

Щурин К.В., Тарасенко В. Е., Сырбаков А.П.

Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых мобильных машин

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

УДК 656.13.001.573

**Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых  
мобильных машин**

*Щурин К.В.<sup>1</sup>, Тарасенко В. Е.<sup>1</sup>, Сырбаков А.П.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет*

*<sup>2</sup>Новосибирский государственный аграрный университет*

**Аннотация**

*В данной статье рассматриваются приоритетные методы оценки ремонтпригодности мобильных транспортно-технологических машин, важность которых возрастает в условиях современных реалий. Отмечено о необходимости оптимизации и стандартизации процессов технического обслуживания и ремонта мобильных машин с целью минимизации затрат и потерь, связанных с их эксплуатацией и простоями. Особую актуальность приобретает проблема повышения ремонтпригодности, основными показателями которой являются статистические данные о времени неработоспособности машин, а также затраты на техническое обслуживание и ремонты. Необходимо также учитывать расходы на восстановление техники и минимизацию потерь, связанных с простоями во время проведения ремонтно-обслуживающих работ. В исследовании с использованием обобщенных понятий – эксплуатационная технологичность и ремонтная технологичность, выполнено формирование оптимальной ремонтпригодности на стадии проектирования посредством минимизации эксплуатационных затрат, связанных с выполнением технических обслуживаний и ремонтов. Предложены новые методы оценки и оптимизации показателей ремонтпригодности при создании мобильных транспортно-технологических машин и их сертификации. Разработанные методы оценки и оптимизации показателей ремонтпригодности могут применяться в процессе конструкторских работ при создании новых мобильных транспортно-технологических машин и их сертификации, а также в процессе сертификации импортируемых машин аналогичного назначения. Авторы подчеркивают значимость внедрения методов, обеспечивающих равномерное воздействие всех конструктивных элементов на коэффициент готовности машины, что позволяет повысить работоспособность мобильных машин на этапах их разработки.*

Щурин К.В., Тарасенко В. Е., Сырбаков А.П.

Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых мобильных машин

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

*Применение предложенных подходов позволяет повысить экономическую эффективность и надежность машин в условиях изменяющейся политико-экономической ситуации.*

**Ключевые слова:** МАШИНА, КОНСТРУКЦИЯ, РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ, ПОКАЗАТЕЛЬ, ОЦЕНКА, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ТРУДОЕМКОСТЬ, ЗАТРАТЫ ТРУДА, РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

---

### **Введение**

В современных международных политико-экономических условиях зарубежные страны практикуют введение неправовых экономических санкций в отношении стран, реализующих независимую политику. Эти санкции преимущественно направлены на подрыв ранее сформированных внешнеэкономических связей независимых стран, действующих в рамках системы международного разделения труда. В сложившейся ситуации для обеспечения экономической безопасности таких стран как Российская Федерация, Республика Беларусь и др. необходимо корректирование государственной технической политики, направленной, прежде всего, на определение приоритетов при формировании показателей технического уровня машин.

В сфере создания и эксплуатации транспортно-технологических мобильных машин (ММ) особую актуальность приобретает проблема повышения показателей их ремонтпригодности, решение которой позволит существенным образом улучшить или восстановить ключевые комплексные показатели надёжности – безотказность и долговечность.

Теоретические основы ремонтпригодности базируются на математической теории стационарной очереди, разработанной выдающимся советским ученым А.Я. Хинчиным [1], а также предельной теореме потоков однородных событий и теоретических разработках, посвященных исследованию операций [2-4].

Конструкция машины считается ремонтпригодной, если при минимально возможных затратах на проектирование, производство и эксплуатацию данной машины, обеспечивается минимальное время ее нахождения в состоянии неработоспособности в течение установленного жизненного цикла. В данном рассмотренном контексте, основными ключевыми критериями ремонтпригодности как правило становятся статистические данные о времени, в течение которого мобильные машины пребывают в состоянии ремонта, а также

Щурин К.В., Тарасенко В. Е., Сырбаков А.П.

Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых мобильных машин

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

затраты труда и финансов, требуемые для проведения ремонтно-обслуживающих операций. Также важным показателем является оптимизация затрат на производственные процессы и минимизация убытков, связанных с простоями машин во время их восстановления.

