовым) имеет дополнительное воздушное сопло, что обеспечивает интенсивный нагрев поверхности подаваемого материала за счет прижатия пламени к распыляемому материалу расширяющимся воздушным конусом. Воздух дополнительно ускоряет и дробит частицы материала.

На рис. 2 представлена схема универсальной установки для газопламенного напыления, которая состоит из: 1 – порошкового распылителя; 2 – проволочного распылителя; 3 – порошкового питателя; 4 – бухты проволоки на вращающемся столе; 5 – ротаметров газовых; 6 – газовых баллонов; 7 – фильтра; 8 – ресивера; 9 – воздушного ротаметра; 10 – компрессора.

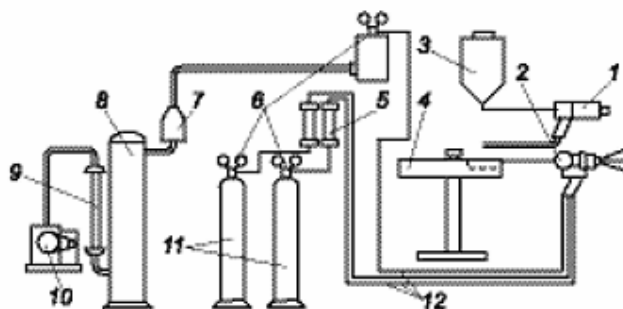


Рис. 2. Схема установки газопламенного напыления

В последнее время применяется современный проволочный газопламенный распылитель типа MDP-115 (Российского производства), позволяющий получить качественную наплавку баббита. Распылитель имеет привод от электродвигателя мощностью 150 Вт и работает на проволоке диаметром 3...3,17 мм из различных материалов (коррозионно-стойкие и углеродистые стали, латуни, бронзы, баббиты, Al, Cu, Mo, Zn, Sn, Pb, сплавы на никелевой и кобальтовой основах). Производительность по цветным металлам – до 15 кг/ч, по стали и сплавам – до 9 кг/ч, расход кислорода – 50 л/мин, расход ацетилена или пропана – до 20 л/мин. Давление воздуха – 0,5 МПа. Масса распылителя – 4,1 кг. Он может комплектоваться автоматической установкой, оснащенной роботизированной системой, боксом и пультом дистанционного управления.

После завершения наплавки и проведения предварительной механообработки отсутствие отслоений баббитового слоя от материала вкладыша контролируется после методом УЗД [6, 7].

Таким образом, для ремонта коренных подшипников скольжения компрессора 4НВ-12К-400/290 выбран метод газопламенного напыления проволочным газопламенным распылителем типа MDP-115.

### **Описание технологии и приспособлений для ремонта подшипников**

Напыление подшипников баббитом выполняется на установке газопламенного напыления фирмы «Технологические системы защитных покрытий» [6]. Установка состоит из: блока управления; пульта дистанционного управления; пистолета для газопламенного напыления MDP-115; блока газоподготовки; комплекта кабелей и шлангов с обратными клапанами; стола – вращателя деталей.

Блок управления обеспечивает регулирование скорости подачи проволоки и поддерживает ее заданную величину. На экране блока управления высвечивается выбранная скорость. С блока управления может также осуществляться запуск пистолета.

В качестве пистолета для газопламенного напыления выбран пистолет MDP-115, который осуществляет распыление подаваемой проволоки за счет тепла сгорающего в кислороде ацетилена или пропана. Основные части пистолета: электродвигатель привода подачи проволоки; редуктор; механизм прижима проволоки; узел подачи газа и воздуха; сопловая часть (рис. 3).



Рис. 3. Пистолет для газопламенного напыления MDP-115

В блоке газоподготовки установлены: двоянный ротаметр для регулирования расхода кислорода и ацетилена; система подготовки воздуха с масло- и влагоотделителями, манометром и регулирующими вентилями.

Однопозиционный стол – вращатель деталей имеет электропривод с регулируемой частотой вращения и ручное изменение угла наклона оси вращения.

Техническая характеристика стола: грузоподъемность – до 250 кг; диаметр планшайбы – до 1500 мм; число оборотов планшайбы – 5...300 об/мин.

Перед напылением вкладыши подшипников поочередно помещаются в электрическую печь, нагретую до температуры 350 °С, на специальном поддоне и выдерживаются в печи до полного вытекания баббита из вкладышей.

