

УДК 621.083

EDN [APHBDO](#)



<https://www.doi.org/10.47813/mip.5.2023.9.10-27>

## Современные методики выбора рациональных способов восстановления деталей при ремонте техники

О.А. Леонов, Г.А. Нестеркин, Г.Н. Темасова\*

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени  
К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

\*E-mail: [temasova@rgau-msha.ru](mailto:temasova@rgau-msha.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные методы выбора способов восстановления деталей при ремонте машин. Анализируется ситуация на рынке и выявляется, что существует тенденция развития технико-экономической оптимизации в выборе рационального метода восстановления. Одним из важных факторов при выборе метода является ресурс элемента детали. Теоретический фактор ресурса рассматривается в связи с практическим использованием коэффициентов относительной износостойкости. Работоспособность соединения зависит от ресурса и износа сборочного узла. В процессе эксплуатации соединения подвергаются воздействию различные факторы, которые могут влиять на его состояние. Поэтому рекомендуется восстанавливать детали определенными методами в зависимости от экономических критериев. Одним из подходов к выбору метода восстановления является анализ технических и экономических показателей. Необходимо учитывать стоимость восстановления, время, требуемое для проведения работ, а также качество и надежность восстановленной детали. В некоторых случаях может быть целесообразно применение методов, направленных на улучшение характеристик детали, чтобы повысить ее работоспособность и продлить срок службы. Кроме того, важно учитывать особенности конкретного соединения и его условия эксплуатации.

**Ключевые слова:** ремонт, восстановление, методика выбора способа восстановления.

## Modern methods of choosing rational ways to restore parts in the repair of machinery

O.A. Leonov, G.A. Nesterkin, G.N. Temasova\*

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49,  
Timiryazevskaya St, Moscow, 127434, Russia

\*E-mail: [temasova@rgau-msha.ru](mailto:temasova@rgau-msha.ru)

**Abstract.** The article discusses the main methods of choosing ways to restore parts during the repair of machines. The situation on the market is analyzed and it is revealed that there is a tendency for the development of technical and economic optimization in the choice of a rational recovery method. One of the important factors when choosing a method is the resource of the part element. The theoretical resource factor is considered in connection with the practical use of the coefficients of relative wear resistance. The operability of the connection depends on the resource and wear of the assembly unit. During the operation of the connection, various factors are exposed that may affect its condition. Therefore, it is recommended to restore parts by certain methods, depending on economic criteria. One of the approaches to choosing a recovery method is the analysis of technical and economic indicators. It is necessary to take into account the cost of restoration, the time required for the work, as well as the quality and reliability of the restored part. In some cases, it may be advisable to use methods aimed at improving the characteristics of the part in order to increase its operability and extend its service life. In addition, it is important to take into account the specifics of a particular connection and its operating conditions.

**Keywords:** repair, recovery, method of choosing a recovery method.

## 1. Введение

В настоящее время соотношение «цена – качество» применяемой техники в сельском хозяйстве играет важнейшую роль при выборе конкретной машины. Отечественная техника достаточно дешева, но ее качество ниже зарубежных аналогов, и достаточно большая часть средств уходит на ее содержание, в том числе на техническое обслуживание и ремонт.

В настоящее время большая часть машинно-тракторного парка России, а именно 85%, находится за пределами срока амортизации. Это создает проблемы в поддержании их работоспособности. Однако, с развитием новых технологий и технических средств, становится возможным повышение качества ремонта такой техники.

Целью разработки новых методик является обеспечение повышения ресурса отремонтированных агрегатов до уровня 100% новых изделий, при этом стоимость ремонта должна составлять 50-70% от стоимости нового агрегата.

Таким образом, важно разрабатывать технологии, которые позволят продлить срок службы отремонтированной техники и снизить затраты на ее восстановление. Из отчетов ЦМИС Минсельхоза России за последние годы видно, что в 90% случаев сельскохозяйственная техника изготавливается с нарушениями технических условий. Это означает, что многие детали и компоненты машин не соответствуют установленным стандартам и требуют дополнительной работы при ремонте. Несоблюдение допусков превышает 15-20%, что может негативно сказываться на работоспособности и долговечности отремонтированной техники.

Важным аспектом ремонта сельскохозяйственной техники является ее ресурс. Отремонтированная техника обычно имеет ресурс, составляющий 40-80% от ресурса новой техники. Это связано с тем, что в процессе эксплуатации агрегаты и сборочные единицы каждой машины подвергаются износу и требуют ремонта. Повышение ресурса отремонтированной техники становится важной задачей, чтобы увеличить ее эффективность и снизить затраты на ее обслуживание.

Для достижения высокой надежности отремонтированной техники, важно использовать технологические процессы, которые соответствуют уровню основного производства или даже превышают его по двум главным параметрам. Во-первых, необходимо обеспечить долговечность отремонтированных деталей путем повышения их износостойкости. Это может быть достигнуто с помощью применения новых материалов или технологий обработки поверхностей. Во-вторых, важно использовать

научно обоснованные нормы точности изделий при ремонте. Это поможет улучшить соответствие отремонтированных деталей и компонентов стандартам и требованиям, что в свою очередь повысит надежность всей техники.

