

УДК 631.3.02.004.67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ РЕМОНТНОГО ФОНДА С ВЫБОРОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В. П. ИВАНОВ, А. П. КАСТРЮК

Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», г. Новополоцк, Республика Беларусь

Введение

Конкурентоспособность ремонта определяется соотношением его качества и цены. Если качество ремонта зависит от того, в какой степени геометрические показатели и эксплуатационные характеристики изделий соответствуют нормативным (что достигается длительной целенаправленной работой системы качества), то его цена в наибольшей мере определяется использованием остаточной долговечности деталей. Ремонт агрегатов с использованием новых деталей (запасных частей) никогда не был и не будет эффективным [1]–[3].

Остаточная долговечность – потенциальная наработка изделия от рассматриваемого момента времени до снятия его с эксплуатации. Применительно к детали эта долговечность может быть:

- не использована совсем с отправкой замененной детали в металлолом и заменой ее новой запасной частью;
- использована частично при повреждении ее во время разборки агрегата и применении неэффективных способов восстановления и организации ремонта агрегатов;
- использована полностью при бережном отношении к этой детали в процессах разборки агрегатов и ее восстановления.

Направления полного использования остаточной долговечности деталей следующие [4]:

1. Организация разборки агрегатов без повреждений деталей (обломов фланцев и приливов, пробоин и трещины, деформирования деталей, вмятин на поверхностях деталей от касания разборочными инструментами, заусенцев на рабочих поверхностях деталей, образовавшихся от неправильного снятия).
2. Использование всех деталей ремонтного фонда, параметры которых соответствуют требованиям к деталям, направляемым на сборку.
3. Восстановление ряда деталей, которые согласно нормативным документам подлежат замене на новые.
4. Нанесение восстановительных покрытий только после использования всех предусмотренных ремонтных размеров.
5. Использование принципов необезличенного ремонта агрегатов.
6. Применение точного и жесткого специального оборудования для механической обработки заготовок.

Цель работы

Обоснование мероприятий, обеспечивающих наиболее полное использование остаточной долговечности деталей ремонтного фонда, что приносит наибольшую долю эффективности ремонта агрегатов машин.

Основная часть

Первые два указанных направления полного использования остаточной долговечности деталей достаточно очевидны, они требуют повышения квалификации рабочих и норм времени на разборку. В течение смены, согласно действующим нормативам, например, один рабочий собирает полтора двигателя, а разбирает – четыре. Необходимо оснащение разборочными стендами, исключающими ручную ударную разборку, и внедрение оплаты труда за сданные неразрушенные детали.

Третье направление на примере промышленного восстановления поршней и вкладышей коленчатого вала автотракторных двигателей подтвердило свою эффективность [5].

Научного обоснования требуют три последних направления. Практика показывает, что большинство деталей необоснованно претерпевает трудоемкое восстановление с нанесением восстановительных покрытий. До 80 % коленчатых и распределительных валов и почти все коренные опоры блоков цилиндров подвергают наплавке или напылению. Применительно к валам объективными и субъективными причинами шлифования шеек через один или несколько ремонтных размеров и завышения объема нанесения покрытий или установки дополнительных ремонтных деталей в виде полуколец являются:

- большая несоосность шеек;
- различные схемы базирования заготовок во время их обработки на разных ремонтных предприятиях;
- стремление рабочих увеличить объем восстановительных работ за счет нанесения покрытий для начисления большей зарплаты;
- необеспеченность рабочих мест сборки сопрягаемыми комплекующими деталями (вкладышами коренных и шатунных подшипников) необходимых ремонтных размеров.