### **Методика исследования**

Необходимый объем и содержание ремонтно-обслуживающих работ, выполняемых по машине, а также характер выполнения и технологическая оснащенность операций технического обслуживания и ремонта (ТОР), требующие привлечения различных технических средств, формируют состав рабочих и специалистов и определяют необходимый уровень их квалификации. Это обусловило введение обобщенных понятий, таких как эксплуатационная технологичность (ЭТ) и ремонтная технологичность (РТ).

Основные показатели ремонтпригодности конструкции включают [5-8]:

**Контролепригодность:** этот параметр характеризует, насколько конструкция машины эффективно оценивается техническими методами контроля и методами технической диагностики, что характеризует способность поддерживать надежность ММ посредством регулярного мониторинга и выявления потенциальных неисправностей.

**Доступность:** под данным показателем понимается свойство конструкции агрегатов, узлов и деталей машины, которое обеспечивает легкость и скорость выполнения технологических операций во время технического обслуживания и ремонта (ТОР). Это значит, что конструкция должна позволить обеспечить быстрый доступ для устранения отказов ММ и минимизации их последствий.

**Легкосъемность:** подразумевает приспособленность конструкции ММ к проведению операций разборки и сборки, которые необходимы при замене вышедших из строя деталей. При этом должна обеспечиваться возможность контроля технического состояния отдельных узлов и агрегатов, что является решающим фактором для оперативного восстановления и поддержания необходимой работоспособности машины.

**Взаимозаменяемость:** выражается в способности заменять любые однородные детали, узлы и агрегаты машины на новые без необходимости их дополнительной обработки и доработки, при этом поддерживая все установленные характеристики критерия надежности. Допускается выполнение заданных регулировочных операций, которые, как правило, определены в конструктивной, технологической, ремонтной и эксплуатационной документации.

Унификация оборудования и инструмента: заключается в возможности использования как стандартного, так и нестандартного оборудования для выполнения технического обслуживания и ремонта конкретной машины в различных условиях эксплуатации.

Обобщенные и частные показатели ремонтпригодности формируются в процессе проектирования и являются одной из наиболее сложных задач конструкторско-экспериментальной отработки машины. Конечной целью формирования оптимальной ремонтпригодности на стадии проектирования является минимизация эксплуатационных затрат, связанных с выполнением ТОР при безусловном обеспечении заданных показателей безотказности, долговечности и сохраняемости [9,10].

### Основная часть

Формирование эксплуатационной технологичности мобильных машин включает в себя тщательное рассмотрение ряда важных параметров, в отношении которых осуществляется постоянное накопление исходных данных о парке эксплуатируемых машин. Данные параметры охватывают частоту проведения операций по техническому обслуживанию, трудозатраты для каждой ремонтно-обслуживающей процедуры, количество крепежных элементов, включая нестандартные, а также число позиций при выполнении монтажных и контрольно-регулирующих работ, включая основные точки для смазывания движущихся элементов машины. Хотелось так же отметить, что особое внимание уделяется легкодоступности специализированного инструмента, и базового оборудования, которые как правило требуются для выполнения основных и второстепенных операций ремонтно-обслуживающих работ. Одним из важнейших показателей эксплуатационной технологичности мобильных машин является степень унификации их агрегатов и узлов, что позволяет обеспечивать эффективную взаимозаменяемость базовых компонентов машины.

Для дифференцированной оценки эксплуатационной технологичности мобильных машин применяют показатели, которые применимы к данному автомобилю.