Таким образом, разработка современных методик выбора рациональных способов восстановления деталей при ремонте сельскохозяйственной техники является важным направлением работы. Это позволит улучшить состояние машинно-тракторного парка России, продлить срок их службы и снизить затраты на обслуживание, что в конечном итоге повлияет на отсутствие простоев техники при уборке и транспортировке урожая, а также на снижение себестоимости.

Исследователи часто изучают способы восстановления только одной детали, образующей соединение, при этом посадки, допуски и отклонения назначаются такие же, как на новые детали. Методики выбора наилучших способов восстановления элементов, образующих соединения, с учетом изменения допуска посадки, и возможных изменений допусков и отклонений в настоящее время не существует.

При техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники применяется большое число способов и средств восстановления изношенных деталей [1, 2, 3, 4]. На выбор рационального способа влияют характеристики материала детали, вид поверхности, износ, стоимость восстановления и обработки и другие факторы. Немаловажное значение будет иметь и объем восстановления изделий в месяц и год.

## **2. Постановка задачи (Цель исследования)**

Исследователи активно занимаются изучением методов восстановления отдельных элементов соединений сельскохозяйственной техники. Однако, часто возникает необходимость не только в восстановлении самой детали, но и в учете изменений допусков и отклонений. В настоящее время отсутствуют четкие методики выбора наиболее эффективных способов восстановления соединительных элементов с учетом изменения допусков посадки [2].

При техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники применяется множество различных способов и средств для восстановления изношенных деталей. Однако, при выборе оптимального метода необходимо учитывать несколько факторов. В первую очередь, это характеристики материала самой детали, такие как прочность, твердость и стойкость к износу. Также важным является вид поверхности, на которой будет происходить восстановление, поскольку различные материалы и

поверхности требуют специфических подходов. Оценка степени износа также играет важную роль при выборе способа восстановления. В зависимости от степени повреждения можно применять различные методы, начиная от простого полирования и шлифовки до более сложных процессов, таких как сварка или нанесение защитных покрытий.

Кроме того, стоимость восстановления и обработки также является значимым фактором при выборе оптимального способа. Восстановление деталей как основной источник эффективности ремонта машин должно обеспечить достижение нормативной послеремонтной наработки при минимальном расходе производственных ресурсов на свою организацию [5].

Важно отметить, что сельскохозяйственная техника работает в условиях повышенной нагрузки и агрессивной среды. Поэтому, при выборе способа восстановления, необходимо учитывать возможность улучшения характеристик детали, чтобы обеспечить ее долговечность и надежность в эксплуатации. Например, использование специальных покрытий или модифицированных материалов может значительно увеличить срок службы восстановленной детали. Таким образом, выбор рационального способа восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники является сложной задачей, требующей учета множества факторов. Исследования в этой области позволят разработать более эффективные методики выбора и оптимизации процесса восстановления, что приведет к повышению эффективности и надежности сельскохозяйственной техники.

### **3. Методы и материалы исследования**

В 1970-х годах В.А. Шадричевым была разработана методика выбора способов восстановления деталей, основанная на трех критериях: технологическом, долговечности и экономической целесообразности [1, 2, 3, 4].

Первый критерий - технологический - включает в себя подбор возможных способов восстановления и обработки деталей. Для различных типовых деталей существует множество технологически приемлемых способов восстановления, которые отличаются по надежности и стоимости. Был создан банк данных [2], содержащий информацию об износостойкости деталей при использовании различных способов восстановления и обработки.

Второй критерий - долговечность - связан с обеспечением определенного ресурса деталей. Он характеризуется коэффициентом долговечности, который позволяет оценить, насколько долго деталь будет функционировать после восстановления. Это важный фактор при принятии решения о ремонте деталей.

И наконец, третий критерий - экономическая целесообразность - включает в себя анализ условий работы детали и ее износа, оценку материала восстанавливаемых деталей, проведение стендовых испытаний восстановленных поверхностей и оценку выбранных способов в производственных условиях.

Для принятия окончательного решения по восстановлению деталей необходимо провести анализ организационных и технологических вопросов в их комплексе [2]. При обосновании выбора организационных форм восстановления деталей следует учитывать ряд факторов. Одним из важных аспектов является наличие ремонтного фонда – насколько доступны и доступны ли ресурсы для проведения ремонтных работ. Также необходимо учесть номенклатуру восстанавливаемых деталей и их количество, а также технологическую однородность и кратность ресурса каждой детали.

Следующим важным фактором является наличие существующей сети ремонтных предприятий и расстояние до пункта восстановления. В зависимости от удаленности, можно определить, какой вид транспорта будет использоваться для доставки деталей, а также какая будет загрузка оборудования.

Все эти факторы могут существенно влиять на выбор оптимального способа восстановления деталей.

Технологический аспект также играет важную роль при выборе способа восстановления деталей. Предварительный отбор возможных вариантов зависит от различных характеристик самих деталей. Например, материал и термообработка деталей могут определить, какие методы восстановления могут быть применены. Конфигурация, размер и масса детали также влияют на выбор подходящего способа восстановления.