Определялась возможность обработки шеек коленчатых валов под следующий ремонтный размер. Исследования проводились на коленчатых валах при их установке на специализированный станок 3А423 и специальные станки ХШ2-01 и ХШ2-16. Станок 3А423 оснащен односторонним приводом заготовки со стороны ее носка, а станки ХШ2-01 и ХШ2-16 – двухсторонним приводом концов заготовки. Коренные шейки шлифовали на неподвижных центрах, а шатунные – в центросместителях. Подвижные центросместители были выставлены на станках с минимальной погрешностью из расчета получения нормативного значения радиуса кривошипа. Этот радиус при наладке станков контролировали на обработанных деталях цеховыми измерительными средствами.

Коленчатые валы перед установкой на станок предварительно правили на гидравлическом прессе при базировании крайними коренными шейками на призмах. Измеряли смещение осей коренных и шатунных шеек коленчатых валов (рис. 1), установленных на станке, относительно оси вращения шпинделя (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Распределение коленчатых валов по смещению оси средних коренных шеек относительно оси вращения шпинделя станка

Смещение оси, мм	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	>0,10
Количество валов	0	0	1	4	6	9	8	4	4	3	2

Таблица 2

Распределение коленчатых валов по наибольшему смещению оси шатунных шеек относительно оси вращения шпинделя станка

Смещение оси, мм	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Количество валов	2	4	6	7	7	6	4	3	2	3	2
Смещение оси, мм	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	>0,30
Количество валов	1	2	2	0	1	0	1	0	1	0	1



Рис. 1. Измерение смещения оси обрабатываемой шейки коленчатого вала от оси вращения шпинделя станка

Среднестатистическое смещение оси коренных шеек относительно оси вращения шпинделя станка составляет 0,049 мм, а шатунных шеек – 0,112 мм. Это смещение является результатом погрешностей формы шеек из-за изнашивания и деформирования детали при эксплуатации и их расположения относительно оси вращения детали по причине неудовлетворительного базирования заготовки во время предыдущего восстановления.

Если смотреть на коленчатый вал со стороны носка и следить за распределением смещения осей коренных шеек различных валов относительно оси шпинделя станка, то окажется, что следы осей шеек равномерно распределены по угловым секторам. Оси шатунных шеек преимущественно смещены вдоль радиуса кривошипа, что обусловлено жесткой конструкцией центросместителей и невозможностью регулирования углового положения заготовки при ее базировании.

Полученные сведения сопоставлялись с расчетным припуском z на сторону, рассчитанным по формуле В. И. Кована, который необходим для шлифования шеек вала под очередной ремонтный размер

$$z = \sum_1^n \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{p_{i-1}}^2 + \Delta_{\phi_{i-1}}^2 + \delta_{\phi_i}^2 + \delta_{z_i}^2 + \delta_{пр_i}^2} \right), \text{ мм}, \quad (1)$$

где $i = 1...n$ – операции обработки; Rz_{i-1} и h_{i-1} – высота неровностей профиля и глубина поврежденного слоя на предшествующей операции, мм; $\Delta_{p_{i-1}}$ и $\Delta_{\phi_{i-1}}$ – отклонения расположения и формы обрабатываемой поверхности на предшествующей операции, мм; δ_{ϕ_i} и δ_{z_i} – погрешности базирования и закрепления заготовки на выполняемой операции, мм; $\Delta\delta_{пр_i}$ – погрешность приспособления, мм.

В результате шлифования изношенной шейки вала диаметром $d_{из}$ ее центр естественно совмещается с осью вращения шпинделя станка. При надлежащем базировании заготовки восстанавливаются нормативные радиус и угловое расположение кривошипа (рис. 2).

