

ОБОСНОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ АГРЕГАТОВ

**В. П. Иванов, Т. В. Вигерина, С. В. Пилипенко, А. В. Дудан,
В. В. Кострицкий**

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь

Ремонт полнокомплектных машин в последнее время практически упразднен стараниями народившегося бизнеса, а ремонт агрегатов организован с использованием новых деталей (запасных частей) часто сомнительного происхождения. В то же время фактические объемы ремонта растут [1], хотя ремонт машин с восстановлением деталей экономически целесообразен. Около четверти деталей ремонтного фонда не изношены или изношены в допустимых пределах и могут быть использованы повторно, а около половины деталей могут быть использованы после восстановления при его себестоимости 15–30 % от цены новых деталей. Практика показывает, что научно обоснованные процессы и организация восстановления изношенных деталей машин позволяют достичь их геометрических параметров и эксплуатационных свойств нормативного уровня [1] с долговечностью, не уступающей долговечности новых деталей, а в отдельных случаях и превзойти ее.

Ремонтное производство с восстановлением деталей сберегает много живого и овеществленного труда. При этом, в большинстве случаев, при восстановлении деталей машин тратится намного меньше ресурсов планеты, чем на изготовление новых деталей. Восстановление одной тонны деталей только за счет исключения металлургического передела позволяет сэкономить до 180 кВт·ч электроэнергии, 0,8 т угля и до 0,8 т известняка, 175 м³ природного газа [2]. При этом масса отходов уменьшается в 20 раз. Так, на изготовление, например, одного коленчатого вала автомобильного двигателя с рабочим объемом 4,8 л расходуют 57 кг металла, 183 МДж энергии. Масса отходов при этом равна 2,5 кг. При восстановлении эти величины имеют значения примерно в двадцать раз меньшие, соответственно: 2,6 кг, 9,5 МДж и 0,12 кг. Применение вторичных ресурсов дополнительно экономит ресурсы планеты с уменьшением антропогенного влияния на окружающую среду. Доля себестоимости, приходящаяся на приобретение материалов при изготовлении деталей, составляет 75 %, а при их восстановлении – только 8 %, заработная плата рабочих на восстановление деталей в 2–3 раза меньшая, чем на их производство [3].

Цель работы – обосновать целесообразность организации восстановительных работ с определением их вида, с целью содержания парка машин в исправном состоянии в течение всего срока их службы.

Использование при ремонте машин восстановленных деталей, по сравнению с новыми деталями, определяется сопоставлением их по цене,

долговечности и сопутствующими факторами. К последним относятся: потери, связанные с остановкой машины на время ремонта соответствующего агрегата, затраты на его снятие, разборку, определение технического состояния деталей, их восстановление или приобретение, сборку, окрашивание, обкатку, испытания и установку на машину. Целесообразность организации производства по восстановлению деталей определяют объемами производства, видом и массой восстанавливаемых деталей следующим образом [4]:

– уточняют технологию восстановления деталей данной номенклатуры и определяют стоимость затрат на их восстановление;

– сравнивают затраты на восстановление деталей с затратами на изготовление определением целесообразности восстановления деталей данной номенклатуры;

– на основании расчета максимального расстояния перевозки деталей на ремонтное предприятие определяют оптимальные размеры обслуживаемого региона.

Затраты на восстановление деталей Z_v заданной номенклатуры не должны превышать затраты на их изготовление Z_n машиностроительным заводом:

$$Z_v < Z_n, \quad (1)$$

$$Z_v = Z_{v.пр} + Z_{v.p} + Z_{p.c} + Z_{m.z.ч} + K_{y.v}, \text{ руб.}, \quad (2)$$

$$Z_n = Z_{n.пр} - Z_o + K_{y.n}, \text{ руб.}, \quad (3)$$

$$\text{при } L_{ф.д} = L_{н.а}, \text{ или } L_{ф.д} = 0,5L_{н.а},$$

где $Z_{v.пр}$ – затраты на восстановление детали (производственные), руб.; $Z_{v.p}$ – затраты (предпроизводственные) на использование вторичных ресурсов, используемых в качестве материалов при восстановлении деталей, руб.; $Z_{p.c}$ – затраты на разборочные и сборочные работы агрегата, связанные с заменой отказавшей детали, руб.; $Z_{m.z.ч}$ – затраты на материалы и запасные части, являющиеся сопряженными деталями, руб.; $K_{y.v}$ – удельные капитальные вложения на создание участка восстановления деталей (с учетом затрат на участок переработки вторичных ресурсов), руб.; $Z_{n.пр}$ – затраты на изготовление детали (производственные), руб.; Z_o – остаточная стоимость детали ремонтного фонда, руб.; $K_{y.n}$ – удельные капитальные вложения на создание производства по изготовлению деталей, руб.; $L_{ф.д}$ – фактическая долговечность детали, тыс. км пробега; $L_{н.а}$ – нормативная долговечность агрегата, тыс. км пробега.