Важно также учитывать наличие баз для восстановления и обработки деталей, а также шероховатость поверхности. Необходимо также анализировать виды неисправностей и износов, а также возможные сочетания неисправностей на одной детали. Это поможет определить, какие методы восстановления могут быть эффективными.

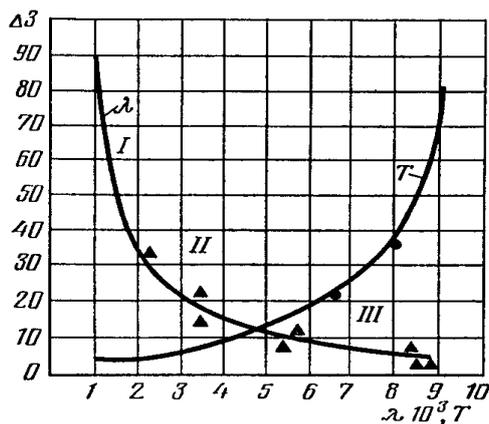
Кроме того, важно учитывать кратность восстановления и наличие запасных деталей для ремонта. В итоге, для принятия окончательного решения по восстановлению деталей необходимо учесть все организационные и технологические аспекты. Анализ факторов, таких как наличие ремонтного фонда, номенклатуры деталей, их количество, существующая сеть ремонтных предприятий, расстояние до пункта восстановления, а также технологические характеристики деталей, позволит выбрать оптимальный способ восстановления и обеспечить эффективность процесса.

В дополнение к вышесказанному, П.П. Лезин отмечает, что при выборе способа восстановления деталей также важно учитывать их экологическую совместимость. Некоторые методы восстановления могут иметь негативное влияние на окружающую среду, поэтому необходимо выбирать такие способы, которые минимально наносят вред окружающей среде. Таким образом, при выборе способов восстановления необходимо учитывать организационные и технологические аспекты, а также экологическую совместимость.

Н.Ф. Тельнов, изучив разные методики, предложил решение задачи выбора оптимального способа восстановления двигателя. Он разработал два подхода: один для конкретного ремонтного предприятия, а другой – для соответствующего региона. При выборе технологии для конкретного предприятия необходимо учитывать его организационно-технологические условия. А при выборе для региона следует учитывать специфические особенности, чтобы обеспечить бесперебойную работу во время полевых операций.

В.И. Черноиванов в своей работе высказывает критику в отношении существующих методов технико-экономической оценки и предлагает зависимости надежности двигателя (обозначаемой как  $\lambda$ ) и ресурса (обозначаемого как  $T$ ) от приращения затрат. На рисунке 1 показаны три зоны, где применяются эти зависимости. В зоне I критерий дает слишком оптимистичные результаты для методов, которые обеспечивают низкие затраты при низком коэффициенте долговечности. Критерий обладает наибольшей точностью в зоне II. В зоне III стоимость восстановления может превышать стоимость новой детали. Автор в [7] рекомендует включать нормативный коэффициент восстановления ресурса детали в технико-экономические расчеты. Этот коэффициент можно определить, используя не только отношение ресурсов, но и данные об износостойкости детали. Он также предлагает использовать комплексный показатель

восстановления, который учитывает, как ресурс детали, так и общие затраты на восстановление и эксплуатацию. В работе также применяются квалиметрические подходы для оценки качества восстановления с помощью интегральных и комплексных показателей.



**Рисунок 1.** Влияние повышения надежности двигателя  $\lambda(t)$  на затраты по его производству и эксплуатации.

Кроме того, стоит отметить, что выбор рационального способа восстановления двигателя является важным шагом для обеспечения его долговечности и эффективной работы. При неправильном выборе метода восстановления можно столкнуться с проблемами, такими как недостаточная надежность, повышенный износ и высокие затраты на обслуживание. Поэтому, следует учитывать не только технические аспекты, но и экономическую составляющую при принятии решения. Также стоит отметить, что в настоящее время существуют новые технологии и методы восстановления двигателей, которые могут быть более эффективными и экономичными. Некоторые из них включают применение новых материалов с повышенной износостойкостью, использование передовых методов диагностики и контроля состояния двигателя, а также применение автоматизированных систем управления процессом восстановления. Эти новые разработки могут значительно улучшить результаты восстановления и продлить срок службы двигателей. Таким образом, выбор рационального способа восстановления двигателя является сложной задачей, требующей анализа различных факторов и учета специфических условий предприятия или региона. Новые методы и технологии

восстановления помогают повысить надежность и продлить срок службы двигателей, что в свою очередь сказывается на эффективности и экономической выгоды работы.