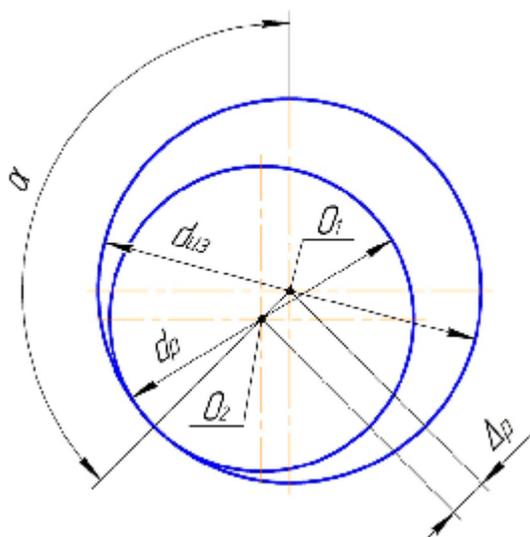


Рис. 2. Схема расположения контура шатунной шейки вала после обработки диаметром d_p в контуре шейки до обработки диаметром $d_{из}$: O_1 – центр окружности изношенной шейки; O_2 – центр окружностей, совпадающий с осью вращения шпинделя станка; α – угол между линией центров окружностей и осью кривошипа; Δ_p – геометрическая сумма отклонений расположения и формы обрабатываемой поверхности

Для снятия припуска по всей длине окружности шлифуемой шейки при достижении ближайшего ремонтного размера d_p необходимо, чтобы контур сечения обработанной шейки был вписан в контур сечения изношенной шейки вала. Этому требованию удовлетворяет условие

$$d_{из} - d_p = 2\Delta_p. \quad (2)$$

Таким образом, если $2\Delta_p \leq \text{РИ}$ (здесь РИ – ремонтный интервал, для коленчатых валов ряда автотракторных двигателей он равен 0,25 мм), то вал можно обработать под очередной ремонтный размер. Учитывается наибольшее значение Δ_p из всех шеек, потому, что по этой шейке будет принято решение о выборе ремонтного размера всех шеек (коренных или шатунных) вала.

При расчете толщины восстановительного покрытия t необходимо к припуску на обработку на сторону (1) добавить расстояние a от поверхности шейки, обработанной под номинальный размер, до изношенной поверхности, на которую наносят покрытие

$$t = z + a = z + \frac{d_n - d_{из}}{2}, \quad (3)$$

где d_n – номинальный диаметр шейки вала, мм.

Вероятность обработки коренных шеек под очередной ремонтный размер (без пропуска ремонтного размера) близка к единице. Значение этого параметра для шатунных шеек составляет 0,21. Если принять меры по совершенствованию базирования заготовки

на всех ремонтных предприятиях, начиная с первого восстановления детали, то будет возможно шлифование и шатунных шеек под очередной ремонтный размер. При первом заводском восстановлении детали (после ее шлифования в мастерских) сначала возвращают ось шатунных шеек в положение, соответствующее нормативным значениям радиуса и угла кривошипа, т. е. исправляют брак базирования на предыдущих восстановлениях, а затем достигают размера, соответствующего очередному ремонтному размеру. Однообразные схемы базирования восстанавливаемой детали на всех ремонтных предприятиях обеспечат большую долю валов, обработанных под очередной ремонтный размер шеек [6]. Внедрение результатов работы в производство позволит уменьшить в 2–4 раза объем работ по нанесению восстановительных покрытий (наплавкой или напылением) или использованию ДРД.

Использование элементов необезличенного ремонта обеспечивает сохранение или восстановление с меньшей трудоемкостью параметров расположения, относящихся к сборочным единицам из нескольких деталей, например:

- торцовое биение рабочей поверхности маховика относительно поверхности коренных шеек коленчатого вала;
- биение поверхности отверстия под коробку передач в картере сцепления относительно поверхности отверстий коренных опор блока цилиндров.

Сохранение принадлежности деталей к агрегату при его ремонте кроме того снижает до 40 % объем работ по обработке резанием и балансировке при их восстановлении [7] (рис. 3 и 4). Заштрихованные области распределений показывают доли годных изделий по указанным параметрам.