Необходимо учитывать затраты на переработку вторичных ресурсов, используемых в качестве материалов при восстановлении деталей машин. Например, в качестве материала для восстановления поверхностей деталей может использоваться металлическая стружка, образующаяся при точении инструментальных и шарикоподшипниковых сталей [5]. Следует отметить и экологический аспект возможности переработки отходов производства в используемый материал, хотя само уменьшение антропогенного влияния на окружающую среду сложно поддается экономическим оценкам.

Выражение (1) должно быть дополнено соответствующим ограничением кратности наработки восстановленных деталей относительно регламентированного межремонтного пробега агрегата. При разработке технологии восстановления детали следует выбирать технические решения, которые позволяют уве-

личивать наработку восстановленных деталей, например, повышением износостойкости их поверхностей. Агрегат состоит из изнашиваемых и неизнашиваемых деталей разной долговечности с различными размерами и повреждениями. Средние ресурсы деталей двигателей в долях ресурса их базовых деталей (блоков цилиндров), определенные опытным путем, приведены в таблице.

Таблица – Относительные ресурсы деталей двигателей

Наименования деталей	Относительный ресурс, доля
Блок цилиндров	1,00
Гильза цилиндра	0,68–0,90
Головка цилиндров	0,89–0,90
Поршень	0,60–0,63
Поршневое кольцо компрессионное	0,44–0,45
Поршневое кольцо маслосъемное	0,45–0,47
Шатун	1,00
Поршневой палец	0,92–1,00
Коленчатый вал	0,63–0,87
Вкладыши коленчатого вала коренные	0,47–0,53
Вкладыши коленчатого вала шатунные	0,46–0,50
Распределительный вал	0,86–1,00
Клапан впускной	0,63–0,95
Клапан выпускной	0,70–0,77
Толкатель	0,89–1,00

Базовые корпусные детали обладают большой жесткостью и статической прочностью. В них отсутствуют трущиеся элементы (например, существуют заменяемые вставки в местах), где осуществляются трибологические взаимодействия с другими деталями. Такие детали имеют долговечность, которая значительно превышает амортизационную наработку самого агрегата. Если в детали имеются трущиеся части, то их долговечность понижается по сравнению с долговечностью корпусных деталей.

В ходе текущего ремонта агрегата заменяют наиболее изнашиваемые детали. При проведении среднего ремонта, как правило, замене подлежат детали с ресурсом, равным половине ресурса базовой детали. Именно эти детали и должны составлять ремонтный комплект, который используется при таком ремонте агрегата.

Современное состояние науки и практики позволяет осуществить приведенное выше условие на новом уровне. Например, нанесение покрытий при восстановлении трущихся поверхностей деталей с насыщением их материала необходимыми легирующими элементами подобно химико-термической обработке поверхностных слоев связано с образованием материала нового химического, структурного и фазового состава, отличного от материала основы. При нанесении таких покрытий возможно использовать вторичные материалы в большом количестве.

Восстановление деталей целесообразно организовывать в случае, когда объемы работ в рассматриваемом регионе достаточны для создания крупносерийного или массового типа производства

$$\frac{\Phi_{\text{д.о}}}{t_{\text{ш.к}}} \leq A_c k_b n_d \frac{L_r}{L_{\text{м.р}}}, \text{ год}^{-1}, \quad (4)$$

где $\Phi_{\text{д.о}}$ – годовой действительный фонд времени работы оборудования, ч/год; $t_{\text{ш.к}}$ – штучно-калькуляционное время наиболее трудоемкой операции технологического процесса восстановления детали, ч; A_c – списочное количество машин (агрегатов), эксплуатирующихся в данном районе; k_b – среднее значение суммарного коэффициента восстановления по маршрутам, определяемым повреждениями или их сочетаниями, при которых деталь подлежит восстановлению; n_d – количество деталей данного наименования в одном агрегате; L_r – средняя годовая наработка машины (агрегата), тыс. км пробега/год; $L_{\text{м.р}}$ – средний межремонтный пробег агрегата, составной частью которого является рассматриваемая деталь, тыс. км пробега.