На кафедре ремонта и надежности машин МГАУ им.В.П. Горячкина была создана методика для определения наиболее рационального способа восстановления поврежденных деталей [6]. Выбор этого способа зависит от конструктивно-технологических особенностей рабочей поверхности (ее формы, размера, материала и температуры обработки) и условий эксплуатации (нагрузки, трения, шероховатости), а также стоимости восстановления в случае повреждения. Для учета всех этих факторов рекомендуется использовать три критерия: технологический, долговечности и технико-экономический (отношение себестоимости восстановления к коэффициенту долговечности). Критерии применимости включают в себя особенности поверхностей, подлежащих восстановлению, а также технологическую возможность восстановления деталей при их восстановлении.

В одной из публикаций [3] рассматриваются десять наиболее распространенных методов восстановления, которые могут быть использованы. Но выбор наиболее подходящего метода восстановления поврежденной детали зависит от множества факторов, включая конструктивные особенности, условия эксплуатации, стоимость восстановления и технологические возможности. Использование различных методов позволяет эффективно восстановить поврежденные детали и продлить их срок службы.

Однако выбор конкретного метода зависит от технологических характеристик и требуемых критериев восстановления поверхностей деталей. Для определения возможных способов восстановления в зависимости от технологического критерия, необходимо учитывать характеристики каждого метода.

Однако, чтобы сократить число вариантов, применяется критерий долговечности. Этот критерий позволяет выбрать только те методы, которые обеспечивают достаточный межремонтный ресурс восстановленной поверхности детали.

Для выбора оптимального метода восстановления на основе критерия долговечности, обычно используется коэффициент долговечности. Этот коэффициент помогает оценить, насколько долго восстановленная поверхность сможет прослужить до следующего ремонта, и на его основе делается выбор. Однако, помимо указанных факторов, при выборе метода восстановления также могут учитываться другие критерии,

такие как стоимость процесса, доступность необходимого оборудования и квалификация персонала.

Все эти факторы помогают принять более обоснованное решение при выборе оптимального метода восстановления поверхности детали. Важно отметить, что различные поверхности деталей могут требовать разных методов восстановления, в зависимости от их особенностей и условий эксплуатации. Поэтому, при выборе метода восстановления, необходимо учитывать все соответствующие факторы и требования, чтобы обеспечить наилучший результат и долговечность восстановленных поверхностей деталей.

В общем случае коэффициент долговечности является функцией трех переменных:

$$K_d = f(K_{и}, K_{в}, K_{сц}), \quad (1)$$

где  $K_{и}$  – коэффициент износостойкости;  $K_{в}$  – коэффициент выносливости;  $K_{сц}$  – коэффициент сцепляемости.

Численные значения коэффициентов-аргументов определяют на основании стендовых и эксплуатационных испытаний новых и восстановленных деталей. Коэффициент долговечности численно принимают равным значению того коэффициента, который имеет наименьшее значение.

Так, при выборе способа наплавки применительно к деталям, не испытывающим в процессе работы значительных динамических и знакопеременных нагрузок, численные значения коэффициента долговечности определяются только численным значением коэффициента износостойкости, а для деталей, работающих в условиях динамических нагрузок, решающим признаком может оказаться коэффициент выносливости. Для деталей, восстановленных методами электролитического осаждения металлов и методами газотермического напыления (ДМ, ГН и ПН) и работающих также в условиях динамических нагрузок, решающим признаком может оказаться коэффициент сцепляемости.

Примерные значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости, определенные по результатам исследований для наиболее распространенных методов восстановления, приведены в [1, 2, 3, 4].

Из числа способов, отобранных по технологическому критерию, к дальнейшему анализу принимают те, которые обеспечивают коэффициент долговечности восстановленных поверхностей не менее 0,8.

Это обусловлено тем, что ресурс капитально отремонтированной машины или агрегата не должен быть менее 80 % ресурса новой машины (агрегата), т. е. ресурс восстановленной детали в капитально отремонтированном агрегате тем более не должен быть меньше 80% ресурса новой детали.

Если установлено, что требуемому значению  $K_d$  для данной поверхности детали удовлетворяют два или несколько способов восстановления, оптимальный из них выбирают по технико-экономическому критерию [3]:

$$K_3 = \frac{C_{vij}}{K_d} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $K_3$  – технико-экономический критерий;  $C_{vij}$  – затраты на восстановление  $i$ -й поверхности детали  $j$ -м способом [3].

$$C_{vij} = (qC_{zij} + C_{cij})T_{oij} \quad (3)$$

где  $q$  – коэффициент, учитывающий начисления на заработную плату;  $C_{zij}$  – часовая заработная плата производственных рабочих при восстановлении  $i$ -й поверхности детали  $j$ -м способом;  $C_{cij}$  – стоимость машино-часа работы оборудования при восстановлении  $i$ -й поверхности  $j$ -м способом;  $T_{oij}$  – время, затрачиваемое на восстановление  $i$ -й поверхности детали  $j$ -м способом.

$$C_{cij} = C_{mj} + C_{эj} + C_{pj} + \frac{\Pi_j(a+E)n_i}{T_{oij}NK_i}, \quad (4)$$

где  $C_{mj}$  – расходы на материалы за час работы при  $j$ -м способе восстановления;  $C_{эj}$  – энергетические расходы за час работы (электроэнергия, сжатый воздух, газ и др.) при  $j$ -м способе восстановления;  $C_{pj}$  – затраты на обслуживание и ремонт оборудования за 1 ч работы при  $j$ -м способе восстановления;  $\Pi_j$  – стоимость оборудования при  $j$ -м способе восстановления;  $a$  – норма амортизационных отчислений;  $E$  – нормативный коэффициент эффективности;  $n_j$  – требуемое число единиц  $j$ -го оборудования для устранения  $i$ -го дефекта у  $N$  деталей;  $N$  – годовое число деталей, подлежащих восстановлению (годовая программа);  $K_i$  – коэффициент повторяемости  $i$ -го дефекта.

