



## Планирование ремонта транспортно–технологических машин по техническому состоянию

Сергей Васильевич Репин<sup>1</sup>, Сергей Аркадьевич Евтюков<sup>2</sup>  
Ярослав Райчык<sup>3</sup>

### АННОТАЦИЯ:

В статье представлены результаты исследований в области обеспечения работоспособности сложных технических объектов на примере транспортно–технологических машин (ТТМ). Описана стратегия формирования системы обслуживаний и ремонтов с учетом технического состояния элементов ТТМ. Стратегия предусматривает разделение структурных элементов машин на четыре группы в зависимости от принципиального подхода к расчету периодичности их ремонта. Критерием определения периодичности ремонта является вероятность достижения предельных значений характеристик в межремонтный период, а также степень критичности последствий возможного отказа элемента. При высокой степени критичности отказа элемента и относительно небольшой стоимости работ по его ремонту (замене) (элементы первой группы) следует применять планово–предупредительную стратегию, предусматривающую ремонт по регламенту, рекомендованному заводом–изготовителем. Техническое состояние значительной части элементов машин может продиагностировано, а его изменение спрогнозировано на основании данных диагностики (вторая группа). Ремонт таких элементов назначается при достижении параметров технического состояния близких к критическим. Техническое состояние части важных элементов машин не может быть продиагностировано (третья группа), поэтому их ремонт следует планировать на основании статистических данных эксплуатации этих элементов в определенных условиях работы. Момент времени ремонта назначается по достижению заданного уровня безотказной работы. Четвертую группу составляют элементы, отказ которых не вызывает серьезных последствий. Ремонт этих элементов производят по факту отказа.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

транспортно–технологические машины; надежность; эксплуатация; техническое состояние; ремонт

## 1. Введение

Эффективность применения транспортно–технологических машины (ТТМ), как и любых материальных объектов, определяется уровнем их надежности, характеризуемой как свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения [ГОСТ 27.002–83]. Надежность это комплексное свойство включающее безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Близкое значение к понятию надежности имеет термин работоспособность, характеризуемая

<sup>1</sup> Санкт–Петербургский государственный архитектурно–строительный университет, Санкт–Петербург, 190005, ул. 2–я Красноармейская, 4, e–mail: repinserge@mail.ru, orcid id: 0000-0002-2289-4194

<sup>2</sup> Санкт–Петербургский государственный архитектурно–строительный университет, Санкт–Петербург, 190005, ул. 2–я Красноармейская, 4, e–mail: s.a.evt@mail.ru, orcid id: 0000-0003-3674-643X

<sup>3</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42–218 Częstochowa, e–mail: Rajczyk@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0003-0145-2837

как состояние объекта, при котором он способен выполнять определенные его предназначением функции, сохраняя значения рабочих (заданных) параметров в пределах, установленных нормативно-справочной документацией. Параметры, характеризующие выполнение функций, обуславливают эксплуатационные показатели объекта: производительность, грузоподъемность, мощность, тягово-скоростные и тормозные характеристики, параметры рабочего процесса двигателя и т.п. С точки зрения потребителя машин термин работоспособность более понятен, а его параметры наглядны и измеряемы.

## 2. Предмет, задачи и методы

Предметом исследования является ТТМ, как сложная техническая система, состоящая из элементов, периодичность замены которых определяет надежность машины в целом. Задача, решаемая в статье – разработка методов обоснования периодичности замен узлов. Используются методы статистического анализа и прогнозирования. Структурная схема обеспечения работоспособности ТТМ по ТС представлена на рисунке 1. Стратегия эксплуатации по техническому состоянию осуществляется следующим образом [3]:

I этап – анализ структуры объекта эксплуатации. Составляется перечень элементов, эксплуатируемых с контролем уровня надежности, с контролем параметров ТС, по наработке и до отказа.

II этап – составление математических моделей динамики показателей ТС элементов с целью их прогнозирования и определения сроков их профилактических ремонтов и замен.

