

Совершенствование стратегии ремонта агрегатов машин

В.П. Иванов, д-р техн. наук, профессор (Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь. E-mail: ivprem@tut.by, тел. +375-214-531047)

Реферат. В статье предложен ремонтный цикл агрегатов с ограниченным числом ремонтов и восстановления изношенных деталей. Отмечается, что в современных условиях практически исключен капитальный ремонт полнокомплектных машин и наблюдается сокращение объема ремонта агрегатов. Показано, что ненадежность отремонтированных агрегатов оказывает влияние на качество восстановления различных групп деталей. Отмечается, что остаточные ресурсы агрегатов определяются путем измерения диагностических параметров и использования статистических уравнений. Приводится описание трудоемкого промышленного эксперимента в условиях Полоцкого завода Проммашремонт, в результате которого изучалось влияние точности геометрических параметров деталей на послеремонтную наработку двигателей. По результатам эксперимента приводится степенная зависимость ресурса отремонтированного двигателя от точности параметров деталей. Исходя из стоимости восстановления, послеремонтной наработки агрегатов с использованием новых и восстановленных деталей предложен ремонтный цикл, включающий один капитальный, два средних ремонта и несколько текущих ремонтов.

Ключевые слова: агрегат, ремонт, деталь, восстановление, ресурс.

Введение. Стратегия ремонта представляет собой систему условий, определяющих место, время, содержание и объем ремонтных работ в течение срока службы машины. В настоящее время практически исключен капитальный ремонт полнокомплектных машин и наблюдается сокращение объемов ремонта агрегатов. Однако владельцы техники экономически заинтересованы в ремонте агрегатов с восстановлением их деталей при полном использовании их остаточной долговечности, что требует уточнения содержания ремонтного цикла агрегатов.

Цель работы. На примере самых сложных агрегатов машин – двигателей – определить содержание их ремонтного цикла.

Основная часть. Создатели машины закладывают в нее эксплуатационные свойства, которые обеспечивают работоспособность в течение всего срока службы. Техническое обслуживание продлевает время пребывания машины в работоспособном состоянии за счет выполнения заправочных, очистных, смазочных и крепежно-регулирующих работ. Ремонтные работы предусматривают замену составных частей, достигших предельного состояния или близких к нему с сопутствующими работами (очисткой, разборкой, сборкой, обкаткой, окрашиванием и испытаниями). Текущий ремонт агрегата не восстанавливает его ресурс. Капитальный ремонт обусловлен наличием у большинства деталей остаточного ресурса после достижения ими предельного состояния, он позволяет восстановить ресурс агрегата.

Наибольшее влияние на надежность отремонтированных агрегатов оказывает качество восстановления таких групп деталей: неподвижных (корпусов, картеров, гильз); вращающихся (валов, дисков, зубчатых колес, кулачков, эксцентриков); движущихся поступательно (поршней, штоков, ползунов, клапанов); участвующих в преобразовании движений (рычагов, шатунов, штанг). Многолетняя практика показывает, что ресурсы деталей по

статической прочности значительно превышают их ресурсы по усталостной прочности и износостойкости. Отсутствие трущихся элементов в большинстве неподвижных деталей (в т.ч. корпусных), их большая статическая прочность и жесткость обуславливают большую долговечность, превышающую амортизационную наработку. Долговечность трущиеся деталей значительно ниже, что обуславливает их замену до капитального ремонта агрегата. Ряд недолговечных деталей (вкладыши коленчатого вала, поршневые кольца, поршни, уплотнения и др.) согласно нормативным документам подлежат при капитальном ремонте замене новыми деталями, хотя предложены процессы, позволяющие восстановить некоторые из них со значительной эффективностью [1].

