

Восстановление коленчатых валов двигателей

В.А. СКРЯБИН, д-р техн. наук, профессор

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

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2561-2022-0-12-10-16

Поступила в редакцию 11.04.2022

После доработки 25.05.2022

Принята к публикации 23.07.2022

В статье приведены технология и оборудование для ремонта коленчатых валов двигателей. Рассмотрены различные варианты ремонта коленчатых валов. Приведены характерные неисправности валов, причины и способы их устранения.

Ключевые слова: технология, оборудование для ремонта, коленчатые валы двигателей, характерные неисправности валов, способы их устранения.

The technology and equipment for repair of crankshafts are discussed. Various options of repair of crankshafts are considered. Typical crankshaft faults, the causes and ways to removal them are described.

Keywords: technology, equipment, repair, crankshaft, engine, typical fault, removal.

Введение

В функции коленчатого вала входит способность воспринимать возвратно-поступательные движения поршней и передавать их в виде крутящего момента вспомогательным агрегатам, а также ротору тягового генератора. К основным неисправностям коленчатых валов относят [1–3]:

- износ шеек, их сплавление с антифрикционным покрытием вкладышей;
- трещины в шейках;
- изгиб коленвала;
- поломки шеек.

Материалы и методы

Самой распространенной неисправностью является износ шеек. Признаком предельного износа шатунных шеек коленчатого вала и их вкладышей является металлический стук, частота которого вдвое меньше частоты вращения коленвала. После прогрева двигателя и под нагрузкой стук усиливается. Если отключить форсунку или по-

дачу напряжения на свечу зажигания в цилиндре, шатун которого взаимодействует с изношенной шейкой, стук значительно уменьшается или совсем пропадает. Глухой металлический стук, равный частоте вращения коленчатого вала, усиливающийся под нагрузкой и после прогрева двигателя, является признаком аварийного износа коренных шеек и их вкладышей. Такой стук может говорить и о деформации коленвала из-за перегрева шеек при разрушении вкладышей. Пониженное давление в системе смазки, особенно на холостом ходу прогретого мотора, и быстро исчезающий стук после запуска двигателя тоже являются косвенными признаками износа вкладышей и шеек коленчатого вала. При поломке щеки коленчатого вала рядом с коренной шейкой также будет слышен металлический стук, кратный оборотам вала. Трещины на шейках выявляются на снятом с двигателя коленвале. Предлагаемые технологические процессы ремонта коленчатых валов двигателей и необходимая оснастка для ремонта позволяют устранить их неисправно-

сти. На рис. 1 приведен коленчатый вал двигателя с указанными на нем дефектами.

Для ремонта (восстановления) коленчатых валов двигателей предложена унифицированная оснастка с учетом его длительного использования при замене отдельных исполнительных элементов. Эта технологическая оснастка высокопроизводительна, в ее состав входит пневмопривод. Она легко переналаживается на выполнение соответствующей операции ремонта коленчатых валов и позволяет улучшить использование оборудования, повысить производительность труда на 30—35%, облегчить организацию ее серийного изготовления.

Восстановление посадочных поверхностей

Среди всех дефектов наиболее часто встречаются износы посадочных поверхностей коленчатых валов. У коленчатых валов тракторных двигателей посадочными являются поверхности под шкив, шестерни, маховик, противовесы, сальники, уплотнительные упорные кольца. Износ и нарушения геометрической формы посадочных поверхностей устраняют наплавкой проволокой 1,2Св18ХГС (ГОСТ 2246—70) в среде углекислого газа. Для наплавки применяют установку для вибродуговой наплавки, включающую в себя головку ОКС-1252М, сварочный преобразователь ПСГ-500 и токарно-винторезный станок. После наплавки посадочные поверхности точат и шлифуют. Частота вращения детали при точении составляет 200 мин⁻¹, подача — 0,3 мм/об. При шлифовании частота вращения коленчатого вала составляет 125 мин⁻¹, подача — 0,05 мм/об. Для токарной обработки используют следующее оборудование: токарно-винторезный станок модели 1М63 (для крупных коленчатых валов — 1М65), для шлифования — круглошлифовальный станок модели 3Б161 [4—6].

Торцевое биение посадочной поверхности под маховик и фланец для крепления маховика устраняют

точением торца на токарном станке (не более 0,1—0,2 мм).