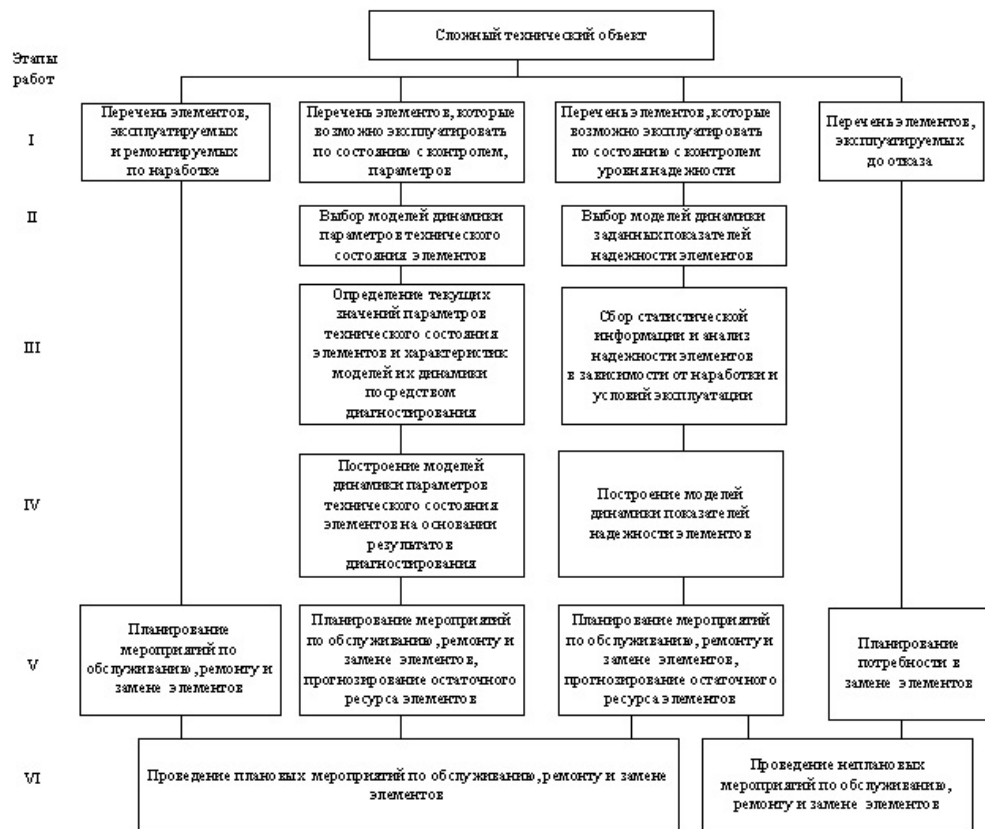


Рис. 1. Структурная схема обеспечения работоспособности сложного ТТМ по ТС

Вид математических моделей, предельные значения показателей уровня надежности и параметров ТС элементов выбираются с учетом типа объекта, характера его использования, структурной схемы его надежности, вида (или способа определения) предельного состояния.

Динамика текущих значений параметров ТС элементов в процессе эксплуатации отслеживается посредством проведения периодического диагностирования согласно плана проведения мероприятий ТОР или посредством непрерывного диагностирования специальными приборами, встроенными в эксплуатируемый объект, и наблюдениями персонала (III этап). Динамика текущих значений показателей уровня надежности оценивается на основании сбора статистической информации по отказам элементов.

Путем подстановки текущих значений показателей уровня надежности и параметров ТС элементов в математические модели их динамики производится прогнозирование сроков проведения их профилактических ремонтов и замен (IV этап), на основании которого планируются мероприятия по ТОР и замене элементов (V этап). Планирование мероприятий по обслуживанию, ремонту и замене элементов производится с учетом специфики эксплуатации объектов.

Согласно разработанным планам проводятся плановые мероприятия по обслуживанию, ремонту и замене элементов объекта. Неплановые ремонтные воздействия проводятся по факту внезапного отказа элемента машины. Количество внезапных отказов прогнозируется согласно статистике отказов машин данной марки или других марок, близких к данной по техническим параметрам (узлы одних и тех же заводов-изготовителей, конструктивные решения, условия использования и т.п.). Согласно прогнозам внезапных отказов резервируются ремонтные мощности и запчасти.