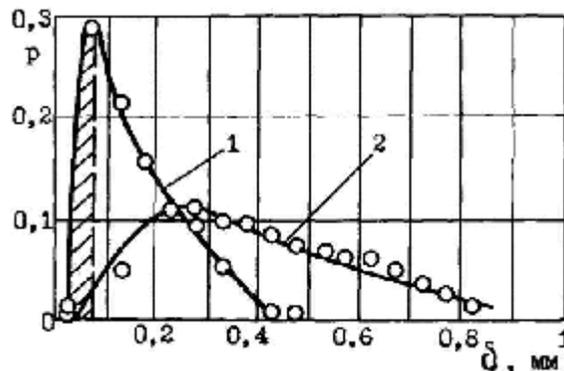


Рис. 3. Частота p распределения биений δ рабочего торца маховика двигателя ЗМЗ-53 относительно оси коренных шеек коленчатого вала. Сборочная единица собрана из необезличенных (1) и обезличенных (2) деталей

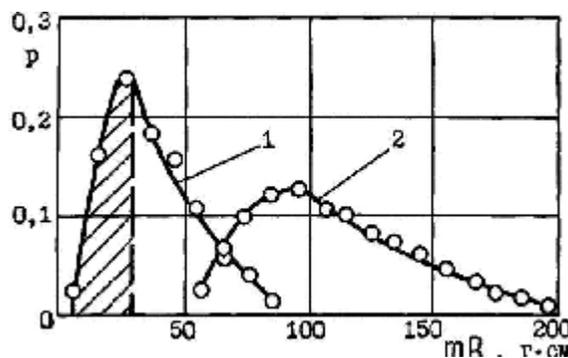


Рис. 4. Частота p распределения значений дисбаланса mR сборочных единиц «коленчатый вал – маховик» двигателя ЗМЗ-53 необезличенных (1) и обезличенных (2)

Научный интерес представляет решение задачи оптимального выбора однотипного технологического оборудования ремонтного завода для ресурсообрабатывающей обработки с помощью предложенной многопараметрической модели (рис. 5), включающей:

- построение интегральных гистограмм спроса на оборудование и предложения в координатах «основные параметры – потребность»;
- использование оценочного критерия в виде затрат на ввод оборудования в эксплуатацию и технологической себестоимости, связанной с эксплуатацией этого оборудования, и графическую интерпретацию этих затрат;
- обоснование математического аппарата;
- процедуру решения и описание результатов.