Смысл неравенства (4) заключается в том, что в обслуживаемом регионе одноименных восстанавливаемых деталей должно быть достаточно для непрерывной загрузки производства в течение года. Действительное расстояние перевозки деталей на восстановление L_d должно быть не больше расчетного L_p

$$L_d \leq L_p \text{ км}, \quad (5)$$

$$L_p = \frac{Z_{\text{в.с}}}{m_d T} \left[\frac{Z_{\text{р.с}} + Z_{\text{м.з.ч}}}{Z_{\text{в.с}}} - 1,03 \left(\frac{N_c}{N_m} \right)^b \right], \text{ км}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{в.с}}$ – затраты на восстановление детали на универсальном участке серийного типа производства, руб.; m_d – масса детали, кг; T – тариф на перевозку детали массой 1 кг на расстояние 1 км, руб./кг×км; N_c , N_m – годовые объемы работ по восстановлению деталей, соответственно, на универсальном участке серийного типа производства и специализированном участке массового типа производства, год⁻¹; b – коэффициент, значение которого в пределах 1,00–1,25 зависит от особенностей технологического процесса восстановления детали.

Источники экономического эффекта заключены в применении более совершенной организации производства (с учетом транспортировки), что приводит к снижению себестоимости восстановления деталей.

Отмеченное выше позволяет оптимизировать создаваемую структуру ремонтно-восстановительного производства, выбрать мероприятия по повышению его эффективности и определить рациональную область расширения охвата потребителей с целью увеличения объемов производства с повышением качества восстановления деталей на специализированных участках.

Чем больше машин в регионе и их годовая наработка, тем выше объемы восстановления деталей. Значительные объемы восстановления легче обеспечиваются при ремонте многочисленных недолговечных деталей небольшой массы. Но само количество деталей, даже при незначительной географической распространенности региона, подразумевает применение современных логистических технологий. Особенно резкое снижение этого расстояния наблюдается для деталей большой массы, себестоимость

восстановления которых небольшая. Наиболее целесообразна организация массового восстановления блоков, головок и гильз цилиндров, коленчатых и распределительных валов и других деталей на поточно-механизированных линиях. Такие проекты необходимо организовывать на государственном уровне по типовой или модульной технологиям. Технический уровень восстановительного производства, оцениваемый параметрами средств технологического оснащения, не должен уступать техническому уровню соответствующего машиностроительного производства.

Алгоритм обоснования целесообразности восстановления деталей машин на специализированных производственных участках (рисунок) предусматривает оптимизацию накладных расходов, так как их доля в себестоимости восстанавливаемых деталей значительна. Предусмотрена корректировка размеров региона и оптимизация технологии перевозки. Предложенный алгоритм позволяет создать экономически обоснованную технологию восстановления деталей машин, создать оптимальную сеть таких предприятий.

