

**ОПТИМИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

**OPTIMISING MODELLING OF PROCESSES  
RESTORATION OF DETAILS**

**ИВАНОВ Владимир Петрович**

доктор технических наук, профессор,  
Полоцкий государственный университет,  
кафедра «Автомобильный транспорт»,  
г. Новополоцк,  
Республика Беларусь.

**УВАРОВ Герман Александрович,**

инженер,  
Полоцкий государственный университет  
г. Новополоцк,  
Республика Беларусь.

**IVANOV Vladimir Petrovich,**

doctor of technical Sciences, Professor,  
Polotsk state University,  
Department of Automobile transport,  
Novopolotsk,  
Republic of Belarus.

**E-mail: [ivprem@tut.by](mailto:ivprem@tut.by)**

**UVAROV Herman A.**

Engineer,  
Polotsk state University,  
Novopolotsk,  
Republic of Belarus.

**E-mail: [uvarov.german@mail.ru](mailto:uvarov.german@mail.ru)**

**Научная специальность:**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

**Scientific specialty:**

05.22.10 - Operation of road transport

**Аннотация.** Обоснована с использованием имитационного моделирования совокупность оптимизированных технических решений на стадии организации производства по восстановлению деталей, обеспечивающих ограничения по качеству и производительности процессов с минимальным расходом производственных ресурсов.

**Ключевые слова:** деталь, восстановление, организация, моделирование, техническое решение, эффективность, ресурс.

**Annotation:** Set of the optimized technical decisions at a stage of the organization of manufacture on restoration of the details providing restrictions on quality and productivity of processes with the minimum expense of industrial resources is proved with use of imitating modeling.

**Keywords:** a detail, restoration, the organization, modeling, the technical decision, efficiency, a resource

**Введение.** Долговечность современной техники существенно повысилась за счет использования новых материалов и процессов, а также более совершенного оборудования. Рекламная политика ее изготовителей, требующая загрузки своего производства с получением максимального дохода, нацелена на то, чтобы, спустя определенный срок службы, изготовленная машина была утилизирована или продана в «третьи» страны, а вместо нее приобретена новая машина. Это обусловило практически исключение капитального ремонта полнокомплектных машин и сокращение объемов ремонта агрегатов. Выполняемые ремонты агрегатов предполагают замену изношенных деталей новыми запасными частями без восстановления геометрических параметров корпусных деталей этих агрегатов. В качестве запасных частей производителям техники выгодно поставлять дорогие детали, к тому же, как правило, изготовленные с отступлением от требований технической документации, которые нежелательно использовать при сборке нового изделия. Однако ремонт агрегатов с восстановлением их деталей при полном использовании их остаточной долговечности и обеспечении нормативного послеремонтного ресурса является экономически выгодным. Этому способствует современная организация производства по восстановлению деталей.

**Цель работы** – обоснование технических решений при организации процессов восстановления деталей, обеспечивающих их нормативное качество с минимальным расходом производственных ресурсов.

**Организация производства** – система решений, подготавливаемых специалистами и принятых руководителями, с мероприятиями по их реализации в составе управления предприятием, которая обеспечивает с максимальной рентабельностью ритмичный выпуск продукции нормативного качества, с необходимой производительностью, при полном использовании производственной мощности предприятия, надлежащими условиями безопасного труда, без загрязнения окружающей среды с минимальным расходом производственных ресурсов.

Комплексным показателем эффективности процесса восстановления детали, который состоит из  $i = 1, \dots, n$  операций, является его *рентабельность*  $R_n$ , к максимальному значению которой стремятся, организуя производство соответствующим образом

$$P_{\text{н}} = \frac{Ц - P}{Ц} = 1 - \frac{P}{Ц} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [M_i + O_i + 3Ч_i + Э_i + P_i + A_i + (1 + O_{\text{с.с}} + O_{\text{ф.з}} + O_{\text{о.с}})3П_i]}{Ц}, \quad (1)$$

где  $Ц$  – оптовая цена изделия (доход производства), руб.;  $P$  – расходы, связанные с восстановлением детали, руб.;  $i$  – индекс, обозначающий принадлежность величины к данной операции;  $M_i$  – затраты на материалы, руб.;  $O_i$  – стоимость переработки вредных отходов, руб.;  $3Ч_i$  – стоимость запасных частей, руб.;  $Э_i$  – затраты на энергию, руб.;  $P_i$  – затраты на содержание в исправном состоянии и восстановление ресурса средств ремонта, руб.;  $A_i$  – амортизационные отчисления, руб.;  $O_{\text{с.с}}$  – норматив отчислений на социальное страхование (0,35);  $O_{\text{ф.з}}$  – норматив отчислений в чрезвычайный налог и фонд занятости населения (0,04);  $O_{\text{о.с}}$  – норматив отчислений по обязательному страхованию работников от несчастных случаев (0,003);  $3П_i$  – основная и дополнительная заработная плата рабочего, руб.