При обосновании способа затраты на восстановление  $i$ -й поверхности  $j$ -м способом также можно определить по формуле [3]

$$C_{vij} = C_{yij}S_i, \quad (5)$$

где  $C_{yij}$  – удельная себестоимость восстановления  $i$ -й поверхности  $j$ -м способом;  $S_i$  – площадь восстанавливаемой поверхности.

Примерные значения удельной себестоимости восстановления поверхностей различными способами представлены в [3].

Обобщая вышеизложенное, можно отметить:

1) профессор В.А. Шадричев заложил в своих исследованиях теоретические основы выбора рационального способа восстановления, и в настоящее время идет развитие его идей, в том числе с использованием экономической оптимизации. Ресурс элемента детали при этом является теоретическим фактором, а практически используются коэффициенты относительной износостойкости, полученные по данным испытаний. Уже стало формироваться различие между понятиями «ресурс детали» и «ресурс элемента детали», а достичь одинаковой надежности всех элементов детали в большинстве случаев нереально. Нужно исследовать все элементы детали (определять экономическую целесообразность восстановления быстроизнашиваемых элементов, выявлять остаточные ресурсы элементов, где процесс старения протекает медленно) с целью прогнозирования безотказности по конкретному элементу, использовать возможность обеспечения кратности ресурсов элементов.

2) работоспособность сборочных единиц обеспечивается не отдельными деталями, а соединениями, износостойкость в которых и обеспечивает ресурс сборочной единицы. Процессы, протекающие в соединении, зависят не только от характеристик одного элемента детали, но и от множества других факторов, в том числе и от видов обработки отверстия и вала, их шероховатости поверхностей, отклонений формы и расположения, необходимости обеспечения точности сборки. Может быть, экономически целесообразно восстанавливать конкретными способами элементы детали с учетом образующегося соединения и обеспечения или ужесточения норм его точности. К сожалению, методики выбора рациональных способов восстановления элементов именно для условий обеспечения рациональной долговечности соединения (а не деталей) в настоящее время не существует.

#### 4. Полученные результаты

Существует множество методов восстановления деталей, которые могут обеспечивать износостойкость поверхностей соединений. Кроме того, оптимизация точности обработки элементов деталей также может повысить работоспособность

соединений. Однако, некоторые методы обработки могут увеличить стоимость работы по восстановлению элементов соединения, что негативно сказывается на технико-экономических показателях.

Как уже было упомянуто ранее, часто машины или агрегаты поступают в ремонт с частично изношенными элементами соединений. Запас материала отверстия и вала может быть использован не полностью, но размеры отверстия и вала уже не соответствуют технической документации. Оптимизация точности обработки является сложной задачей, и ее реализация требует применения технико-экономических критериев, чтобы рассчитать затраты на процесс восстановления соединений.

Грамотное нормирование точности обработки может существенно повысить износостойкость поверхностей деталей, однако выбор такого способа обработки, как полирование, заменив его шлифованием, может увеличить затраты на механическую обработку в 2 раза [1, 7, 8]. Следовательно, критерии выбора способов обработки валов и отверстий, образующих соединение, необходимо обосновывать рациональными механизмами экономического расчета и техническими критериями.

Затраты на механическую обработку ремонтируемых деталей составляют более 36 % от общих затрат и часто превышают затраты на наплавку и упрочнение [1, 7]. Но существуют способы восстановления элементов соединений, которые имеют высокие показатели износостойкости, что позволяет снизить точность обработки. Кроме того, увеличение поля допуска открывает возможность использовать менее точное технологическое оборудование и, следовательно, уменьшает стоимость ремонта элементов соединения [7, 8].

Таким образом, при выборе методов восстановления элементов деталей, важно учитывать факторы, такие как затраты, технико-экономические показатели, и возможность повышения работоспособности соединений. Кроме того, существует множество методов восстановления элементов соединений с высокой износостойкостью, которые могут помочь снизить затраты на механическую обработку и увеличить ресурс оборудования в целом.

Значение ресурса исследуемого соединения является важным показателем при проведении эксплуатации промышленного оборудования и сельскохозяйственной техники. Ресурс соединения определяется путем проведения различных тестов, и выявление этого значения позволяет планировать ремонтное обслуживание и замену

деталей соединения. Как правило, ресурс соединения должен быть равен ресурсу сборочной единицы или агрегата, в котором находится соединение. Если имеется необходимость заменить деталь соединения, то ее следует заменять полностью на новую, а не только отдельные элементы.