Восстановление отверстий и шпоночных пазов

В коленчатых валах тракторных двигателей восстанавливают отверстия под штифты для установки маховика и под подшипник вала сцепления, а также шпоночные пазы. Изношенные отверстия и шпоночные пазы заваривают проволокой 1,2Св08Г2С (ГОСТ 2246—70) в среде углекислого газа. При заварке рекомендуется использовать полуавтомат А-547Р и сварочный выпрямитель ВС-300.

Заваренные отверстия под установочные штифты после зачистки торцевой поверхности на токарном станке рассверливают, зенкеруют и развертывают на радиально-сверлильном станке 2Н53. Для сохранения прежнего положения осей отверстий при обработке используют накладные кондукторы. Заваренные шпоночные пазы фрезеруют. При этом применяют горизонтально-фрезерный станок модели 6М82Г и приспособление для фрезерования. Смещение осей шпоночных пазов свыше допустимых пределов не допускается. Особенно это важно для шпоночных пазов под распределительную шестерню, так как от них зависит правильность газораспределения в цилиндре двигателя. Боковые стенки шпоночных пазов должны быть чистыми, ровными и параллельными плоскости симметрии вала.

Восстановление резьбы

Резьба подлежит восстановлению при ее износе или срыве более двух ниток. При не-

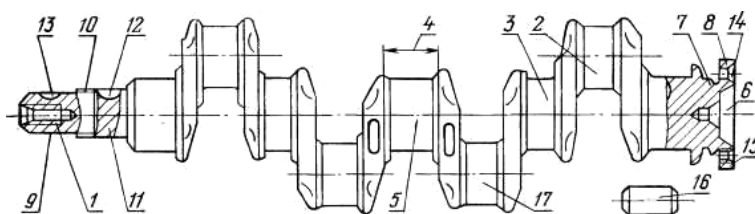


Рис. 1. Коленчатый вал двигателя:
1—17 — дефекты

значительных износах и повреждениях резьбы калибруют. Наружную резьбу восстанавливают наплавкой проволокой 1,2Св18ХГС в среде углекислого газа. Перед наплавкой старую резьбу обтачивают, так как она при наплавке сгорает и попадает в наплавленный металл в виде шлаковых включений, что приводит к выкрашиванию резьбы. Толщина наплавленного слоя должна быть 2—3 мм с таким расчетом, чтобы получить качественную чистую резьбу. Затем наплавленную поверхность обтачивают и нарезают резьбу нормального размера. Резьбы в отверстиях для крепления маховика и шкива восстанавливают установкой резьбовых спиральных вставок. Маслосгонную резьбу (при износе углубляют резцом до нормальной глубины за несколько рабочих ходов, а резьбовую шейку шлифуют до выведения следов износа. После шлифования шейки резьбу зачищают и полируют наждачной шкуркой.

Балансировка

При длительной работе и периодических ремонтах двигателей сбалансированность коленчатых валов нарушается. После восстановления дисбаланс коленчатых валов превышает допустимый в 6—10 раз. Увеличение дисбаланса связано с переходом на ремонтные размеры шеек коленчатого вала, изменением толщины фланца для крепления маховика и другими факторами, возникающими в результате ремонтных воздействий. Коленчатые валы балансируют перед окончательной операцией ремонта (восстановления), т.е. перед полированием шеек. При этом удастся сохранить состояние поверхности шеек и уменьшить отклонения коленчатого вала от правильной геометрической формы. В процессе балансировки может возникнуть необходимость наплавки металла в отверстия в противовесах, просверленных при ранее проводившейся балансировке, или снятия металла высверливанием отверстий или фрезерованием площадок на противовесах. Динамическую баланси-

ровку коленчатых валов рекомендуется проводить на универсальной балансировочной машине БМ-У4. С помощью этой машины можно проводить динамическую балансировку деталей типа тел вращения (коленчатые валы и др.). Балансировка осуществляется для валов, диаметр которых не превышает 800 мм, расстояние между опорными шейками составляет не более 800 мм, масса — 5—200 кг. Точность определения неуравновешенности балансируемого коленчатого вала 5—10 г/см, ошибка определения места расположения неуравновешенности детали в плоскости вращения — 0—5°. Балансировочная машина БМ-У4 позволяет в течение 10—15 с после пуска определить значение и место расположения дисбаланса коленчатого вала с высокой точностью.