Анализ выражения (1) показывает, что его вариативность заключена в числителе дроби, сумма величин которого определяет расход производственных ресурсов и налоги, отнесенные к заработной плате рабочих, (по сути, себестоимость технологического процесса).

*Ритмичность производства* – его способность выпускать продукцию или оказывать услуги через равные промежутки времени. Это свойство обусловлено его четким планированием, образцовой трудовой и технологической дисциплиной, работой оборудования без отказов и остановок (за счет того, что оно прошло осмотр с планово-предупредительным ремонтом по графику), расстановкой рабочих по рабочим местам и своевременным обеспечением рабочих мест необходимыми комплектующими изделиями и производственными ресурсами. Это исключает потери рабочего времени и обеспечивает полное использование производственной мощности предприятия.

*Ограничения* – показатели, значения которых должны быть обеспечены неукоснительно. К ним относят геометрические параметры (расположение, форма, размеры и шероховатость поверхностей деталей) и физико-химические характеристики, определяющих работоспособность материала трущихся поверхностей (химический и фазовый состав, дислокационная структура), отсутствие усталостных трещин на поверхностях деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Указанные параметры отвечают за износостойкость, усталостную прочность и жесткость элементов деталей и обеспечивают нормативную долговечность этих деталей.

Составляющие технических решений (в виде обоснования используемых материалов, технологических операций, оборудования, приспособлений и инструментов) должны быть пропущены сквозь «сито ограничений», т.е. выделены для целей синтеза только те из них, которые обеспечивают ограничения по качеству и производительности. В процесс включают операции, которые обеспечивают установленные требования к геометрическим параметрам изделий и свойствам их материала, а виды и количество применяемого оборудования – заданную производительность процесса.

*Параметры оптимизации* – показатели, влияющие на эффективность производства, значения которых стремятся уменьшать. Такими показателями служат расходы различных производственных ресурсов. Остаточная долговечность ремонтного фонда деталей – тоже производственный ресурс, который сегодня, к сожалению, не учитывается.

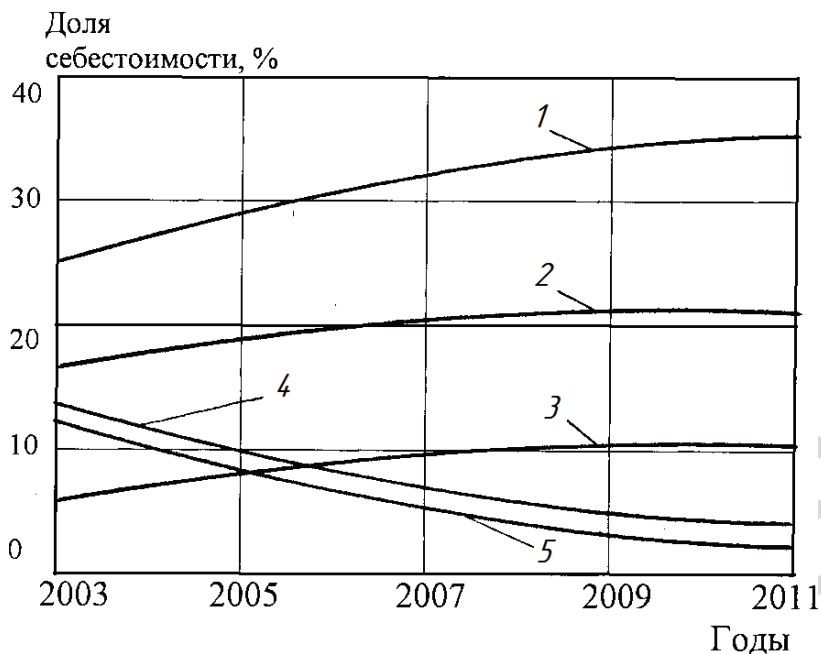


Рис. 1. Динамика изменения структуры себестоимости ремонта автотракторных двигателей: 1 – запасные части; 2 – сырье и материалы; 3 – заработная плата (основная и дополнительная с отчислениями в фонд социальной защиты); 4 – амортизационные отчисления; 5 – топливо и энергия