Как показали исследования в НПО «Ремдеталь», замена только одного элемента может привести к увеличению скорости изнашивания соединения в 1,3...1,9 раза [6, 10]. Более того, установка новой детали в соединение с бывшей в эксплуатации может уменьшить ресурс соединения от 10 до 60 %. Однако, проведение разборочно-сборочных работ нарушает сложившуюся геометрию элементов соединения и может привести к дополнительному износу и снижению эффективности эксплуатации оборудования. Поэтому, обеспечение увеличенной кратности ресурса соединения возможно в том случае, если это применяется для слабо изнашиваемых соединений. Такие решения можно использовать для экономии времени и средств, например, при первом ремонте не разбирать и не ремонтировать определенные сборочные единицы, а при втором – провести ремонт. Необходимо учитывать, что кратность ресурса может быть прогрессивной и рассматриваться как возможное увеличение ресурса агрегата и машины в целом. Но лучше всего обеспечить равный и немного завышенный ресурс всей гаммы ответственных соединений при ремонте. Тогда любой отказ одного из таких соединений будет свидетельствовать о подходе остальных соединений к предельному состоянию и необходимости очередного капитального ремонта или обновления техники. При этом будет обеспечена длительная надежность всего агрегата и отсутствие простоев техники в тяжелые периоды интенсивной эксплуатации, особенно в горячее время уборки урожая.

Выбор рациональных способов восстановления и обработки двух деталей, образующих соединение, является еще одним важным аспектом при определении ресурса соединения. Ресурс, стоимость восстановления и стоимость обработки элементов соединения взаимосвязаны. Данная проблема может быть решена путем учета в расчетах суммы затрат на восстановление и обработку двух деталей, образующих соединение, а также возможности обеспечения точности сборки как методами полной, так и неполной взаимозаменяемости.

Сумма затрат на восстановление  $Z_{вi}$  и последующую обработку  $Z_{oi}$  должна быть наименьшей при определенном ресурсе соединения  $t$ , который соответствует

планируемой вероятности безотказной работы (ВБР). Такой подход позволяет планировать ремонтное обслуживание и замены деталей соединения наиболее эффективно.

$$\begin{cases} \text{ВБР;} \\ t = \text{const;} \\ T_{Ki} = T_{di} + T_{Di} \Rightarrow Z_{oi} = Z_{doi} + Z_{Doi}; \\ Z_{vi} = Z_{dvi} + Z_{Dvi}; Z_i = Z_{oi} + Z_{vi}; \\ q_i = Z_i/t \Rightarrow \min. \end{cases} \quad (6)$$

где  $T_{ki}$  – конструктивный допуск посадки, для исследуемого  $i$ -го сочетания способов восстановления отверстия и вала;  $T_{dj}$  и  $T_{dj}$  – допуски на обработку вала и отверстия (элементов соединения);  $Z_{oj} = Z_{doi} + Z_{Doi}$  – затраты на обработку – складываются из затрат на обработку вала  $Z_{doi}$  и отверстия  $Z_{Doi}$ ;  $Z_{vi} = Z_{dvi} + Z_{Dvi}$  – затраты на восстановление  $i$ -м сочетанием способов – складываются из затрат на восстановление вала  $Z_{dvi}$  и отверстия  $Z_{Dvi}$ ;  $Z_i = Z_{oi} + Z_{vi}$  – затраты на ремонт соединения  $i$ -м сочетанием способов – складываются из затрат на восстановление и последующую обработку;  $q_i$  – функция качества, как отношение затрат к ресурсу.

Для определения взаимосвязи между стоимостью ремонта  $i$ -го соединения и конструктивным допуском посадки рассмотрим следующую модель (рис. 2). Зададимся постулатом, что для вала существует  $N$  способов восстановления, а для отверстия –  $M$ , каждый из которых характеризуется затратами на восстановление  $Z_{dvi}$  и  $Z_{Dvi}$ . При применении этих способов получается сочетание из  $S$  (от  $i = 1$  до  $S$ ) восстановленных соединений, каждому из которых присущи свои характеристики процесса старения  $U_i(t)$ ,  $\sigma_{ui}(t)$  и затраты на восстановление соединения составят:

$$Z_{vi} = Z_{dvi} + Z_{Dvi}. \quad (7)$$

Задавшись ВБР, ресурсом  $t$  и другими параметрами, входящими в формулы расчета, можно рассчитать конструктивный допуск посадки  $T_{kj}$ . Распределим полученную величину между допусками отверстия и вала