Собранные вкладыши помещаются в специально разработанное приспособление с оправкой (рис. 4). Приспособление служит для прочного закрепления подшипников и предотвращения их от проворота после установки их на расточной станке. На расточном станке производится расточка внутреннего диаметра относительно центра.

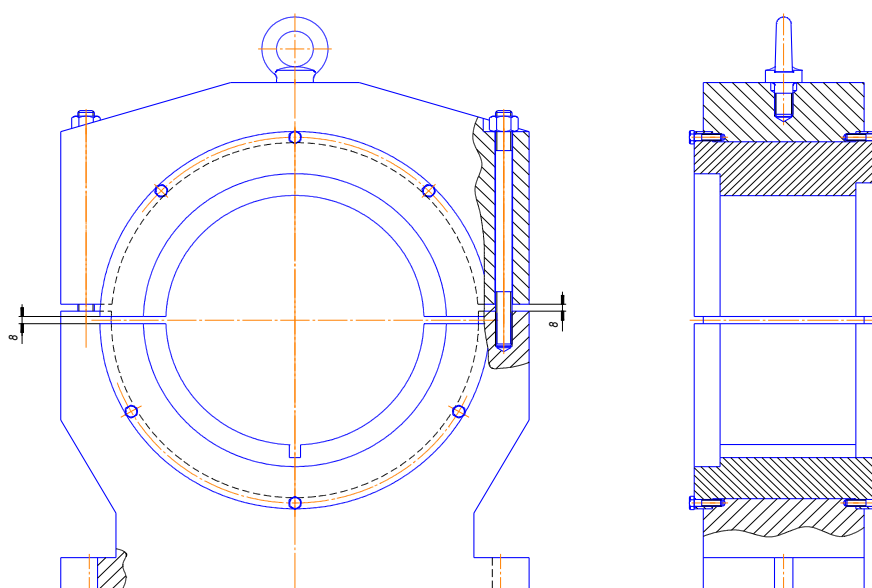


Рис. 4. Приспособление для расточки вкладышей

После расточки вкладыши поступают на напыление. Предварительно вкладыши подвергаются абразивно-струйной обработке для получения шероховатости поверхности  $Rz = 30...60$  мкм на нагнетательной установке типа ДСК номера 0,5 по ГОСТ 11964. Режим обработки: давление воздуха – 0,6 МПа, дистанция – 100...150 мм, угол наклона сопла – 60...90°.

Вкладыши в собранном виде устанавливаются в специальное приспособление для напыления подшипников, предотвращающее их проворота после установки на стол – вращатель деталей. Приспособление (рис. 5) состоит из корпуса и двух боковых крышек. При установке вкладышей корпус разбирается на две половинки, которые скрепляются между собой двумя болтами. В нижней части корпуса изготовлен паз, в который вставляется штифт, который предотвращает проворот подшипников

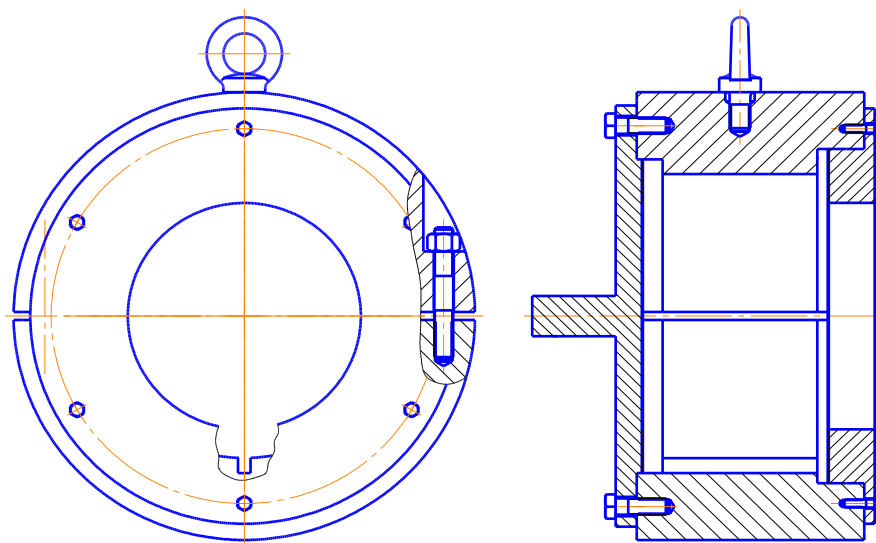


Рис. 5. Приспособление для напыления вкладышей

Для защиты от напыления торцевых поверхностей вкладышей корпус с боков закрывается крышками при помощи болтов. В связи с разной конструкцией вкладышей, одна боковая крышка имеет две разные конструкции (рис. 6). Для подъема и установки приспособления на стол-вращатель деталей в верхней части имеется рым-болт. Рым-болт после установки приспособления убирается.