Показатель ЭТ ММ и определяется по формуле (1):

$$R_{ТО} = \frac{T_{ТО}}{t_{ТО}N} 1000 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s \left( \frac{T_{ij}^{уб}}{t_{ij}^{уб}} + \frac{T_{ij}^{см}}{t_{ij}^{см}} + \frac{T_{ij}^{кр}}{t_{ij}^{кр}} + \frac{T_{ij}^p}{t_{ij}^p} \right) \cdot \beta_{ij} \frac{1}{N} 1000, \quad (1)$$

где  $T_{ij}^{уб}, T_{ij}^{см}, T_{ij}^{кр}, T_{ij}^p$  – средние трудоемкости выполнения  $i$ -й регламентной операции соответственно уборочных, смазочно-очистительных, крепежных и регулировочных работ  $j$ -го вида обслуживания, чел.-ч;  $\beta_{ij}$  – коэффициент сложности конструкции при выполнении

$i$ -й регламентной операции  $j$ -го вида ТО;  $N$  – основной параметр ММ;  $l_{ij}$  – периодичность выполнения  $i$ -й операции  $j$ -го вида обслуживания, км;  $m$  – количество регламентных операций ТО конкретного вида;  $S$  – количество видов ТО за эксплуатационный цикл.

*Показатель ЭТ ММ по текущему ремонту (ТР) определяется по формуле:*

$$R_{ТР} = \frac{T_{ТР}}{l_{ТРN}} 1000 = \frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^c T_{ij}^{ТР}}{l_i^{ТР} N} 1000, \quad (2)$$

где  $T_{ij}^{ТР}$  – средняя трудоемкость (основная и дополнительная)  $i$ -го текущего ремонта по  $j$ -му агрегату, узлу, детали, чел.-ч;

$l_i^{ТР}$  – средняя наработка агрегата, узла, детали за определенный период эксплуатации, км;

$b$  – количество одноименных текущих ремонтов по  $j$ -му агрегату, узлу, детали;

$c$  – количество агрегатов, узлов деталей, подвергшихся текущему ремонту за определенный период эксплуатации.

Ключевой показатель эксплуатационной технологичности, касающийся технического обслуживания ( $K_{УТО}$ ), предоставляет возможность провести сравнительный анализ эксплуатационных характеристик новой модели мобильной техники. Данный индикатор является важным инструментом для оценки эффективного использования техники в различных условиях эксплуатации. Это позволяет соотнести её базовую технологичность с аналогичными параметрами уже существующих образцов, как отечественного, так и зарубежного производства. Также данная оценка может осуществляться относительно базового показателя технологичности конструкции, который принят за стандартный ориентир или исходную точку сравнения:

$$K_{УТО} = \frac{R_{ТО}^{нов}}{R_{ТО}^{баз}}, \quad (3)$$

где  $R_{ТО}^{нов}, R_{ТО}^{баз}$  – соответственно показатели эксплуатационной технологичности по текущему обслуживанию новой конструкции изделия и существующей базовой.

*Коэффициент приспособленности изделия к техническому обслуживанию* служит как правило индикатором, который характеризует конструктивные характеристики машины, подразумевающие необходимость выполнения определенных подготовительных действий для реализации основного процесса обслуживания мобильных машин. Этот коэффициент определяется как доля основной трудоемкости регламентированных операций технического обслуживания в общей трудоемкости всех выполняемых работ, включая как основную, так и дополнительную трудоемкости. Основная трудоемкость включает в себя совокупность

различных затрат, которые, как правило, связаны с осуществлением специфических операций в процессе выполнения ремонтно-обслуживающих работ, определенных в рамках базовой технической документации. В свою очередь, трудоемкость дополнительных работ отражает только те ключевые операции, которые являются необходимыми для успешного завершения основных базовых процессов в рамках установленных условий, регулирующих ремонт и техническое обслуживание мобильной техники.

*Коэффициент приспособленности конструкции изделия к техническому обслуживанию* вычисляется по формуле:

$$K_{TO} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s (T_{ij})_{осч}^{TO} \beta_{осч}^{TO}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s (T_{ij})_{осч}^{TO} \beta_{осч}^{TO} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s (T_{ij})_{доп}^{TO} \beta_{доп}^{TO}} \quad (4)$$

$$= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s \left[ (T_{ij})_{осч}^{yб} \beta_{ij_{осч}}^{yб} + (T_{ij})_{осч}^{cm} \beta_{ij_{осч}}^{cm} + (T_{ij})_{осч}^{kp} \beta_{ij_{осч}}^{kp} + (T_{ij})_{осч}^p \beta_{ij_{осч}}^p \right], \quad (5)$$

$$= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s \left[ (T_{ij})_{доп}^{yб} \beta_{ij_{доп}}^{yб} + (T_{ij})_{доп}^{cm} \beta_{ij_{доп}}^{cm} + (T_{ij})_{доп}^{kp} \beta_{ij_{доп}}^{kp} + (T_{ij})_{доп}^p \beta_{ij_{доп}}^p \right], \quad (6)$$