$$T_{Ki} = T_{di} + T_{Di}. \quad (8)$$

Определим качества точности, и рассчитаем затраты на обработку отверстия и вала

$$Z_{oi} = Z_{doi} + Z_{Doi}, \quad (9)$$

$$Z_{doi} = A_d + \frac{B_d}{T_{di}^{Z_d}}, \quad (10)$$

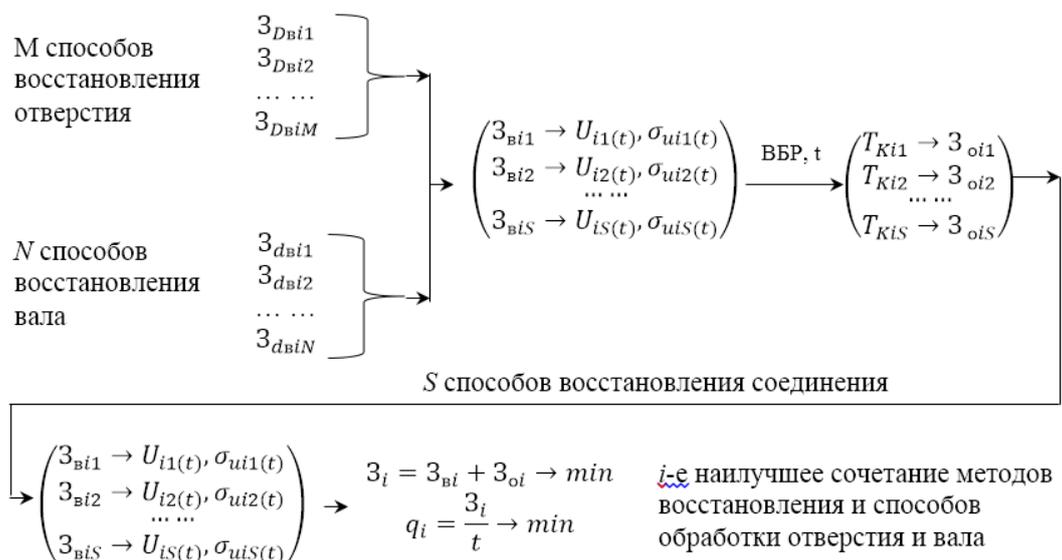
$$Z_{Doi} = A_D + \frac{B_D}{T_{Di}^{Z_D}}, \quad (11)$$

где  $A_d, B_d, A_D, B_D$  – коэффициенты аппроксимации функции затрат в зависимости от допуска вала или отверстия;  $Z_d; Z_D$  – показатели степени.

В результате таких расчетов получены все необходимые данные для определения наилучшего сочетания способов восстановления отверстия и вала. Наилучшим из  $S$  способов восстановления считается тот, где значение суммы

$$Z_i = Z_{vi} + Z_{oi} \rightarrow \min. \quad (12)$$

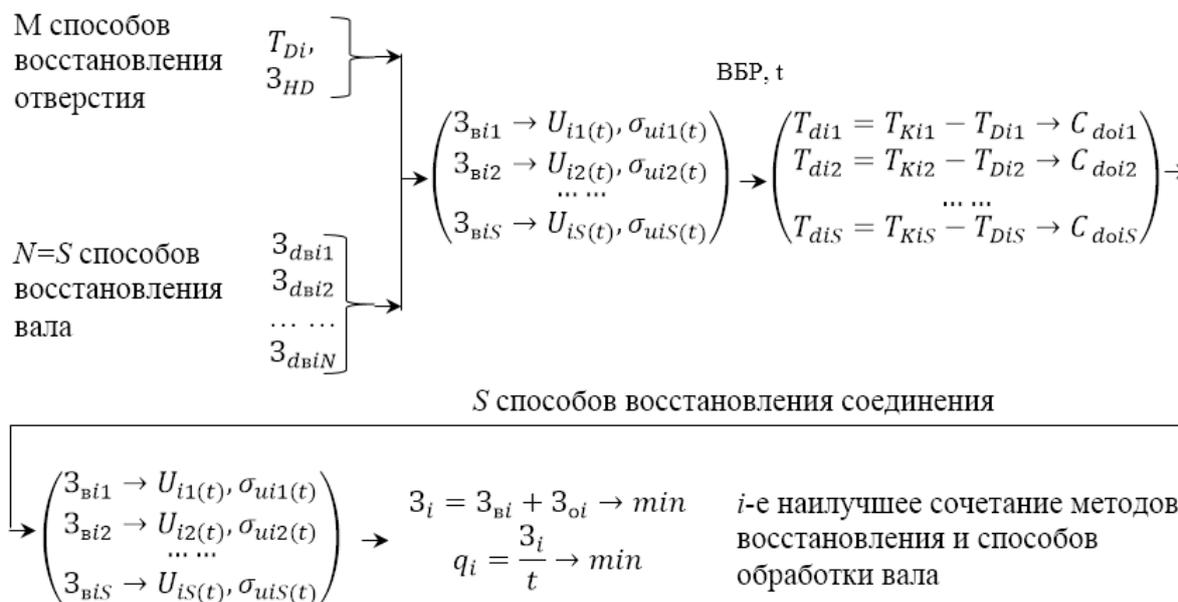
Таким образом, можно определить наилучший  $i$ -й способ ремонта соединения, образующийся из сочетания способов восстановления и обработки вала и отверстия, который считается наиболее рациональным с точки зрения минимизации затрат при условии обеспечения нормируемого ресурса безотказной работы.