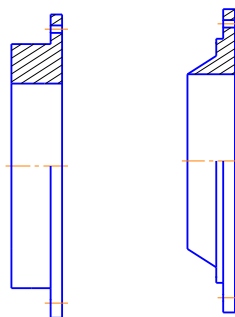


Рис. 6. Конструкции крышек

Вкладыши переносятся в шумозащитную камеру для напыления. Производится обезжиривание поверхности подлежащей напылению с помощью растворителя Нефрас С2 80/120 ТУ 38.401-67-108-92 (бензин галоша). Приспособление с вкладышами устанавливается на однопозиционный стол-вращатель деталей. Приспособление закрепляется за выступ в крышке патрона стола.

Вкладыши подшипника прогреваются горелкой до температуры 70...80 °С. Во время напыления температура вкладышей контролируется; она не должна превышать 140 °С.



Пистолетом для газопламенного напыления MDP-115 производится напыление на подготовленную поверхность вкладышей слой «АЛЮНИК» толщиной  $0,15 \pm 0,05$  мм. Режим напыления: давление ацетилена – 0,2 МПа, давление кислорода – 0,5 МПа, давление воздуха – 0,5 МПа, расход ацетилена – 40 ед, расход кислорода – 44 ед, сопло – СН, дистанция напыления – 90...120 мм, скорость подачи проволоки – 38...42 см/мин, скорость перемещения – 0,5 м/сек, шаг – 3...4 мм. Регулирование скорости подачи проволоки осуществляется с блока управления.

На следующем этапе производится напыление на слой «АЛЮНИК» слоя бронзы БрАМц 9-2 толщиной: на подшипнике диаметром под напыление 235,4 мм –  $1,47 \pm 0,05$  мм; на подшипнике диаметром под напыление 224,6 мм –  $1,07 \pm 0,05$  мм; на подшипнике диаметром под напыление 224,42 мм –  $0,98 \pm 0,05$  мм. Режим напыления: давление ацетилена – 0,2 МПа, давление кислорода – 0,5 МПа, давление воздуха – 0,5 МПа, расход ацетилена – 40 ед, расход кислорода – 44 ед, сопло – СН, дистанция напыления – 90...120 мм, скорость подачи проволоки – 38...42 см/мин, скорость перемещения – 0,5 м/сек, шаг – 3...4 мм.

В завершение производится напыление на слой бронзы слоя Спрабаббита толщиной  $3,0 \pm 0,1$  мм. Режим напыления: давление ацетилена – 0,2 МПа, давление кислорода – 0,5 МПа, давление воздуха – 0,5 МПа, расход ацетилена – 29 ед, расход кислорода – 29 ед, сопло – СН, дистанция напыления – 120 мм, скорость подачи проволоки – 90...105 см/мин, скорость перемещения – 0,5 м/сек, шаг – 3...4 мм.

Производится визуальный контроль на отсутствие трещин, сколов, вспучивания покрытия. Контролируется толщина покрытия толщиномером и по размерам в контрольных точках.

После получения напыленной поверхности, собранные вкладыши устанавливаются в приспособление для расточки вкладышей (рис. 4) и на станке производится расточка внутреннего диаметра относительно центра. В завершении расточки выполняется контроль качества напыленного слоя баббита путем внешнего осмотра и цветной дефектоскопии.

### **Оценка эффективности разработки**

Выполнены экономические расчеты и произведен анализ эффективности предлагаемой технологии ремонта подшипников. Определены затраты на изготовление разработанных приспособлений, которые составят 18 407,60 рублей. Экономический эффект от использовании предлагаемой технологии ремонта подшипников компрессора типа 4НВ-12К-400/290 составит 680 761,70 рублей.

### Выводы

Разработана технология ремонта коренных подшипников скольжения компрессора 4НВ-12К-400/290 с применением газопламенного напыления, имеющая такие достоинства:

- нет необходимости восстановления фундамента компрессора;
- с применением современной технологии газопламенного напыления ремонту подвергаются только три подшипника из семи;
- происходит экономия материалов и сокращается время ремонта, а качество при этом не ухудшается.