Ремонт и восстановление коренных и шатунных шеек

Изношенные шатунные и коренные шейки коленчатых валов тракторных двигателей перешлифовывают на ремонтные размеры. Для шлифования шеек коленчатых валов применяют универсальный шлифовальный станок 3А423 и специализированные станки: ХШ2-12 — для шлифования коренных шеек, ХШ2-01 — для шлифования шатунных шеек. На станке 3А423 можно шлифовать как коренные, так и шатунные шейки коленчатых валов почти всех тракторных двигателей. К шлифованию шеек приступают только после устранения других дефектов коленчатого вала. Шлифование на ремонтный размер, как правило, выполняют за одну операцию. Сначала шлифуют коренные шейки, а затем шатунные. Шатунные шейки обычно шлифуют на другом станке, оборудованном центросместителями (рис. 2), обеспечивающими совпадение осей шатунных шеек с осью вращения станка. При шлифовании коренных шеек базовыми являются поверхности центровых отверстий, и выполнение этой операции не представляет затруднений.

При шлифовании шатунных закрепляют коленчатый вал в патронах центросместителей станка, принимая за базовые поверхности фланцы под маховик и шейки под шкив. При этом погрешность базирования будет складываться из погрешности установки в патронах и погрешности, возникающей в результате несовпадения конструкторской и технологической баз. В результате значение суммарной погрешности при базирования может достигать 0,07 мм и обеспечение размера радиуса кривошипа с допуском 0,08—0,10 мм не гарантируется. Обеспечение отклонения от параллельности осей крайних коренных, и шатунных шеек в пределах 0,03 мм на длине 100 мм также представляет затруднения. При ремонте коленчатые валы крепят в патроны двумя способами: центросместители устанавливаются на определенный размер радиуса кривошипа и шатунную шейку выставляют только в горизонтальной плоскости; центросместители не устанавливают на определенный размер, а шатунную шейку выставляют как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. В первом случае точность размера радиуса кривошипа не обеспечивается вследствие погрешности установки, превышающей допуск на размер. Во втором случае достигается исходная точность размера радиуса кривошипа, но вносится дополнительная погрешность из-за одностороннего износа шатунной шейки вала, подлежащей обработке. Впоследствии при шлифовании шатунные шейки выставляются только в горизонтальной плоскости, для чего предусмотрено специальное приспособление. В центросместители коленчатый вал устанавливают крайними коренными шейками на призмы 5 и закрепляют планками 3 (см. рис. 2). Вначале ставят съемные полукольца 4, соответствующие размеру ко-

ренных шеек. Такие кольца предусмотрены для каждого размера коренных шеек. Шейки коленчатого вала шлифуют корундовыми или электрокорундовыми шлифовальными кругами на керамической связке зернистостью 16—60, твердостью СМ2, С1, СТ1 и СТ2. Режим шлифования: окружная скорость шлифовального круга составляет 25—35 м/с, окружная скорость шлифуемой поверхности — 18—25 м/мин (при шлифовании коренных шеек) и 7—12 м/мин (при шлифовании шатунных шеек), поперечная подача круга — 0,003—0,006 мм/об, продольная подача — 7—11 мм/об. После шлифования одного-двух коленчатых валов рекомендуется править шлифовальные круги алмазным карандашом или алмазным роликом. С целью предотвращения появления микротрещин при шлифовании применяют обильное охлаждение. Струя охлаждающей жидкости должна полностью покрывать рабочую поверхность шлифовального круга. В качестве охлаждающей жидкости используют 3—4%-й раствор кальцинированной соды или эмульсию (10 г эмульсирующего масла на 1 л воды). Перед шлифованием шеек на ремонтный размер углубляют фаски масляных каналов и зачищают их при помощи переносной шлифовальной машины. Перед полированием шеек необходимо полировать фаски. Окончательная операция механической обработки коленчатых валов — полирование. Полирование производят на стенде для полирования ко-