### **3. Составление перечня элементов, эксплуатируемых и ремонтируемых по различным стратегиям**

Составление перечня элементов, ремонтируемых по наработке, производится по регламенту, рекомендованному заводом-изготовителем. К этой группе элементов относятся ремни привода распределительных валов двигателей, тормозные колодки, фильтры и другие быстроизнашивающиеся части, резинотехнические изделия, а также эксплуатационные материалы. Несвоевременная замена этих элементов может привести к поломкам машины.

С контролем параметров ТС эксплуатируются элементы, изменения параметров состояния которых можно измерять посредством диагностирования и прогнозировать моменты наступления предотказных состояний. Это элементы, нарушение работоспособного состояния которых происходит преимущественно вследствие параметрических отказов.

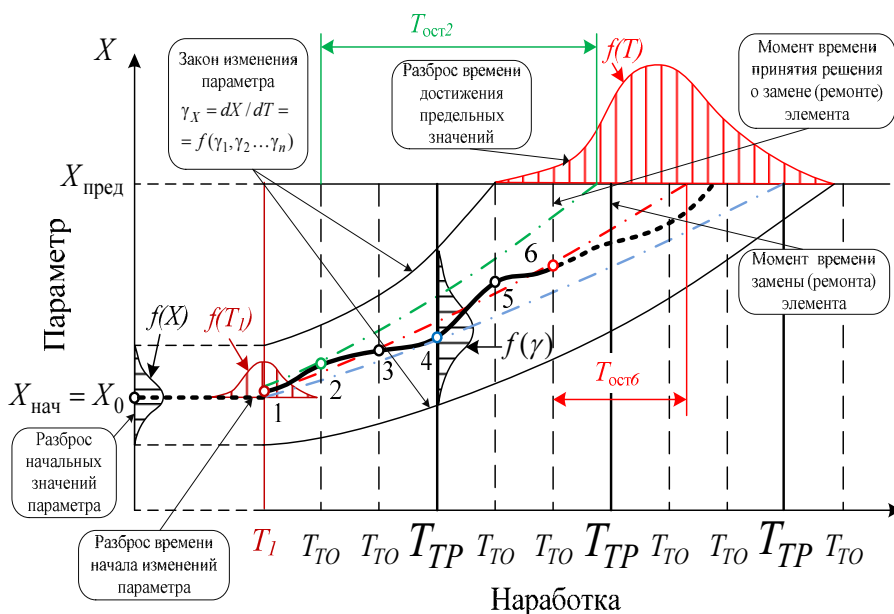
Элементы, эксплуатируемые по уровню надежности, это элементы, нарушение работоспособного состояния которых происходит преимущественно вследствие внезапных отказов.

До отказа эксплуатируются элементы, отказ которых не приводит к серьезным последствиям или не оказывает существенного влияния на работоспособность машины. Это приборы освещения, элементы отделки, защитные кожухи, предохранительные элементы и пр.

Периодичность ремонтов и замен элементов, проводимых по регламенту и эксплуатируемых до отказа, определена однозначно и планирование данных мероприятий не вызывает сложности. А вот планирование мероприятий по ремонту элементов по их техническому состоянию требует специальных исследований для конкретных типов машин и условий эксплуатации.

#### 4. Планирование ремонта и замен элементов машин по динамике параметров технического состояния

Измерение значений характеристик  $X_i$  параметров ТС элемента машины производится посредством диагностирования при проведении плановых мероприятий ТОР или непрерывно средствами встроенной диагностики (рис. 2).



**Рис. 2.** График изменения состояния элемента машины при обслуживании с контролем параметров ТС: 1...6 – точки замера параметра  $X$ ;  $T_{TO}$ ,  $T_{TP}$  – периодичность проведения технического обслуживания и текущего ремонта соответственно;  $T_{\text{ост}2}$ ,  $T_{\text{ост}6}$  – остаточный ресурс элемента при втором и шестом замерах параметра  $X$  соответственно

По измеренному значению  $X_i$  параметра и известному закону его изменения  $X(T)$  рассчитывается остаточный ресурс  $T_{\text{ост}i}$ , определяющий расчетную наработку до предельного состояния элемента, характеризуемого значением  $X_{\text{пред}}$  параметра. На основании  $T_{\text{ост}i}$  принимается решение о дальнейшей эксплуатации элемента или проведении ремонтных работ. Из рисунка 2 видно, что ремонт элемента следует произвести на втором текущем ремонте. Т.О., задача сводится к определению остаточного ресурса элемента по результатам каждого измерения параметра.