**Рисунок 2.** Модель определения наилучших способов восстановления и обработки отверстия и вала, образующих единение.

При ремонте соединений часто возникает ситуация, когда нужно восстановить только одну деталь, как правило, это вал, а остальные компоненты заменяются новыми. Для определения наиболее разумных способов восстановления и обработки была разработана модель, изображенная на рисунке 3. В этой модели стоимость новой детали ( $Z_{HD}$ ) обычно считается постоянной и может быть не учтена в расчетах:

$$\begin{cases} \text{ВБР;} \\ t = \text{const;} \\ T_{di} = T_{Ki} - T_{Di} \Rightarrow Z_{oi} = Z_{doi}; \\ Z_{vi} = Z_{dvi}; Z_i = Z_{oi} + Z_{vi} + (Z_{HDi}); \\ q_i = Z_i/t \Rightarrow \min. \end{cases} \quad (13)$$



**Рисунок 3.** Модель определения наилучших способов восстановления и обработки вала.

Обе модели (рисунки 2 и 3) разработаны для обеспечения полной или неполной взаимозаменяемости сопрягаемых деталей при сборке. Когда конструктивный допуск в расчетах является очень малым, для некоторых методов ремонта может потребоваться переход к методам неполной взаимозаменяемости, таким как селективная сборка или пригонка. Это, в свою очередь, требует дополнительных затрат, которые должны быть учтены в модели при расчете общих затрат на ремонт. И здесь еще предстоит выбрать что лучше – переходить на более дорогой способ восстановления деталей, который повысит износостойкость соединения, либо повысить точность, уменьшить рассеяние конструктивных параметров (зазоров) и начать эксплуатацию с более широким запасом материалов на износ. Именно предложенные модели позволяют решить вышеназванные проблемы выбора способов восстановления и обработки.

## 5. Выводы

Был проведен анализ и предложено теоретическое решение для проблемы выбора наиболее рациональных методов восстановления соединений с учетом конструктивного допуска посадки и способов обработки элементов деталей. Это позволяет определить оптимальные способы восстановления как для случая, когда необходимо восстановить две детали соединения, так и для случая с одной деталью. Однако важно отметить, что данное исследование также раскрывает возможность определения наиболее выгодного ресурса работы соединения, сборочной единицы или агрегата. Это означает, что при

выборе оптимального ресурса, который обеспечивает равно- или кратноресурсность соединений сборочной единицы или агрегата, можно снизить общие затраты, связанные с необходимостью проведения внепланового ремонта. Таким образом, в результате реализации данного подхода можно достичь более эффективного использования ресурсов и снизить экономические потери, связанные с необходимостью проведения ремонтных работ. Это важно, как для производственных предприятий, так и для конечных потребителей, поскольку позволяет увеличить надежность и долговечность соединений, что в свою очередь повышает качество и безопасность продукта. В дополнение к этому, данное исследование открывает перспективы для дальнейших исследований в области определения оптимальных стратегий обслуживания и ремонта сборочных единиц и агрегатов. Это может привести к разработке новых методов и алгоритмов, которые будут учитывать не только выбор наиболее рациональных методов восстановления, но и оптимальное использование ресурсов в целом. Таким образом, данное исследование имеет практическую значимость и может быть полезным для различных отраслей промышленности, где важно обеспечить надежность и эффективность работы соединений и сборочных единиц.

### Список литературы

1. Кряжков В.М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники / В.М. Кряжков. – М.: Агропромиздат, 1989. – 335с.
2. Ремонт машин: Учебн. пособие / Под ред. Тельнова Н.Ф. – М.: Агропромиздат, 1992. – 560с.
3. Технология ремонта машин: Учебник / Е. А. Пучин, В. С. Новиков, Н. А. Очковский и др./ Под ред. Е. А. Пучина. – М.: Колос, 2007. – 488 с.
4. Юрченко Н.И. Повышение работоспособности поверхностей деталей, сопряженных с манжетами уплотнительных устройств сборочных единиц энергонасыщенных тракторов: Дис. ...канд. техн. наук / Н.И. Юрченко. – М.: МИИСП, 1991. – 81с.
5. Иванов В.П. Выбор способа восстановления деталей / В.П. Иванов // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 1. – С. 9-17.
6. Методические указания по оценке динамики изнашивания деталей машин в условиях специализированных ремонтных предприятий / В.Н. Баскаков, А.Л.Лельчук, под общ. ред. Н.Ф.Тельнова. – М.: МИИСП, 1985. – 42 с.

7. Черноиванов В.И. Восстановление деталей машин / В.И. Черноиванов. – М.: ГОСНИТИ. 1995. – 340 с.
8. В.М. Кряжков Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов России / В.М. Кряжков, З.А. Годжаев, В.Г. Шевцов и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 3. – С. 9-14.
9. Истомин А.Б. Способы восстановления деталей в ремонтном производстве / А.Б. Истомин, И.В. Лизунов, В.О. Дмитриев, В.Б. Козлов // Главный механик. – 2021. – № 6. – С. 59-73.
10. Хохлов П.И. Выбор рациональных способов восстановления и допустимых износов деталей коробки передач тракторов "Кировец" / П.И. Хохлов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 41-1. – С. 63-65.