где  $(T_{ij})_{осч}^{TO}$  и  $(T_{ij})_{доп}^{TO}$  – соответственно основная и дополнительная трудоемкости выполнения  $i$ -й регламентированной операции  $j$ -го вида ТО за цикл, чел.-ч;

$\beta_{осч}^{TO}$  и  $\beta_{доп}^{TO}$  – коэффициенты, характеризующие влияние сложности конструкции изделия на основные и дополнительные трудозатраты по техническому обслуживанию.

*Коэффициент приспособленности конструкции изделия к текущему ремонту* вычисляется по формуле (7):

$$K_{TP} = \frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^c (T_{ij})_{осч}^{TP} \beta_{осч}^{TP}}{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^c (T_{ij})_{осч}^{TP} \beta_{осч}^{TP} + \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^c (T_{ij})_{доп}^{TP} \beta_{доп}^{TP}}, \quad (7)$$

где  $(T_{ij})_{осч}^{TP}$  и  $(T_{ij})_{доп}^{TP}$  – соответственно основная и дополнительная трудоемкости  $i$ -го ТР по  $j$ -му агрегату, узлу, детали;

$\beta_{осч}^{TP}$  и  $\beta_{доп}^{TP}$  – коэффициенты, характеризующие влияние сложности конструкции изделия на основные и дополнительные трудозатраты по ТР.

*Удельное число операций ТО изделия по видам работ*, вычисляется по формуле (8):

$$n_0 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s n_{ij}}{l_{ij} N} 1000, \quad (8)$$

где  $n_{ij}$  – регламентированная  $i$ -я операция  $j$ -го вида обслуживания;

$l_{ij}$  – периодичность выполнения регламентированной  $i$ -й операции  $j$ -го вида обслуживания.

Каждая из предложенных категорий ремонтно-обслуживающих работ, включает как уборочные, смазочно-очистительные, крепежные, так и регулировочные мероприятия, имеет индивидуально определяемый показатель, как это указано в формуле (8). Эти расчеты осуществляются с учетом пробега, составляющего 1000 километров.

Определение наименований горюче-смазочных материалов и технических жидкостей осуществляется на основании зависимости (9).

$$n_I = n_1 + n_2 + n_3 + n_4, \quad (9)$$

где  $n_1, n_2, n_3, n_4$  – общее количество марок горюче-смазочных материалов и технических жидкостей, предписанных в эксплуатационной документации производителя.

*Коэффициент применяемости инструмента* вычисляется по формуле (10):

$$K_{И} = \frac{n_{И}}{n_{Т}}, \quad (10)$$

где  $n_{И}$  – общее количество инструмента различного назначения, применяемого при техническом обслуживании и ремонте;

$n_{Т}$  – суммарное количество точек, для которых предназначен инструмент.

*Коэффициент повторяемости стандартных деталей изделия*  $K_{Псд}$  является наиболее важным параметром для оценки ЭТ ММ и выражается с помощью зависимости, изложенной в формуле (11).

$$K_{Псд} = 1 - \frac{n_{Трд}}{n_{Оксд}}, \quad (11)$$

где  $n_{Трд}$  – количество типоразмеров стандартных деталей (крепежных, контрольных, заливных, сливных пробок, прокладок, сальников и др.);

$n_{Оксд}$  – общее количество стандартных деталей.

После выполнения расчета основных базовых показателей, характеризующих эксплуатационную технологичность производимого изделия, делается подсчет коэффициентов для их сравнительной оценки с помощью зависимости (12).

$$K_{СО} = \frac{\Pi_{нов}}{\Pi_{баз}}, \quad (12)$$

где  $\Pi_{нов}$  – показатель эксплуатационной технологичности нового изделия;

$\Pi_{баз}$  – базовый показатель технологичности конструкции изделия, принятый за

Щурин К.В., Тарасенко В. Е., Сырбаков А.П.

Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых мобильных машин

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

исходный при сравнительной оценке.

Если коэффициент эксплуатационной технологичности  $KCO < 1$ , это указывает на то, что анализируемое изделие обладает более продвинутыми эксплуатационными характеристиками по сравнению с основным образцом (аналогом). Напротив, если коэффициент превышает единицу, это свидетельствует о том, что эксплуатационная технологичность данного изделия уступает базовому образцу. Процесс оценки эксплуатационной технологичности мобильной машины и её ключевых компонентов необходимо осуществлять на всех этапах жизненного цикла — от проектирования и разработки до модернизации и эксплуатации.

При разработке, производстве и усовершенствовании основных машин следует стремиться к достижению таких показателей эксплуатационной технологичности, которые будут превосходить как отечественные, так и международные аналоги. В случаях, когда уровень эксплуатационной технологичности остается недостаточным, производители и разработчики оборудования должны, на основе результатов сравнительных оценок, разрабатывать и внедрять меры по её улучшению. Это может включать в себя внесение конструктивных изменений в машину.

Ремонтная технологичность (РТ) показывает, насколько машина и её компоненты способны к восстановлению функций, утраченных в процессе эксплуатации. Для того чтобы установить критерии оценки ремонтной технологичности компонентов целесообразно выделить два типа воздействий на технику, определяемых различными факторами.

Первый тип включает работы по восстановлению рабочих параметров деталей, которые нарушены вследствие деградиционных процессов, связанных с условиями эксплуатации и хранения мобильных машин, таких как износ, усталость, коррозия, эрозия и старение.

Второй тип ремонтных воздействий касается необходимости разработки новых установочных и вспомогательных оснований для деталей, которые изначально не были предусмотрены конструкцией базовой машины, а также устранения нарушений форм деталей и других недостатков. Для более глубокого понимания влияния конструкции и технологий изготовления детали на ее ремонтную технологичность целесообразно разделить общую трудоемкость, необходимую для восстановления работоспособности детали  $t^{TH}$ , на два вида с учетом установленных предпосылок.

$$t^{TH} = t^{OC} + t^{BC}, \quad (13)$$



Щурин К.В., Тарасенко В. Е., Сырбаков А.П.

Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых мобильных машин

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

где  $t^{OC}, t^{BC}$  – соответственно основное и вспомогательное технологическое время.

Для количественного анализа ремонтной технологичности детали применяется специальный индикатор  $P_{PT}^D$ , который отражает техническое состояние компонентов мобильных машин конкретной модели. Данный индикатор позволяет анализировать насколько конструкция и технология изготовления данных деталей приспособлены для восстановления их эксплуатационной функциональности. Также учитывается сложность применяемого ремонтного оборудования и экономическая целесообразность проведения ремонта ММ (14):

$$P_{PT}^D = P_{\Gamma} + P_{P} \frac{\sum_{i=1}^m t_i^{OC} K_{ki}^{OC}}{\sum_{i=1}^m t_i^{OC} K_{ki}^{OC} + \sum_{j=1}^z t_j^{BC} K_{kj}^{BC}} K_O K_{\mathcal{E}}, \quad (14)$$

где  $m$  – общее количество основных операций по восстановлению работоспособности детали;

$z$  – количество вспомогательных операций по восстановлению детали;  $t_i$  – трудоемкость  $i$ -й операции ремонта детали, чел-ч;

$t_j$  – трудоемкость  $j$ -й вспомогательной операции ремонта детали, чел.-ч;

$K_{ki}$  – коэффициент квалификации работ  $i$ -й операции ремонта детали;

$K_{kj}$  – коэффициент квалификации работ  $j$ -й вспомогательной операции ремонта детали;  $K_O$  – коэффициент сложности оборудования;

$K_{\mathcal{E}}$  – коэффициент экономической целесообразности ремонта.

Коэффициент экономической целесообразности ремонта детали определяется по формуле (15):

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{S_D^И}{S_D^И + S_D^P}, \quad (15)$$

где  $S_D^И$  – преysкуррантная стоимость новой детали, руб.;

$S_D^P$  – затраты на ремонт детали, руб.