Рассмотрим общую схему формирования параметрического отказа изделия, когда протекание различных процессов повреждения приводит к изменению во времени выходного параметра  $X$ . Отказ возникнет при достижении параметром своего предельно-допустимого значения  $X_{\text{пред}}$ , что произойдет через некоторый случайный промежуток времени работы изделия.

На схеме показаны основные этапы формирования закона распределения  $f(T)$ . Вначале имеет место рассеивание параметров элемента  $f(X)$  относительно своего математического ожидания  $X_0$ . Это связано с рассеиванием начальных показателей новой машины. На изменение параметров элементов машин в процессе эксплуатации сказываются медленно протекающие процессы, например, износ. В общем случае процесс изменения параметра может начаться через некоторый промежуток времени  $T_1$ , который так же является случайной величиной и связан с накоплением повреждений (например, усталостных) или с действием внешних причин.

Процесс изменения параметра  $X$  со скоростью  $\gamma$ , также является случайным и зависит от изменения повреждений отдельных составляющих элемента (их износа со скоростью  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ ).

В результате всех этих явлений происходит формирование закона распределения  $f(X, T)$ , который определяет вероятность выхода параметра  $X$  за границу  $X_{пред}$ . Следует отметить, что в общем случае значение  $X_{пред}$  также может иметь рассеивание, если оно оценивает диапазон требований потребителя к предельным значениям показателей машины.

Данная схема в общем виде описывает процесс возникновения постепенного (параметрического) отказа и при частных значениях входящих параметров может отражать те или иные случаи, характерные для определенных условий работы и конструктивных особенностей изделия. Если процесс изменения параметра начинается сразу ( $T_1 = 0$ ), то получаем типичную схему возникновения постепенного параметрического отказа. Если при достижении  $X_{пред}$  будет резкое возрастание  $X(T)$ , то, как правило, возникнет отказ функционирования. Если в процессе формирования отказа основную роль играет возникновение (зарождение) процесса, т.е. функция  $f(T_1)$ , а затем процесс протекает с большой интенсивностью  $X(T) \rightarrow \infty$ , то получим модель внезапного отказа.

Рассеивание начальных параметров элемента  $f(X)$  следует учитывать при рассмотрении определенной совокупности изделий, например, всех машин данной модели, выпускаемых заводом. Если рассматривается конкретное изделие, то значение  $X$  превращается в неслучайную величину, так как характеризует начальные параметры данного образца.

Если же учитывать рассеивание начальных параметров машины в результате ее работы при различных режимах, то  $X$  будет случайной величиной для данного экземпляра изделия.

Наиболее часто изменение параметра изделия  $X$  подчиняется линейному закону

$$X(T) = X_0 + k \cdot T \quad (1)$$

В данном случае  $k = \gamma$  – это скорость протекания процесса (скорость изнашивания или скорость изменения параметра), которая зависит, как правило, от большого числа случайных факторов – от нагрузки, скорости, температуры, условий эксплуатации и т.п.

В общем случае вид функции  $k(T)$  или  $\gamma(T)$  может иметь любой характер, который может быть известен или определяться в процессе анализа эксплуатационных данных.

Из рисунка 2 видно, что характер изменения параметра  $X_i$ , измеряемый в  $i$ -тых точках, переменный. Поэтому и скорость  $\gamma$  изменения параметра также непостоянна

$$\gamma_{i,i-1} = \frac{X_i - X_{i-1}}{T_i - T_{i-1}} \quad (2)$$

где  $X_i$  – замеренное значение параметра в момент времени  $T_i$ .

Среднее значение скорости изменения параметра

$$\gamma_{ср} = \frac{\sum_{i=2}^n \gamma_{i,i-1}}{n - 1} \quad (3)$$

где  $n$  – количество замеров параметра.

Наиболее характерен случай, когда разброс значений скорости изменения параметра подчинен нормальному закону:

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\gamma - \bar{\gamma})^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

где:  $f(\gamma)$  – плотность вероятности;  $\bar{\gamma}$  – математическое ожидание;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение скорости процесса.