Произведены технологические и механические расчеты и выполнены чертежи приспособлений для обработки и напыления подшипников, разработана последовательность операций по ремонту подшипников.

Предлагаемые мероприятия могут быть использованы при совершенствовании технологии ремонта коренных подшипников скольжения на ООО «Ремонтно-механический завод» ОАО «Газпром нефтехим Салават».

### Литература

1. Чернавский С.А. Подшипники скольжения. М.: Машиностроение, 1963. 244 с.
2. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. 480 с.
3. Ястребова И.А., Кондаков А.И., Спектор Б.А. Техническое обслуживание и ремонт компрессоров. М.: Машиностроение, 1991. 240 с.
4. Петров Г.Л., Буров Н.Г. Технология и оборудование газопламенной обработки металлов. М.: Машиностроение, 1969. 287 с.
5. Никифоров Г.Д. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1978. 327 с.
6. Технология газопламенного напыления для восстановления геометрии деталей / ООО «Технологические системы защитных покрытий». URL: <http://www.tspc.ru/tech/GZ.php> (дата обращения 22.10.2012).
7. Балдаев Л.Х. Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М.: Издательство КХТ, 2004. 247 с.
8. Френкель М.И. Поршневые компрессоры. Теория, конструкции и основы проектирования. Л.: Машиностроение, 1969. 744 с.
9. Квитницкий Е.И., Киркач Н.Ф., Полтавский Ю.Д., Савин Ю.Д. Расчет опорных подшипников скольжения. Справочник. М.: Машиностроение, 1979. 70 с.



## REPAIR OF COMPRESSORS SLIDING BEARINGS BY USING FLAME SPRAYING

R.R. Gaziev<sup>1</sup>, N.V. Zaharov, A.F. Babenko, A.G. Churagulova  
*Ufa State Petroleum Technological University, Salavat Branch, Salavat, Russia*  
*e-mail: <sup>1</sup>gaziev.grr@yandex.ru*

**Abstract.** *In the work it is offered to make repair of bearing knots of piston compressors by a preliminary boring of radical bearings bushes of the given supports taking into account size of their deflection in regard to initial situation, with the subsequent gas-flame spraying on babbitt bushes. The device for spraying is developed and the necessary equipment is picked up. The analysis of technology efficiency is made.*

**Keywords:** *piston compressor, sliding bearing, bush, babbitt, gas-flame spraying*

### References

1. Chernavskii S.A. Podshipniki skol'zheniya (Bush bearings). Moscow, Mashinostroenie, 1963. 244 p.
2. Molodyk N.V., Zenkin A.S. Vosstanovlenie detalei mashin (Recondition of machine elements). Moscow, Mashinostroenie, 1989. 480 p.
3. Yastrebova I.A., Kondakov A.I., Spektor B.A. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont kompressorov (Maintenance and repair of compressors). Moscow, Mashinostroenie, 1991. 240 p.
4. Petrov G.L., Burov N.G. Tekhnologiya i oborudovanie gazoplammennoi obrabotki metallov (Technology and equipment for flame treatment of metals). Moscow, Mashinostroenie, 1969. 287 p.
5. Nikiforov G.D. Tekhnologiya i oborudovanie svarki plavlaniem (Technology and equipment for fusion welding). Moscow, Mashinostroenie, 1978. 327 p.
6. Arc wire flame spraying equipment. OOO «Technological systems for protective coatings». <http://www.tspc.ru/en/equipment/WS/>
7. Baldaev L.Kh. Renovatsiya i uprochnenie detalei mashin metodami gazo-termicheskogo napyleniya (Renovation and hardening of machine parts by thermal spraying methods). Moscow, KKhT, 2004. 247 p.
8. Frenkel' M.I. Porshnevye kompressory. Teoriya, konstruktсии i osnovy proektirovaniya (Reciprocating compressors. The theory, design and principles of design). Leningrad, Mashinostroenie, 1969. 744 p.
9. Kvitnitskii E.I., Kirkach N.F., Poltavskii Yu.D., Savin Yu.D. Raschet opornykh podshipnikov skol'zheniya. Spravochnik (Calculation of support bearings. Handbook). Moscow, Mashinostroenie, 1979. 70 p.