Традиционно остаточный ресурс агрегатов определяют путем измерения диагностических параметров и использованием статистических уравнений, полученных ранее [2]. Интерес представляют зависимость послеремонтной наработки агрегатов от значений основных структурных показателей, измеренных при ремонте агрегатов, что позволяет более объективно определить остаточный ресурс. Для этой цели был проведен трудоемкий промышленный эксперимент в условиях ОАО Полоцкий завод «Проммашремонт» [3], в результате которого изучалось влияние точности основных геометрических параметров деталей и соединений на послеремонтную наработку двигателей. Были выделены такие параметры, в наибольшей мере влияющие на послеремонтную наработку L двигателей: несоосность средней коренной опоры блока цилиндров относительно крайних (x_1 , мм), несоосность средней коренной шейки коленчатого вала относительно крайних (x_2 , мм), зазоры в коренных (x_3 , мм) и шатунных (x_4 , мм) подшипниках коленчатого вала, зазор между гильзой и поршнем (x_5 , мм), нецилиндричность трущейся поверхности гильзы цилиндра (x_6 , мм), непараллельность осей отверстий шатуна (x_7 , мм/100 мм), неперпендикулярность осей юбки поршня и отверстия под поршневой палец (x_8 , мм/100 мм). Работы выполнялись без вмешательства в технологические процессы восстановления деталей и сборки двигателей. Параметры x_1 , x_2 и x_6 измерялись на соответствующих деталях. Остальные параметры в виде замыкающих размеров соединений рассчитывались после измерения соответствующих размеров деталей, входящих в соединения. Области определения параметров ограничены слева минимальными значениями, установленными документацией на восстановление деталей, а справа – максимальными значениями, выявленными при их измерении. Особый интерес представляли случаи, когда значения параметров-аргументов существенно превышали нормативные, например, при выпуске продукции по особым санкциям. Отклонения параметров деталей от нормативных вызваны использованием запасных частей низкого качества, недостаточными возможностями металлорежущего оборудования и применением деталей ремонтного фонда, параметры которых уступают параметрам новых деталей.

Между указанными величинами установлена степенная зависимость

$$L = 0,0052x_1^{-0,541}x_2^{-0,417}x_3^{-0,732}x_4^{-0,919}x_5^{-0,608}x_6^{-0,340}x_7^{-0,299}x_8^{-0,316}, \quad (1)$$

тыс. км,

адекватность которой экспериментальным данным подтверждена с помощью дисперсионного отношения Фишера.

Степень влияния факторов при изменении их в пределах шага варьирования (0,01 мм или 0,01 мм на 100 мм длины) на послеремонтную наработку агрегата образует ряд $x_4 \rightarrow x_3 \rightarrow x_5 \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_6 \rightarrow x_8 \rightarrow x_7$, а при изменении их в пределах области определения, как отношение максимальной наработки

агрегата к минимальной, имеет вид $X_5 \rightarrow X_4 \rightarrow X_1 \rightarrow X_3 \rightarrow X_7 \rightarrow X_8 \rightarrow X_2 \rightarrow X_6$. После ремонтная наработка агрегатов изменяется до четырех раз при варьировании факторов-аргументов в пределах их области определения. Если значения указанных факторов выдерживаются в нормативных пределах, то разброс наработки сокращается в два-три раза.

Наибольшее влияние на долговечность отремонтированных двигателей оказывают начальные зазоры в трущихся соединениях и наименьшее влияние – параметры формы и расположения поверхностей. Наблюдается непрерывное уменьшение ресурса агрегатов при отклонении в худшую сторону параметров от их нормативных значений. Геометрические параметры восстановленных деталей не должны уступать соответствующим параметрам новых деталей, установленных заводами-изготовителями.

Технико-экономический критерий способа восстановления детали учитывает соотношение стоимости восстановленной детали, цены новой детали и их долговечности [4]

$$C_{\text{в}} \leq k_{\text{д}} U_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{в}}$ – стоимость восстановленной детали; $k_{\text{д}} = D_{\text{в}}/D_{\text{н}}$ – коэффициент долговечности; $D_{\text{в}}$ и $D_{\text{н}}$ – долговечность восстановленной и новой деталей; $U_{\text{н}}$ – цена новой детали.