**Составляющие себестоимости.** Наибольшая часть себестоимости ремонта агрегатов приходится на материалы и запасные части, а меньшая часть – на энергию и заработную плату (рис. 1). Доли себестоимости [1] в процентах следующие (%): запасные части (45,7–48,9), полуфабрикаты и материалы (15,5–16,0), тепловая и электрическая энергия (12,8–14,2), составляющая до 60 % общепроизводственных расходов, заработная плата (6,5–8,3). В течение исследуемого периода и до настоящего времени наблюдался рост долей себестоимости ремонтируемой продукции, относящихся к полуфабрикатам и материалам, запасным частям и заработной плате. За это время уменьшались доли себестоимости, приходящиеся на амортизационные отчисления, топливо и энергию. Наиболее интенсивно росли затраты на запасные части. Рост заработной платы был незначительным. Существенно снизились затраты на энергию и амортизационные отчисления. Увеличение затрат на запасные части связано с повышением их цены и уменьшением объемов восстановления деталей. Уменьшение доли себестоимости на топливо и энергию, несмотря на увеличение удельной стоимости ресурсов, объясняется уменьшением объема очистки агрегатов и деталей и нанесения восстановительных покрытий. Уменьшение амортизационных отчислений – результат уменьшения ввода в эксплуатацию нового оборудования, хотя действующее оборудование на 80–90 % используется за пределами амортизационных сроков службы.

## Детали ремонтного фонда (исходные заготовки)



Рис. 2. Схема технологического маршрута восстановления деталей

**Система организационных решений** подготавливалась с помощью имитационного моделирования [2] в виде виртуального дискретного описания

процесса восстановления деталей во времени. Это позволило с большой адекватностью описать процесс при невозможности проведения соответствующего натурального эксперимента. Схема технологического маршрута восстановления деталей в общем виде представлена на рисунке 2. Из него с использованием имитационного моделирования и элементов оптимизации может быть выбран технологический процесс, подходящий для конкретных производственных условий.

Моделирование позволило впервые рассмотреть все следующие друг за другом в течение всего жизненного цикла детали процессы ее восстановления при использовании в одном агрегате (необезличенный метод) или в разных агрегатах (обезличенный метод). Это обеспечивает более полное использование остаточной долговечности деталей как одного из основных видов ресурсов ремонтного производства.

Оптимизация технических решений на графах (рис. 3) заключалась в том [3], что каково бы ни было состояние производственной системы в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирают таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к минимальному расходу ресурсов (в стоимостном выражении) на всех оставшихся шагах, включая данный:

$$P_{c_{i+1}} = \min (\text{по всем вершинам графа}) [P_{c_i} + P_{c_{(i+1)-1}}], \quad (3)$$

где  $i$  – операции процесса;  $P_{c_{i+1}}$  – расход ресурсов при выполнении  $i+1$  операций;  $P_{c_i}$  – расход ресурсов при выполнении  $i$  операций при условии, что соответствующая часть процесса выбрана оптимальным образом;  $P_{c_{(i+1)-1}}$  – расход ресурсов при выполнении  $(i+1)$ -ой операции процесса.



Рис. 3. Граф вариантов технологического процесса восстановления детали: 1, 2, ...,  $k$  – типы операций;  $m_1, m_2, \dots, m_k$  – количество видов операций каждого типа

Шаг варьирования составлял переход во времени к очередной технологической операции.

**Результаты и обсуждение.** Моделирование организации процессов восстановления деталей и их оптимизация послужили обоснованием следующих технических решений.

Ряд деталей (валы, гильзы, поршни и др.), входящих в трущиеся соединения, имеют на момент восстановления небольшие износы (несколько сотых

миллиметра). На их шейки, отверстия и плоскостные элементы предусмотрены ремонтные размеры, которые достигаются обработкой резанием. В этом случае ремонтные заготовки получаются из исходных заготовок без нанесения или силового перемещения материала между элементами заготовки. С точки зрения экономичности процесса восстановления должны быть использованы все предусмотренные ремонтные размеры заготовок за счет обеспечения производства сопрягаемыми деталями всех ремонтных размеров (например, вкладышами коленчатого вала, поршнями и др.), правки длинных деталей типа валов перед обработкой, равномерного снятия припуска при обработке резанием за счет оптимального базирования, исключения субъективного фактора.

В ряде публикаций высказывается мнение о нецелесообразности и даже вреде правки деталей типа «вал». Каково бы ни было отношение к ней (в том числе и негативное), правка применялась и применяется как в ремонтном производстве, так и на машиностроительных предприятиях с использованием импортного оборудования. Одной лишь обработкой резанием не удастся достичь нормативного расположения поверхностей по причине наличия внутренних остаточных напряжений в материале детали и неуправляемого их перераспределения после снятия слоев материала на операциях обработки резанием. Требуется лишь дополнять операцию правки «шадящими» мероприятиями, например, термическим фиксированием ее результатов или всесторонним сжатием деформируемых элементов.