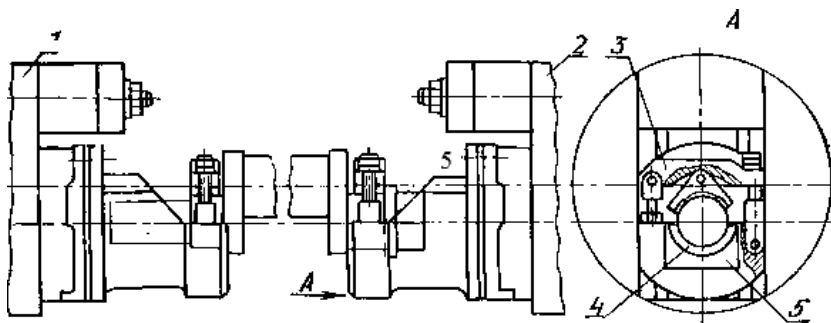


Рис. 2. Центросместители:

1, 2 — планшайбы передней и задней бабки станка; 3 — планка; 4 — полукольцо; 5 — призма

ленчатых валов с использованием алмазной шлифовальной бесконечной ленты АЛШБ ТУ-88 АС080/63 — 100% Р9. Для доводки шеек коленчатых валов при больших программах ремонта вместо полирования применяют суперфиниширование. Для суперфиниширования применяют специальный полуавтомат 3875К со сменными наладками для обработки коленчатых валов тракторных двигателей различных марок. Суперфиниширование производят абразивными брусками зернистостью 8—3. Наиболее эффективно суперфиниширование алмазными брусками. В качестве охлаждающей жидкости при суперфинишировании обычно применяют смесь керосина с маслом, которая обеспечивает не только охлаждение, но и смазывание обрабатываемых поверхностей. Частота вращения коленчатого вала при суперфинишировании составляет 31 и 61 мин⁻¹, а число двойных ходов осцилляции — 400 и 200 в минуту. По сравнению с полированием суперфиниширование обеспечивает более высокие эксплуатационные свойства поверхностей. В частности, микротвердость поверхностного слоя в результате суперфиниширования повышается. Поверхность после суперфиниширования лучше удерживает масляную пленку, что на 20—40% повышает износостойкость шеек. Шероховатость поверхности шеек после полирования или суперфиниширования достигает $Ra = 0,32—0,08$ мкм. Коренные и шатунные шейки коленчатых валов, шлифованные на все ремонтные размеры, наплавляют и обрабатывают под номинальный размер. В ремонте применяют различные технологические процессы для наплавки коленчатых валов. Рекомендуется восстанавливать шейки коленчатых валов тракторных двигателей наплавкой проволокой Нп-3ОХГСА под керамическим флюсом АНК-18. Ниже рассмотрен процесс наплавки шеек под керамическим флюсом на примере коленчатого вала двигателя. Режимы наплавки ша-

тунных и коренных шеек следующие: сила тока обратной полярности составляет 200—220А; напряжение — 26—28В; частота вращения вала (мин⁻¹) изменяется в диапазоне 1,5—1,7, подача суппорта — 3,5—4 мм/об; подача электрода — 1,8—2,0 м/мин; вылет электрода — 15—20 мм; смещение электрода с зенита — 15—20 мм; диаметр проволоки — 1,6 мм; число рабочих ходов — 1.

Сначала наплавляют первую шатунную шейку, затем вторую, четвертую и третью коренные шейки (см. рис. 1). Переустанавливают деталь и наплавляют первую и пятую коренные шейки, затем четвертую, третью и вторую шатунные шейки. Перед наплавкой шейки подогревают пламенем газовой горелки до температуры 200—250 °С. Наплавку галтелей на ширине 4 мм не производят. Для наплавки коленчатых валов используют наплавочный станок У652У4. В качестве источника питания применяют выпрямитель ВДУ-504. Наплавленные шейки подвергают черновому шлифованию, а затем шлифуют галтели с некоторым углублением. После этого галтели подвергают упрочняющей обработке дробью в течение 1 мин под давлением 0,6 МПа. В наплавленных валах после чернового шлифования на сверлильном станке пробивают заглушки в масляных каналах и зенкеруют отверстия на глубину 4—5 мм твердосплавным зенкером. Скорость резания составляет 15—20 м/мин. Такие операции обработки вала, как окончательное шлифование, балансировка, полирование, выполняют так же как и при перешлифовке вала на ремонтные размеры. Твердость наплавленного слоя проволокой Нп-3ОХГСА под керамическим флюсом АНК-18 находится в пределах 53—58 HRC. Глубина проплавления составляет 2—3 мм, глубина зоны термического влияния — 4—5 мм. Микроструктура слоя наплавки представляет собой сорбит закалки с карбидной сеткой столбчатого характера. Микроструктура зоны термического влияния представляет

собой сорбит. Усталостная прочность коленчатых валов, восстановленных по рассмотренной выше технологии, составляет 80—90% от усталостной прочности предельно изношенных валов.