Предельно допустимое значение параметров  $X_{\text{пред}}$  установлено из условия правильности функционирования изделия. При  $X = X_{\text{пред}}$  наступает предельное состояние, которое и определяет срок службы (наработку) изделия до отказа  $T = T_{\text{от}}$ .

Средний срок службы изделия

$$T_{\text{ср}} = (X_{\text{пред}} - X_0) / \gamma_{\text{ср}} \quad (5)$$

Остаточный ресурс, определяемый по результатам измерения значения параметра в  $i$ -той точке

$$T_{\text{ост}i} = (X_{\text{пред}} - X_i) / \gamma_{\text{ср}} \quad (6)$$

Если полученное значение остаточного ресурса меньше периодичности ТР, то ремонт элемента следует произвести при ближайшем текущем ремонте.

## 5. Планирование ремонта и замен элементов машин по уровню надежности элементов

Любая машина представляет собой сложную техническую систему, надежность которой определяется составляющих ее элементов [5, 6]. Анализируя структурную надежность системы можно установить показатели надежности ее элементов [7]. Надежность элементов машин является функцией времени их эксплуатации. Задавая определенный уровень надежности элементов и, зная закон изменения надежности по времени, можно найти периодичность их замены.

Определение уровня надежности элемента может производиться по различным критериям. Рассмотрим вероятностную модель определения наработки до предупредительной замены по критерию минимизации средневзвешенных затрат на ремонты [8–13]. В качестве весовых коэффициентов для двух альтернатив: аварийного ремонта, вызванного внезапным отказом, и предупредительного ремонта, используется соответственно риск пропуска отказа (соответствует  $F(TP)$ )

$$R_p = \int_0^{T_p} f(T) dT = F(T_p) = 1 - P(T_p) \quad (7)$$

и риск перерасхода средств на предупреждение отказов (соответствует вероятности безотказной работы)

$$R_n = \int_{T_p}^0 f(T) dT = P(T_p) \quad (8)$$

где:  $f(T)$  – плотность распределения наработок до отказа с математическим ожиданием  $T_{\text{от}}$ ;  $T_p$  – наработка, на которой выполняется предупредительный ремонт.

Подлежащие минимизации затраты определяются по формуле

$$Z = Z_p \cdot R_p + Z_n \cdot R_n = Z_p [1 - P(T_p)] + Z_n \cdot P(T_p) \rightarrow \min \quad (9)$$

где:  $Z_p$  – суммарные затраты на аварийный ремонт;  $Z_n$  – суммарные затраты на предупредительный ремонт.

Если составляющие затрат выразить через средние стоимости аварийного  $C_p$  (с учетом ущерба  $Y$  – прямого и сопряженного из-за остановки работ) и предупредительного  $C_n$  ремонтов, то получим

$$Z = T_{\text{кр}} \{ (C_n + Y) \cdot [1 - P(T_p)] + Z_n \cdot P(T_p) \} \cdot T_p^{-1} \rightarrow \min \quad (10)$$

где  $T_{\text{кр}}/T_p$  – количество эксплуатационных (ремонтных) циклов на заданной конечной наработке  $T_{\text{кр}}$  (например, до капитального ремонта – КР).

Для рассматриваемого примера разработана Mathcad-программа. На рисунке 3 представлены графически результаты расчета оптимальных периодов замены элементов по минимуму затрат за ремонтный цикл для различных значений ущерба  $Y$ .

Расчет выполнен для двух видов заменяемых элементов одноковшовых экскаваторов (ОКЭ) – рукавов высокого давления (РВД) и зубьев ковша. Среднее время наработки на отказ ( $\bar{T}_{от}$ ) РВД соизмеримо с наработкой до КР (6500 и 8000 мото-часов соответственно), поэтому количество замен в межремонтный период не превышает двух, что снижает показательность некоторых диаграмм. Однако для РВД велико влияние сопряженного с внезапным отказом ущерба ( $Y$  – до 10000 руб.), т.к. в случае разрыва РВД вытекает большое количество дорогостоящей рабочей жидкости. Для зубьев ковша  $\bar{T}_{от} = 400 \dots 500$  мото-часов, поэтому количество замен для элементов с разными показателями надежности значительно разнится. На рисунке 4 представлено влияние характеристик надежности заменяемых элементов на величину оптимальных периодов замены элементов, рассчитанных по минимуму затрат за ремонтный цикл. Использование данного метода анализа позволяет подойти к оптимизации закупок запчастей с точки зрения «цена-качество».