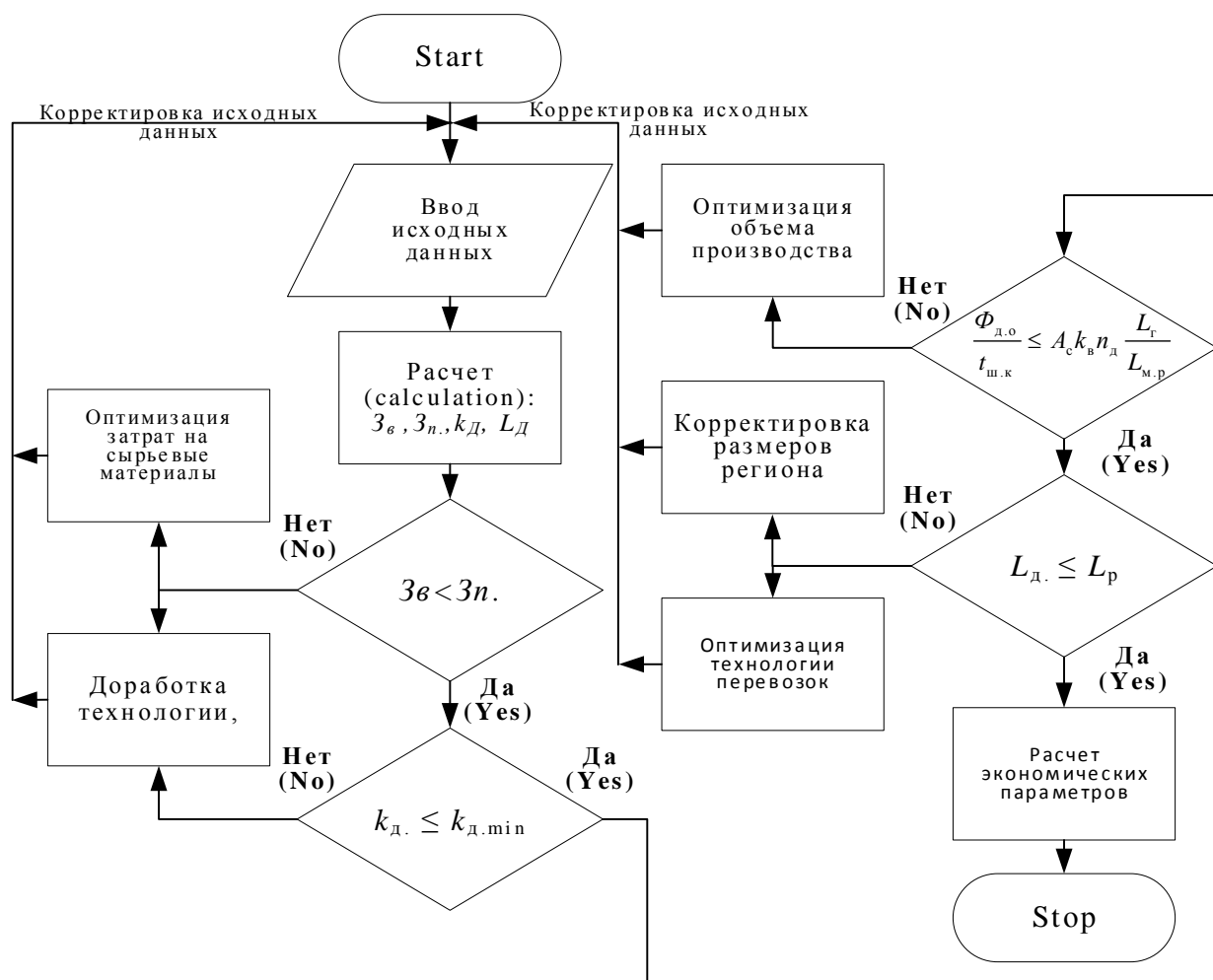


Рисунок – Алгоритм обоснования целесообразности восстановления деталей машин на специализированных производственных участках

Таким образом, восстановление деталей на специализированных участках серийного или массового типа производства обеспечивает эффективность ремонтного производства с обеспечением нормативной долговечности отремонтированных агрегатов. Определены условия целесообразности восстановления деталей данной номенклатуры сравнением затрат на их восстановление с затратами на изготовление, и определены размеры обслуживаемого региона в виде максимального расстояния перевозки деталей на восстановление.

Долговечность трущихся поверхностей восстановленных деталей может быть существенно повышена износостойкими покрытиями или слоями соответствующего химического и фазового состава с термической обработкой, что обеспечивает кратность наработки восстановленных деталей межремонтному пробегу агрегата при полном использовании остаточной долговечности деталей. Предложено введение в систему содержания машин в исправном состоянии среднего ремонта агрегатов, при котором заменяют детали, ресурс которых составляет примерно половину от ресурса базовой детали. Эти детали составляют подготавливаемый ремонтный комплект.

Предложен алгоритм обоснования целесообразности восстановления деталей на специализированных производственных участках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Попов, В. В. Формирование методов оптимизации и оценки потребности в техническом обслуживании и ремонте МТП / В. В. Попов, Н. А. Мочунова, М. А. Карапетян // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 3. – С. 87–89.

2. Иванов, В. П. Обоснование рентабельности ремонта автомобильных агрегатов // Инновационные технологии в машиностроении: сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета / В. П. Иванов, Т. В. Вигерина. – Новополоцк : Полоцкий гос. ун-т, 2020. – С. 154–156.

3. Масино, М. А. Организация восстановления автомобильных деталей / М. А. Масино. – М. : Транспорт, 1981. – 176 с.

4. Какуевицкий, В. А. Восстановление деталей автомобилей на специализированных предприятиях / В. А. Какуевицкий. – М. : Транспорт, 1989. – 149 с.

5. Пилипенко, С. В. Использование вторичных материалов при восстановлении работоспособности втулок подшипников скольжения / С. В. Пилипенко, В. А. Фруцкий, А. В. Дудан. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 5. – С. 130–137.