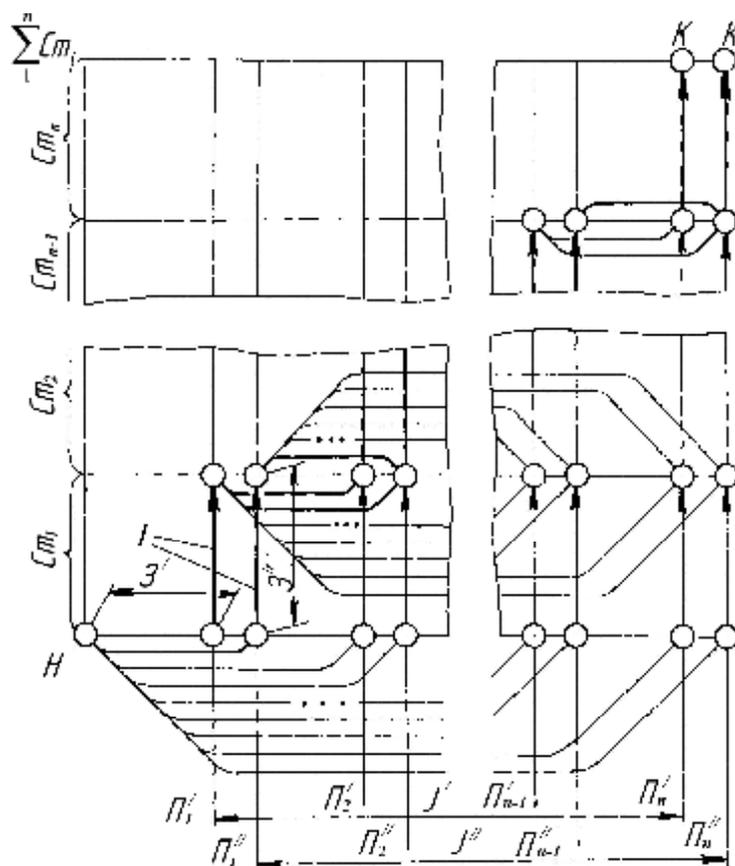


Рис. 5. Схема модели двухпараметрической оптимизации состава однотипного технологического оборудования ремонтного завода:

$\Pi'_1, \Pi'_2, \dots, \Pi'_{n-1}, \Pi'_n$ – дискретные порядковые значения первого параметра (размеры заготовки); $\Pi''_1, \Pi''_2, \dots, \Pi''_{n-1}, \Pi''_n$ – дискретные порядковые значения второго параметра (точности обработки); $Cm_1, Cm_2, \dots, Cm_{n-1}, Cm_n$ – годовая станкоёмкость работ, выполняемых на оборудовании; Z' – затраты на ввод в эксплуатацию оборудования; Z'' – затраты на эксплуатацию оборудования; H и K – начальная и конечные вершины кумуляты; I – кумуляты спроса на оборудование; J' и J'' – ряды значений дискретных параметров

Из разнообразного универсального и специального металлорежущего оборудования с учетом соотношения цены, затрат на эксплуатацию и производительности выбирается его состав, оптимальный для конкретных производственных условий.

Сроки устойчивого серийного производства машин сократились с 10–15 до трех–пяти и менее лет. В связи с этим использование в ремонтном производстве специальных станков, которые обладают недостаточной технологической гибкостью, а фактический срок службы превышает указанный, требуют экономического обоснования. Большой мобильностью обладают универсальные станки повышенной точности, оснащенные установочными приспособлениями. Априори представляется, что универсальное оборудование более эффективно при малых объемах восстановления деталей, однако при этом необходима разработка и применение сложных приспособлений для установки (базирования и закрепления) заготовок и поддержки длинного инструмента (оправок и борштанг). Специальное оборудование выполняет узкую технологическую функцию над восстанавливаемым изделием определенной модели, но обладает наибольшей производительностью и обеспечивает наивысшую точность. Оно обладает большей жесткостью по сравнению с универсальным оборудованием, что позволяет применять инструмент из режущей керамики или сверхтвердых материалов с меньшим усилием закрепления заготовок со снятием небольших припусков и меньшей погрешностью формы обрабатываемых поверхностей.

Критичны рассуждения о выборе расточного и шлифовального оборудования – основного оборудования, обеспечивающего нормативное качество восстанавливаемых деталей. Доля растачиваемых цилиндрических поверхностей в общем объеме обработки достигает 30 %, а шлифуемых шеек – 25 %.

Производилось сопоставление, применительно к обработке гильз цилиндров, вертикально-расточных станков: универсального 2Н78 и специального четырехшпиндельного ОС-2777 (табл. 3). Станок ОС-2777 одновременно обрабатывает 4 заготовки со скоростью резания, превышающей в два раза скорость резания на станке 2Н78. Благодаря большой жесткости станка и конструкции резцов, выполненных из сверхтвердых материалов, параметры обработанной детали соответствует нормативам, в том числе по цилиндричности отверстия, которая составляет долю не только допуска на размер, но и допуска размерной группы, меньшего в 4–5 раз.

Область рационального использования станков ОС-2777 по сравнению со станками 2Н78 находится несколько выше значения объемов ремонта 6,3 тыс. двигателей в год (табл. 3). Годовая экономия финансовых средств от использования этих станков при росте объемов ремонта агрегатов с 10 до 40 тыс. в год изменяется от 34 до 278 млн р. При изменении вида ремонтируемых изделий специальный станок может быть легко перепрофилирован под растачивание других гильз цилиндров путем реконструкции приспособления.