Влияние величины ущерба от внезапных отказов элемента оборудования на значение оптимальных периодов его замены показано на рисунке 5. Расчет выполнен для двух заменяемых элементов с различными параметрами характеристик надежности.

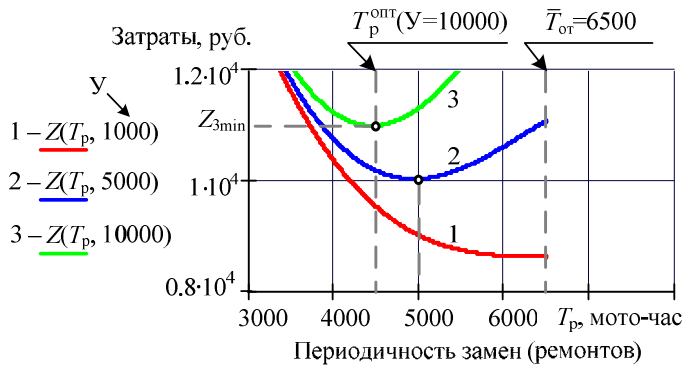


Рис. 3. Результаты расчета оптимальных периодов замены элементов (РВД) по минимуму затрат за ремонтный цикл для различных значений ущерба  $Y$  (руб.): 1 – 1000, 2 – 5000, 3 – 10000

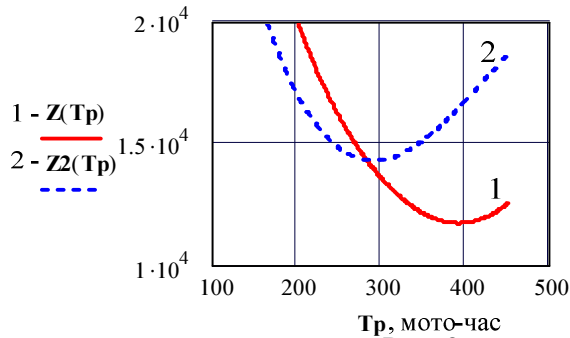
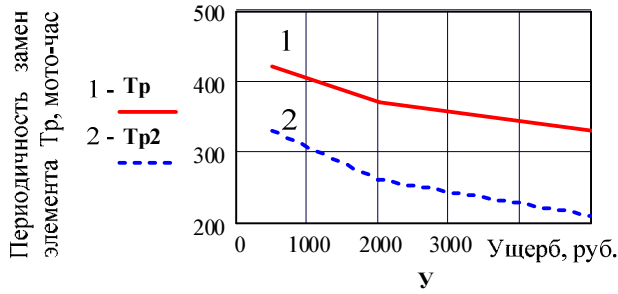


Рис. 4. Влияние надежности заменяемых элементов (зубья ковша) на величину оптимальных периодов замены элементов, рассчитанных по минимуму затрат за ремонтный цикл (см. характеристики в таблице 1)

**Таблица 1**

Характеристики заменяемого элемента (на примере зуба экскаватора)

Элемент	$\bar{T}_{от}$ , мото-час	$\sigma$ , мото-час	$C_{п}$ , руб.	$C_{р}$ , руб.	$У$ , руб.
№ 1	550	100	500	800	1000
№ 2	450	120	400	700	1000