Однако выражение (2) должно быть дополнено ограничением пропорциональности наработки восстановленных деталей межремонтному пробегу агрегата. Нанесение покрытий при восстановлении трущихся поверхностей деталей связано с образованием на этих поверхностях материала нового химического, структурного и фазового состава, отличного от материала основы. Это открывает перспективы существенного повышения износостойкости восстановленных поверхностей различных деталей за счет насыщения поверхностного слоя легирующими элементами (углеродом, азотом, бором или их сочетанием), образования упрочняющей фазы с последующими закалкой и отпуском. При этом состав исходного материала покрытия согласуют с составом упрочняющей фазы, которая образуется позже. Физико-техническая обработка в виде лазерной и электронно-лучевой обработки способствует формированию такой фазы. Образуется гетерогенная структура материала (типа Г. Шарпи), состоящая из твердых зерен, равномерно распределенных в упругопластической матрице, поверхностные слои трущихся материалов должны обладать меньшей прочностью, чем нижележащие слои (правило положительного градиента) и не наклепываться при трении.

Исходя из рассмотрения стоимости и послеремонтной наработки агрегатов с использованием новых и восстановленных деталей, предлагается ремонтный цикл, включающий один капитальный, два средних и несколько текущих ремонтов

ВЭ – Т – Т – С – Т – Т – К – Т – Т – С – Т – Т – Сп,

где ВЭ – ввод в эксплуатацию; Т – текущий ремонт по результатам диагностирования при техническом обслуживании; С – средний ремонт; К – капитальный ремонт; Сп – списание.

Предложенный ремонтный цикл ограничивает число восстановлений и ремонтов. Восстановительное покрытие на одну поверхность наносят один раз. Средний ремонт агрегатов предполагают использование комплекта восстановленных или изготовленных деталей в условиях ремонтного завода [5] с восстановлением параметров формы и расположения отверстий под подшипники в корпусных деталях (у блока цилиндров – коренных опор хонингованием без нанесения покрытий).

Выводы. Достижения и недостатки ремонтного производства, современное видение его развития позволяют предположить, что технический

уровень ремонтных предприятий должен быть доведен до уровня машиностроения из расчета обеспечения геометрических параметров восстановленных деталей, не уступая соответствующим параметрам новых деталей. Предложена структура ремонтного цикла агрегатов с ограничением числа трудоемких ремонтов и нанесения покрытий, обеспечивающая пропорциональность наработки восстановленных деталей межремонтному пробегу агрегата.

Литература

1. Иванов, В.П. Восстановление деталей: есть возможности расширения / В.П. Иванов // Автомобильный транспорт, 1994. – № 10. – С. 15–16.
2. Михлин, В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. – М.: Колос, 1984. – 335 с.
3. Иванов, В.П. Влияние качества ремонта двигателей на их долговечность / В.П. Иванов, А.П. Кастрюк // Вестник государственного технического университета им. П.О. Сухого, 2012. № 3. – С. 30–34.
4. Шадричев, В.А. Основы технологии автостроения и ремонт автомобилей / В.А. Шадричев. Л.: Машиностроение (Ленинградское отд.), 1976. – 560 с.
5. Иванов, В.П. Комплект деталей для ремонта двигателя ЗМЗ-53 / В.П. Иванов, В.Ф. Титов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1990. – № 9. – С. 48–49.

Developing machine aggregate repair strategies

V.P. Ivanov, PhD, Professor Polotsk State University, Novopolotsk, Belarus
E-mail: ivprem@tut.by

Abstract. *The paper proposes a repair cycle of aggregates with a limited number of repairs and reconstruction of worn parts. It is noted, that in present conditions, a full repair of complete machines is almost entirely ruled out and a fall in aggregate repairs is evident. It is shown that the reliability of repaired aggregates influences the quality of reconstruction of various part families. It is noted that the remaining life expectancy of aggregate is measured using diagnostic parameters and statistical equations. A description is given of a thorough industrial experiment, carried out at the Polotsk plant "Prommashremont", on the study of the influence of exact geometric parameters of parts on the post-repair engine operating time. Based on the results of the experiment, a power dependence is given for the repaired engine operating time and the accuracy of part parameters. Based on the cost of reconstruction and post-repair aggregate operating time with the use of new and reconstructed parts, a repair cycle is suggested, composed of one major repair, two intermediate and several minor repairs.*

Key terms: *aggregate, repair, part, reconstruction, operating time.*