Таблица 3

Результаты выбора станков для растачивания гильз цилиндров

Показатели	Объемы выпуска, тыс. комплектов в год	Станки	
		2Н78	ОС-2777
Капиталовложения, приведенные к году эксплуатации, млн р.	6,3	13,260	80,750
	10	19,890	80,750
	16	25,520	80,750
	25	39,780	161,510
	40	59,670	161,510
Общие текущие затраты на обработку изделий, млн р.	6,3	80,287	20,418
	10	127,440	32,400
	16	203,904	51,840
	25	318,600	81,000
	40	509,760	129,600

Окончание табл. 3

Показатели	Объемы выпуска, тыс. комплектов в год	Станки	
		2Н78	ОС-2777
Сумма капиталовложений и общих текущих затрат, млн р.	6,3	93,547	101,162
	10	147,330	113,150
	16	224,424	132,540
	25	358,380	242,510
	40	569,370	291,110

Представляет интерес выбор из горизонтально-расточных станков универсального 2М614, оснащенного приспособлением, и специального 13А458 для обработки длинных прерывистых отверстий – коренных опор блока цилиндров. Здесь картина несколько иная. При объемах ремонта от 6,3 до 40 тыс. агрегатов в год более эффективно применять универсальное оборудование (табл. 4). Разница в капиталовложениях и общих текущих затратах, отнесенных к работе оборудования обоих видов, при увеличении объемов ремонта агрегатов уменьшается. При превышении этих объемов 40 тыс. агрегатов в год эта разница станет нулевой и использование специального станка станет эффективным, однако этот вывод не имеет практического значения. При недогрузке универсального станка работами указанного вида оно может быть использовано для выполнения других работ после замены приспособления, а специальный станок этого не допускает, он не будет востребован.

Наиболее представительной из шлифовальных работ является обработка шеек коленчатых валов. Обосновывался выбор станков для шлифования шеек коленчатых валов двигателей с рабочим объемом 4,25 л. Сравнивались универсальные станки 3В423 для шлифования коренных и шатунных шеек автотракторных двигателей со специальными станками ХШ2-16 (ЛТ-80) для шлифования коренных шеек и ХШ2-01 для шлифования шатунных шеек (табл. 5).

Обработка на специальных шлифовальных станках обеспечивает повышение производительности труда в 1,75 раза при достижении нормативных значений размеров шеек и их нецилиндричности до 5 мкм.

Таблица 4

Результаты выбора горизонтально-расточных станков

Показатели	Объемы выпуска, тыс. комплектов в год	Станки	
		2М614	13А458
Капиталовложения, приведенные к году эксплуатации, млн р.	6,3	46,750	54,400
	10	46,750	54,400
	16	46,750	54,400
	25	46,750	54,400
	40	46,750	54,400
Общие текущие затраты на обработку изделий, р.	6,3	11,466	10,792
	10	18,200	17,130
	16	29,120	27,408
	25	45,500	42,825
	40	72,800	68,520
Сумма капиталовложений и общих текущих затрат, млн р.	6,3	59,136	65,192
	10	64,950	71,530
	16	75,870	81,808
	25	92,250	97,225
	40	119,550	122,920

Таблица 5

Результаты выбора станков для шлифования шеек коленчатых валов двигателей

Показатели	Объемы выпуска, тыс. в год	Станки		
		ЗВ423	ХШ2-16	ХШ2-01
Капиталовложения, приведенные к году эксплуатации, млн р.	1,0	41,650	61,200	66,300

	6,3	83,300	61,200	66,300
	10	83,300	61,200	66,300

Общие текущие затраты на обработку изделий, млн р.	40	291,550	122,400	198,900
	1,0	14,280	3,264	4,896