Число капитальных ремонтов агрегатов вместе с восстановлением базовых и основных деталей необходимо ограничить двумя за весь их срок службы. Вероятность обработки коренных шеек коленчатого вала под очередной ремонтный размер (без пропуска ремонтного размера) близка к единице. Значение одноименного показателя при обработке шатунных шеек составляет 0,21 [4]. Если увеличить ремонтный интервал шеек с 0,25 до 0,50 мм, то это позволит уверенно вести обработку шеек под очередной ремонтный размер. Количество ремонтных размеров шеек валов избыточно, их максимальное число вполне можно ограничить двумя, что снизит нагрузку на моторные заводы по изготовлению вкладышей коленчатого вала большой номенклатуры.

Уменьшение длины вала при каждой наплавке (рис. 4) с сопутствующим уменьшением предела его выносливости обуславливает ограничение числа наплавки до одной за весь жизненный цикл детали. Целесообразность мероприятия коррелируется с требованием использования всех предусмотренных ремонтных размеров.

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 и последующими закалкой и отпуском. При этом состав исходного материала покрытия согласуют с составом упрочняющей фазы, которая образуется позже. Физико-техническая обработка в виде ла-

зерной и электронно-лучевой обработки способствует формированию такой фазы.

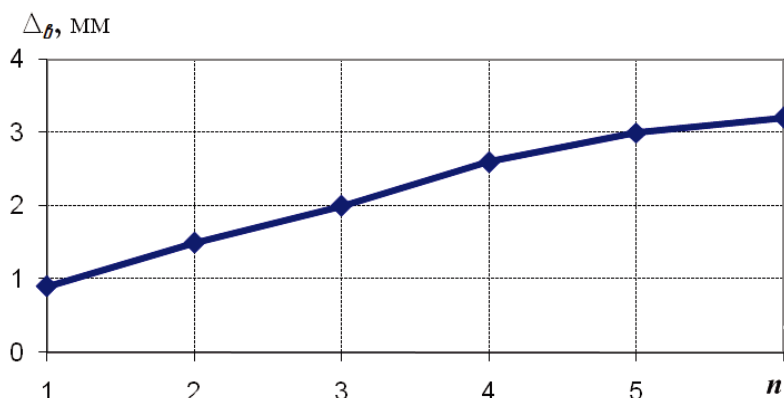


Рис. 4. Среднее уменьшение длины коленчатых валов  $\Delta_s$  от числа наплавки  $n$

Объемное пластическое деформирование материала в виде термопластических раздачи или обжатия как способа получения ремонтных заготовок с припусками под обработку обеспечивает большую эффективность восстановления наружных и внутренних поверхностей деталей типа «тела вращения с отверстиями». При восстановлении шеек валов оно неприменимо. Процесс протекает без расхода дорогих дополнительных материалов, поэтому он эффективен. Широкое его применение в производстве требует исследований стабильности восстанавливаемых размеров при эксплуатации детали и влияния режимов процесса на строение поверхностного слоя и его износостойкость.

Поверхностное пластическое деформирование упрочняет материал наплавленных покрытий, поэтому не следует стремиться к высокой исходной поверхностной твердости их материала. Нормативные значения износостойкости и усталостной прочности восстановленных шеек валов обеспечивает ферритно-мартенситная структура покрытия с мелкодисперсными включениями карбидов или нитридов металлов и преимущественной ориентацией структурных составляющих в радиальном направлении под влиянием отвода тепла. В последующем деформирующее усилие ориентирует оси волокон тангенциально вдоль поверхности трения в направлении относительного скольжения, что препятствует росту усталостных радиально ориентированных трещин и обеспечивает интенсивность изнашивания на 10–15 % меньше по сравнению с параметром новых валов.

Малая толщина покрытий, наносимых из дорогих высокотвердых износостойких материалов наплавкой, напылением и электролизом, с припуском на обработку меньшим, чем припуск на обработку заготовок машиностроения, требует применения абразивной обработки (для отверстий – хонингования).

Уточнено распределение задач между различными частями обработки резанием ремонтных заготовок. При черновой механической обработке снимают основную часть операционного припуска. Если условно разделить ее на две части, то вначале обеспечивают нужное взаимное расположение поверхностей детали, а затем – форму ее геометрических элементов.