Предлагается также вариант технологии восстановления шатунных шеек коленчатых валов двигателя автоматической наплавкой под слоем флюса АН-348М проволокой Нп-3ОХГСА. Режим наплавки: сила сварочного тока составляет 150—160 А; напряжение — 26—28 В; скорость подачи проволоки — 78 м/мин; подача — 4,5 мм/об; частота вращения вала — $0,95 \text{ мин}^{-1}$. Диаметр проволоки составляет 1,8 мм. Перед наплавкой шейку вала прогревают газовой горелкой до температуры 350—400 °С. При наплавке дорожки качения коренных шеек охлаждают водой, после наплавки охлаждение дорожек качения продолжают в течение 10 мин. Наплавку ведут, отступая от торцов галтели на 5,5—7 мм к середине шейки. Наплавленные шатунные шейки подвергают высокотемпературному отпуску т. в. ч. После предварительного шлифования наплавленных шеек производят закалку т. в. ч. и низкий отпуск. Твердость наплавленных шеек должна быть не ниже 42 HRC.

В практике ремонта коленчатых валов встречаются затруднения при делении трещин на опасные и безопасные. В результате этого значительная часть коленчатых валов бракуется необоснованно. Согласно инструкции по дефектоскопии и ремонту коленчатых валов, для тракторных двигателей с рядным расположением цилиндров трещины не допускаются: на галтелях шатунных и коренных шеек; поверхностях шеек на расстоянии менее 10 мм от торцов шеек (рис. 3); поверхностях шатунных и коренных шеек в зоне их перекрытия на дуге 45° в обе стороны от вертикальной оси вала для коренных и 30° для шатунных; кромках масляных отверстий длиной свыше 6 мм в зонах, расположенных под углом $45 \pm 15^\circ$ к оси шейки. Допускается на поверхности каждой коренной и шатунной шейки не бо-

лее трех продольных трещин длиной свыше 3 мм с последующей обработкой. Эти трещины должны находиться на расстоянии друг от друга не менее 10 мм и не должны быть расположены под углом более 30° к оси вала (рис. 4). Мелкие трещины на шейках вала длиной до 3 мм и трещины длиной не более 6 мм, выходящие за кромки маслоподводящих отверстий, в подсчет общего числа трещин не входят. Для обнаружения трещин рекомендуется использовать магнитные дефектоскопы ДМП-2, Д-50 и приспособление для дефектоскопии, разработанное в настоящее время. Водную магнитную суспензию приготавливают из магнитной пасты МПЕ, растворяя 50—70 г в 1 л подогретой воды, или из пасты, приготовленной в соответствии с инструкцией по эксплуатации, прилагаемой к магнитному дефектоскопу.

Желательно проверку вести при циркуляционном режиме намагничивания (одновременно пропускают электрический ток и поливают вал магнитной эмульсией). Сила переменного тока при намагни-

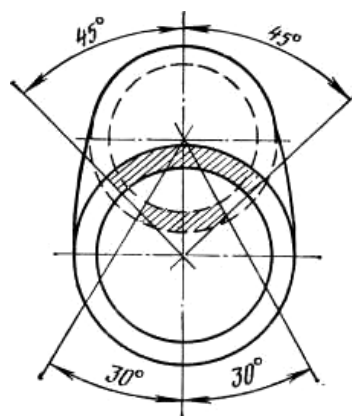


Рис. 3. Опасные места на шейках коленчатого вала (на заштрихованных зонах трещины не допускаются)