	6,3	89,964	20,563	30,844
	10	142,800	32,640	48,96
Сумма капиталовложений и общих текущих затрат, млн р.
	40	571,200	130,560	195,840
	1,0	55,930	135,660	
	
	6,3	173,264	178,908	
	10	226,100	209,200	
	
	40	862,750	647,700	

Граница экономически обоснованного применения специальных станков соответствует объемам восстановления деталей около 6,3 тыс. в год (табл. 5). При объемах восстановления деталей 10 тыс. в год разница затрат составляет около 16,9 млн р. в пользу применения специальных станков, а при достижении объемов восстановления деталей 40 тыс. в год эта разница составляет 215 млн р. за счет уменьшения удельных капиталовложений, отнесенных к единице продукции. Заработная плата при обработке одной заготовки на универсальном оборудовании больше в 1,77 раза соответствующего показателя при обработке на специальном станке при любых объемах выпуска. Капиталовложения в специальное оборудование при объемах восстановления 10 тыс. деталей в год превышают в 1,53 соответствующий показатель универсального оборудования. При объемах восстановления 40 тыс. деталей в год это соотношение уменьшается до 1,11 раза.

Заключение

Ресурсосберегающая обработка резанием ремонтных заготовок способствует уменьшению объема работ по нанесению восстановительных покрытий и сохранению усталостной прочности деталей. Наибольшая актуальность ресурсосберегающей обработки имеет место при восстановлении деталей, для которых предусмотрены ремонтные размеры, в этом случае должны применяться единые схемы базирования на всех ремонтных заводах, что обеспечивает использование всех ремонтных размеров, предусмотренных технической документацией. Это позволит уменьшить в 2–4 раза объем работ по нанесению восстановительных покрытий (наплавкой или напылением) или использованию дополнительных ремонтных деталей. Область эффективного применения специальных станков для обработки гильз цилиндров и коленчатых валов начинается со сравнительно небольших объемов производства 6,3–10 тыс. агрегатов в год.

Литература

1. Реновация в машиностроении / Ю. Ф. Абакумов [и др.] // Восстановление и упрочнение деталей : тр. ГОСНИТИ. – М. : ГОСНИТИ, 2013. – Т. 113. – С. 249–257.
2. Харламов, Ю. А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин : учеб. пособие : в 2 т. / Ю. А. Харламов, Н. А. Будагьянц. – Луганск : Восточноукр. нац. ун-т им. В. И. Даля, 2003. – Т. 1. – 496 с.
3. Харламов, Ю. А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин : учеб. пособие : в 2 т. / Ю. А. Харламов, Н. А. Будагьянц. – Луганск : Восточноукр. нац. ун-т им. В. И. Даля, 2003. – Т. 2. – 480 с.
4. Иванов, В. П. Сбережение остаточной долговечности деталей при ремонте машин / В. П. Иванов, А. А. Мерзлов // Вестн. Полоц. гос. ун-та: Прикладные науки. – 2005. – № 6 – С. 173–176.
5. Иванов, В. П. Повышение эффективности процессов восстановления деталей / В. П. Иванов, А. П. Кастрюк // Научные проблемы развития ремонта, технического обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей : тр. ГОСНИТИ : в 2 ч. – М. : ГОСНИТИ, 2012. – Т. 110, ч. 2. – С. 4–7.
6. Иванов, В. П. Выбор технологических баз при обработке резанием восстанавливаемых коленчатых валов / В. П. Иванов, Т. В. Вигерина // Композиционные материалы и защитные покрытия : материалы науч.-техн. семинара (Минск: ОИМ НАН Б, 27–28 нояб. 2012 г.). – Минск : ОИМ НАН Б, 2012. – С. 38–42.
7. Иванов, В. П. Подготовка ремонтного производства / В. П. Иванов, А. П. Кастрюк. – Новополоцк : ПГУ, 2011. – 272 с.

Получено 04.02.2014 г.