Целесообразность оценки и применения  $K_{\mathcal{E}}$  зависит от организационной ситуации, обуславливающей возможность приобретения новой детали импортной машины. При отсутствии такой возможности реализуются технологии импортозамещения или обязательный ремонт.

Количественная оценка РТ узла  $P_{PT}^Y$ , может быть определена по формуле (16):

$$P_{PT}^Y = \frac{\sum_{i=1}^e T_i^{OC} K_{ki}^{OC}}{\sum_{i=1}^e T_i^{OC} K_{ki}^{OC} + \sum_{j=1}^f T_j^{BC} K_{kj}^{BC}} \cdot \frac{\sum_{q=1}^{ny} P_{PTq}^D}{\sum_{q=1}^{ny} S_q^D}, \quad (16)$$

где  $e$  – количество основных разборочно-сборочных операций;  
 $f$  – количество вспомогательных разборочно-сборочных операций;  
 $T$  – трудоемкость разборочно-сборочных операций, чел.-ч;  
 $n_y$  – количество деталей, входящих в узел;  
 $R_{РТq}^D$  – показатель ремонтной технологичности  $q$ -й детали;  
 $S_q^D$  – стоимость  $q$ -й детали.

Оценка ремонтпригодности компонентов в количественном выражении обеспечивает объективное определение их ремонтной сложности. Она также помогает выявить конструктивные недостатки как в самом узле, так и в его отдельных элементах. Анализ рассмотренных показателей ремонтной технологичности узлов позволяет оперативно дать оценку заявленным трудозатратам для проведения КР транспортных машин. Показатели  $R_{РТ}^D$  и  $R_{РТ}^Y$  варьируются от 0 до 1, где значение, приближающееся к 1, свидетельствует о более высоком уровне ремонтной технологичности мобильной машины.

Требования к ремонтпригодности разрабатываемого изделия обычно формулируются через вероятность восстановления его работоспособности в установленный срок, обозначаемую как  $V(t)$  (это оперативный показатель). Также данные требования могут быть выражены через среднее время восстановления  $\bar{T}_B$  (технический показатель). Часто подобные требования устанавливаются опосредованно через коэффициент готовности  $K_\Gamma$ , который для продолжительного периода эксплуатации определяется по формуле (17):

$$K_\Gamma = \frac{\bar{T}_0}{(\bar{T}_0 + \bar{T}_B)}, \quad (17)$$

где  $\bar{T}_0$  – среднее время обслуживания.

Важно подчеркнуть, что коэффициент готовности является показателем вероятности того, что объект будет находиться в работоспособном состоянии в любой произвольно выбранный момент времени. Данный коэффициент  $K_\Gamma$  можно также выразить в альтернативной форме, которая определяется уравнением (18):

$$K_\Gamma = \frac{\bar{T}_0}{\bar{T}_0 + \bar{T}_B} = \frac{1}{1 + \bar{T}_B / \bar{T}_0} = \frac{1}{1 + u_c}. \quad (18)$$

Обозначим  $u_c$  как коэффициент средних удельных затрат на восстановление работоспособности изделия, который также именуется коэффициентом затрат на восстановление. Этот параметр характеризует среднее время, необходимое для восстановления функциональности ремонтируемого изделия мобильной машины.

С учётом фиксированного значения коэффициента готовности, конструкция мобильной машины должна обеспечивать, чтобы её коэффициент готовности не снижался ниже установленного значения, указанного в уравнении (19).

$$K_{Гр} \geq K_{ГЗ}. \quad (19)$$

Рассмотренное условие (19) будет выполнено, если коэффициент затрат на восстановление будет удовлетворять условию (20):

$$u_c = \frac{\bar{T}_B}{\bar{T}_0} \leq \frac{1-K_{ГЗ}}{K_{ГЗ}}. \quad (20)$$

Численный диапазон значений  $\bar{T}_0$  и  $\bar{T}_B$ , которые удовлетворяют данному неравенству, формирует область возможных проектных решений изделия. В ходе проектирования необходимо стремиться к идеальному балансу между наработкой на отказ  $\bar{T}_0$  и средним временем восстановления  $\bar{T}_B$ .