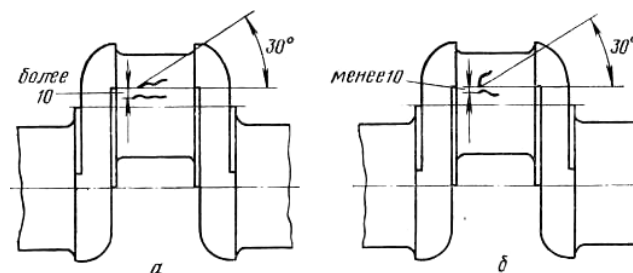


Рис. 4. Коленчатые валы с характерным расположением трещин: а — допустимые к эксплуатации; б — подлежащие выбраковке

чивании должна быть ± 50 А, время намагничивания — 1—1,5 мин. Трещины, допущенные к исправлению, необходимо тщательно обрабатывать абразивным инструментом по всей длине с целью образования канавки радиусом не менее 2 мм и глубиной 0,2—0,4 мм с шероховатостью поверхности $Ra = 0,63$ мкм. Острые кромки канавки следует дополнительно притупить по периметру. Для обработки трещин используют малогабаритные электрические шлифовальные машинки типа «Гном» с приводом рабочего инструмента посредством гибкого вала или пневматические с диаметром шлифовального камня не более 25 см. Если трещина расположена строго по оси шейки, то допускается вместо канавки выполнять лыску шириной до 5 мм вручную плоским абразивным бруском типа БКВ25Х150-2А-К с зернистостью М40—М14. По окончании разделки трещин коленчатый вал размагничивают. Для этого пропускают через вал максимальный ток намагничивания 1100 А и с помощью реостата плавно уменьшают его до нуля в течение 0,5 мин. При наплавке шеек трещины заваривают в среде углекислого газа проволокой Св18ХГСА диаметром 1,2 мм. Для заварки трещин применяют полуавтомат А-547У с выпрямителем ВС-300.

Контроль коленчатых валов

Контроль размеров, овальность, конусность, бочкообразность, седлообразность коренных и шатунных шеек производят скобами (ГОСТ 11098—75). Овальность и конусность коренных и шатунных шеек коленчатых валов двигателей должна быть не более 0,015 мм; двигателей Д-65, Д-21 — не более 0,01 мм. Такие параметры коленчатых валов, как биение средних коренных шеек, биение поверхности под шкив, биение поверхности под маховик, биение поверхности под шестерню, отклонение от параллельности образующих поверхностей шатунных шеек относительно диаметральной плоскости первой коренной и первой шатунной шеек, радиус

кривошипа контролируют с помощью приспособлений для контроля. Шероховатость поверхностей определяют по образцам шероховатости. В ГОСНИТИ разработан стенд КИ-55071 для комплексного контроля коленчатых валов, предназначенный для специализированных ремонтных предприятий. С помощью стенда можно определять диаметры, овальность и конусность коренных и шатунных шеек и другие параметры. Стенд оснащен индикаторными устройствами, позволяющими с высокой точностью определять фактические значения отклонений от номинальных размеров. В комплект стенда входит специальное устройство для определения радиуса кривошипа коленчатого вала. Для контроля диаметра коренных и шатунных шеек стенд оснащен двумя пневматическими длинномерами, комплектом пневматических скоб и настроенных эталонов. Применение стенда для контроля коленчатых валов значительно повышает качество контроля и более чем в 1,5 раза снижает трудоемкость контрольных операций.

Заключение

Таким образом, вышеуказанная ремонтная технология и применяемое технологическое оборудование позволяют повысить ресурс работы коленчатых валов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А., Борискин В.П. Ремонт технологических машин и оборудования. Старый Оскол: ООО «ТНТ». 2011. 432 с.
2. Схиртладзе А.Г., Григорьев С.Н., Скрыбин В.А. и др. Технологические основы ремонта и восстановления производственных машин и оборудования: учебник. Йошкар-Ола: Поволжский ГТУ. 2012. 492 с.
3. Скрыбин В.А., Схиртладзе А.Г. Технология ремонта шестеренчатых насосов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 6. С. 3—8.
4. Схиртладзе А.Г. Технология восстановления корпусных деталей // Технология металлов. № 12. 2001. С. 30—33.
5. 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.
6. Скрыбин В.А., Схиртладзе А.Г. Технология ремонта деталей резьбовых соединений // Техника машиностроения. М.: ООО НТП «Вираз-центр». 2014. № 4 (92). С. 23—34.