Параметры расположения поверхностей детали обеспечивают ее базированием (ориентированием относительно движения подачи), при этом вначале добиваются точности углового расположения поверхностей, а затем – точности расстояний. Это объясняется тем, что точность относительного поворота поверхностей обеспечивают методами взаимозаменяемости, что практически исключает возможность последующей коррекции, а точность расстояний – методами регулирования, при котором возможна компенсация отклонений. Взаимное расположение поверхностей заготовки может быть восстановлено и пластическим деформированием ее материала путем правки. Форму геометрических элементов обеспечивают ориентированием заготовки относительно направления главного движения, прямолинейностью направляющих станка и его жесткостью.

В результате чистовой обработки резанием достигают заданную точность размеров и шероховатость поверхностей, близкую к нормативной. Чистовая обработка резанием шеек валов в большинстве случаев абразивная обработка, а для отверстий – тонкое растачивание и хонингование. На отделочных операциях (полирования, суперфиниширования, хонингования) снимается разупрочненный в результате предыдущей обработки резанием слой и обеспечивается требуемая шероховатости поверхностей.

**Выводы.** Восстановление деталей как основной источник эффективности ремонта машин должно обеспечить достижение нормативной послеремонтной наработки при минимальном расходе производственных ресурсов на свою организацию. Для этого должны быть использованы без пропусков все предусмотренные технической документацией ремонтные размеры заготовок. Целесообразно увеличить ремонтные интервалы шеек валов и отверстий гильз в два раза с целью выполнения размеров следующего ремонтного размера. Числа наплавки шеек валов следует ограничить до одной за весь жизненный цикл детали. При выполнении такой наплавки, когда кардинально изменяется состав материала поверхности, важно подобрать такой состав исходного материала, чтобы можно было насытить поверхностный слой легирующими элементами (углеродом, азотом, бором или их сочетанием) для повышения износостойкости восстановленных поверхностей. Необходимо расширить область применения объемного пластического деформирования материала в виде термопластических раздачи или обжатия как способа получения ремонтной заготовки с припуском под обработку. Уточнено распределение задач между различными частями обработки резанием ремонтных заготовок с акцентом на обеспечение нормативных значений параметров расположения поверхностей и осей.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Иванов В.П. Основные направления ресурсосбережения в ремонтном производстве / В.П. Иванов, А.П. Кастрюк // Труды ГОСНИТИ: Техническое обслуживание, ремонт. – М.: ГОСНИТИ, 2013. – Том 112 – Ч. 2. – С. 15–18.
2. Селиванов, С.Г. Имитационное моделирование процессов постановки новой продукции на производство / С.Г. Селиванов, М.К. Аристархова, К.С. Селиванов. – Уфа, УГАТУ, 1998. – 60 с.

3. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман; пер. с англ. – М.: Иностранная литература, 1960. – 400 с.
4. Иванов, В.П. Обоснование доли годных деталей ремонтного фонда, годных для дальнейшего применения без ремонтных воздействий / В.П. Иванов, А.П. Кастрюк // Агропанорама, 2013. – № 5. – С. 38–44.

#### **REFERENCES:**

1. Ivanov, V. N. Main areas of resource saving in repair by the production / V. N. Ivanov, A. P. Castryck // Proceedings of the technological research Institute: technical maintenance, repair. - M.: Technological research Institute, 2013. - Volume 112 - 2 Hours. - p. 15-18.
2. Selivanov, S., simulation of processes of post-setting new products / S., Selivanov, M. K. Aristar-Hove, K. S. Selivanov. - Ufa, UGATU, 1998. - 60 P.
3. Bellman, R. Dynamic programming / P. Bellman; Per. s angl. - M.: Foreign literature, 1960. - 400 P.
4. Ivanov, V. N. Rationale the proportion of good parts repair background-Yes suitable for further use without repair actions / V. N. Ivanov, A. P. Castryck // Agropanorama, 2013. No. 5. - p. 38-44.

### **УПРАВЛЕНИЕ ПОРТФЕЛЕМ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ ДЕВЕЛОПЕРСКОЙ КОМПАНИИ**

#### **DEVELOPMENT COMPANY CONSTRUCTIONAL INVESTMENT PROJECTS PORTFOLIO MANAGEMENT**

**БАКРУНОВ Юрий Октавьевич,**

доктор экономических наук,  
Российская академия народного хозяйства  
и государственной службы при Президенте Российской Федерации,  
профессор кафедры инвестиционно-строительного бизнеса,  
г. Москва.

**BAKRUNOV Yury Oktavyevich,**

Doctor of Economics,  
Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,  
Professor of Constructional investment business Faculty,  
Moscow

**E-mail:** ybakrunov@rambler.ru

#### **Научная специальность:**

08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством

#### **Scientific speciality:**

08.00.05 - Economics and national Economy management