Представим ситуацию, в котором наработка на отказ изделия определяется на основании заложенной вероятности его безотказной работы и известного нормированного или установленного значения коэффициента готовности  $K_{ГЗ}$ . В рассмотренной ситуации, при известном значении среднего времени безотказной работы  $\bar{T}_{ор}$  и заданном коэффициенте готовности  $K_{ГЗ}$ , область возможных показателей среднего времени восстановления обязана располагаться ниже предельного значения  $T_{В,доп}$  (21).

$$\bar{T}_B \leq T_{В,доп} = \bar{T}_{ор} \frac{1-K_{ГЗ}}{K_{ГЗ}}. \quad (21)$$

В некоторых случаях расчётное значение допустимого времени восстановления  $T_{В,доп}$  может быть настолько минимальным, показывая, что физически невозможно осуществить ремонт изделия в рамках этого временного промежутка. В таких случаях может потребоваться увеличение наработки на отказ изделия для достижения удовлетворительного уровня допустимого среднего времени восстановления  $T_{В,доп}$ , учитывая фиксированное значение коэффициента готовности. При возникновении данной ситуации в первую очередь следует оценить допустимое время восстановления изделия с указанной или известной наработкой на отказ  $\bar{T}_{ор}$ .

Разберём определение среднего времени восстановления для мобильной машины, которая становится неработоспособной при отказе любого из её узлов или агрегатов и остаётся неработоспособной, пока неисправный элемент не будет отремонтирован.

Зададим необходимые граничные условия. При оценке показателей надежности

изделия предполагается, что интенсивность отказов всех конструктивных компонентов является постоянной. Это предполагает, что период безотказной работы каждого компонента следует экспоненциальному распределению. Параметры потока отказов, касающиеся отдельных деталей, узлов, агрегатов и всей мобильной машины в целом, соответствуют их интенсивностям отказов. Учитывая, что каждый элемент создает базовый поток восстановления при замене на аналогичный, для вычисления  $\omega_i$  применяется зависимость, представленная в уравнении (22).

$$\omega_i = \lambda_i, \text{ а } \omega_c = \lambda_c. \quad (22)$$

С учетом этого среднее время восстановления изделия можно записать в виде (23):

$$\bar{T}_B = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_c} \bar{T}_{Bi} = \sum_{i=1}^n Q_i \bar{T}_{Bi}, \quad (23)$$

где  $Q_i$  – расчётная вероятность отказа изделия из-за отказа  $i$ -й конструктивной составляющей;

$\bar{T}_{Bi}$  – среднее время восстановления  $i$ -й конструктивной составляющей.

С учётом того, что  $1/\omega_c = 1/\lambda_c = \bar{T}_o$  – наработка изделия на отказ, а  $1/\omega_i = 1/\lambda_i = \bar{T}_{oi}$  – наработка на отказ  $i$ -й конструктивной составляющей, среднее время восстановления машины можно записать в виде (24):

$$\bar{T}_B = \bar{T}_o \sum_{i=1}^n \frac{\bar{T}_{Bi}}{\bar{T}_{oi}} = \bar{T}_o \sum_{i=1}^n u_i, \quad (24)$$

где  $u_i$  – коэффициент затрат на восстановление  $i$ -й конструктивной составляющей.

Подставив полученное значение в уравнение для вычисления коэффициента готовности, мы получаем формулу (25):

$$K_{\Gamma} = \frac{\bar{T}_o}{\bar{T}_o + \bar{T}_o \sum_{i=1}^n u_i} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n u_i}. \quad (25)$$

Из этого следует, что общий коэффициент восстановления изделия равен сумме коэффициентов восстановления его отдельных компонентов (26):

$$u_c = \sum_{i=1}^n u_i. \quad (26)$$

В настоящее время преобладает подход, заключающийся в создании технических систем, где все элементы обладают одинаковым уровнем надёжности, также с точки зрения ремонтпригодности. Применяя свойство аддитивности показателя, изложенное в формуле (26), мы распределяем требования к ремонтпригодности между различными компонентами машины. Особое внимание уделяется среднему времени восстановления каждой отдельной части, так как именно этот показатель влияет на коэффициент

Щурин К.В., Тарасенко В. Е., Сырбаков А.П.

Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых мобильных машин

=====

**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**

=====

готовности машины. Согласно принципу «равного влияния» всех компонентов на общий коэффициент готовности, делается вывод о том, что коэффициенты затрат на восстановление для каждого элемента являются равными. Это утверждение является следствием рассмотренной зависимости и подчеркивает единообразный подход к оценке всех составляющих.

$$\frac{\bar{T}_{B,1}}{\bar{T}_{O,1}} = \frac{\bar{T}_{B,2}}{\bar{T}_{O,2}} = \dots = \frac{\bar{T}_{B,n}}{\bar{T}_{O,n}} \quad (27)$$

Данное равенство указывает, что, к примеру, компоненты, которые имеют более высокий частотный показатель отказов, должны обладать более коротким периодом восстановления по сравнению с теми, чьи отказы нечасты. Из анализа уравнения (27) с учетом условий, обозначенных в (20), является очевидным, что для достижения коэффициента готовности машины, допустимое среднее время восстановления для каждого компонента, как правило не должно превышать установленной величины. Это время не должно выходить за рамки строго определённой величины, обеспечивая тем самым высокие показатели надёжности и эффективности работы мобильной техники.

$$\bar{T}_{B,i,доп} \frac{u_c}{n} \bar{T}_{O,i,p} \leq \frac{(1-K_{ГЗ})\bar{T}_{O,i,p}}{K_{ГЗ}n} \quad (28)$$

### Заключение

Представленные в настоящей работе новые подходы и методы оценки показателей ремонтпригодности рекомендуются к применению в процессе ОКР при создании новых мобильных транспортно-технологических машин и их сертификации. Особое внимание уделено внедрению метода равного влияния конструктивных составляющих на коэффициент готовности машины, что позволяет улучшать проектные решения ещё на стадии их разработки. Обобщены современные и традиционные подходы, предлагая инновационные методы для повышения экономической эффективности и надёжности ММ в условиях современной политико-экономической ситуации.

### Список использованных источников:

1. Хинчин, А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания / под редакцией Б.В. Гнеденко. – М.: Физматгиз, 1963. – 236 с.
2. Апсин, В.П. Моделирование процессов восстановления машин / В.П. Апсин, Л.В. Дехтеринский, С.Б. Норкин, В.М. Приходько. – М.: Транспорт, 1996. – 311 с.

Щурин К.В., Тарасенко В. Е., Сырбаков А.П.

Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых мобильных машин

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

3. Дехтеринский, Л.В. Технология ремонта автомобилей: Учебник для студентов вузов / Л.В. Дехтеринский, В.П. Апсин, Г.Н. Доценко и др.; под ред. Л.В. Дехтеринского. – М.: Транспорт, 1979. – 342 с.

4. Зорин, В.А. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин / Б.П. Долгополов, Г.Н. Доценко, В.А. Зорин и др.: Под ред. В.А. Зорина. М.: ИЦ «Академия», 2010. – 576 с.

5. Щурин, К.В. Надежность машин / К.В. Щурин – СПб.: Издательство «Лань», 2019 – 592 с. (Учебники для вузов. Специальная литература).

6. Юдин, М.И. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий: учеб. для вузов / М.И. Юдин [и др.]. – Краснодар: Совет. Кубань, 2007. – 968 с.

7. ГОСТ 27.003-83 Надежность в технике. Выбор и нормирование показателей надежности.

8. Баженов, С.П. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов: Учебник для вузов / С.П. Баженов, Б.Н. Казьмин, С.В. Носов / Под ред. С.П. Баженова. 2-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 336 с.

9. Щурин, К.В. Надежность мобильных машин: учебник для вузов / К.В. Щурин, В.Е. Тарасенко. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 400 с.

10. Игнатов, В.И. Научные основы формирования стратегии технического обслуживания и ремонта лесных машин / В.И. Игнатов, Н.С. Еремеев, А.А. Селиванов. – М.: МГУЛ, 2000. – 315 с.

**Цитирование:**

Щурин К.В., Тарасенко В. Е., Сырбаков А.П. Методы оценки показателей ремонтпригодности при создании новых мобильных машин [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 1. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st\\_110.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_110.pdf)