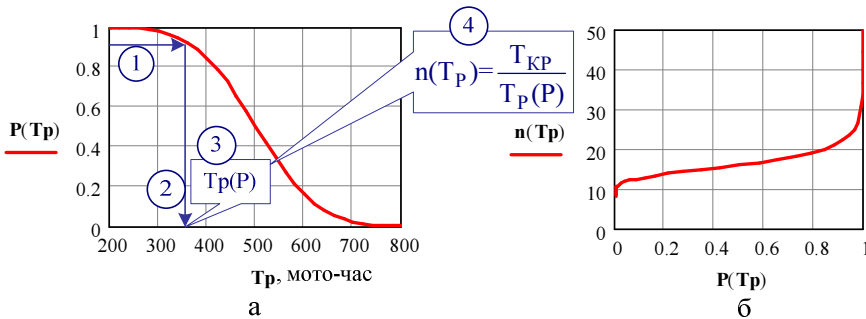


**Рис. 5.** Влияние величины ущерба от внезапных отказов элемента оборудования (зуба) и его характеристик на значение оптимальных периодов замены (на примере зуба экскаватора)

Полученное в результате оптимизации значение ТР служит основанием для расчета потребности в запчастях, причем целесообразно приурочивать замену к ближайшему (лучше предшествующему по сроку) плановому мероприятию ТОР.

Рассматриваемый метод расчета периодичности и количества замен элемента оборудования позволяет решать задачу также с точки зрения обеспечения заданной вероятности безотказной работы. На рисунке 6 представлена схема и результаты такого расчета в графической форме. На рисунке 7 приведены результаты расчета для элементов с различным уровнем надежности.

$$n(T_p) = \frac{T_{кр}}{T_p(P)} T_p(P) n(T_p)$$



**Рис. 6.** Определение количества замен  $n(T_p)$  элемента оборудования в зависимости от требуемой вероятности безотказной работы, где: а - связь вероятности безотказной работы  $P(T_p)$  с периодичностью  $T_p$  замен элемента оборудования (в мото-часах); б - зависимость количества замен  $n(T_p)$  элемента оборудования от требуемой вероятности его безотказной работы  $P(T_p)$ ;  $T_{кр}$  - плановая наработка до капитального ремонта



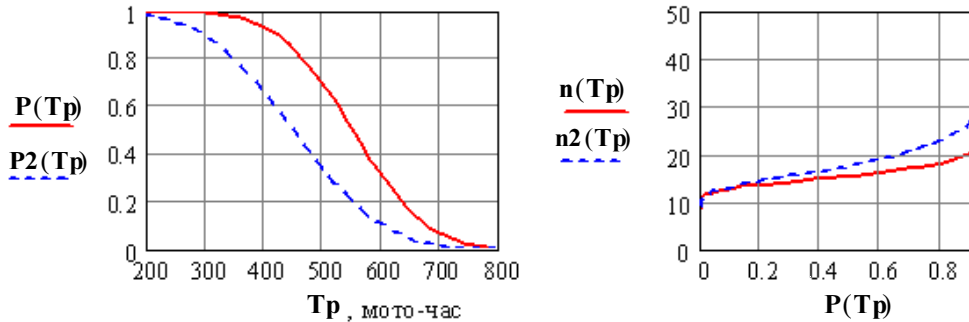


Рис. 7. Влияние надежности заменяемого элемента (зуб ковша) на периодичность (а) и количество (б) его замен

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта «Разработка методики формирования структурных элементов транспортной системы по экономическим и надежностным критериям (на примере парков транспортно-технологических машин)», проект № 15-02-00512.

Потеря работоспособности, т.е. переход в неработоспособное состояние, происходит по причине отказа. Отказ может быть внезапным (поломка машины) или параметрическим (выход параметров за допустимые пределы). Обеспечение работоспособности сложных технических объектов, к которым относятся и ТТМ, осуществляется посредством технических обслуживаний и ремонтов (ТОР). Основная задача ТОР – снизить до целесообразного уровня вероятность внезапных отказов, т.е. обеспечить основное свойство надежности – безотказность, и сохранять значения параметров в допустимых пределах. Задача решается посредством своевременного ремонта или замены влияющих на работоспособность элементов машины.

Ремонт производится в соответствии с принятой в настоящее время прогрессивной стратегией эксплуатации – по техническому состоянию (ТС). Точки зрения вероятности внезапных отказов оценка ТС проводится по статистическим данным эксплуатации данного элемента, и момент проведения ремонта назначается по выбранной вероятности безотказной работы. Точки зрения параметрической работоспособности оценка ТС проводится значениям параметров ремонтируемых узлов, определяемым посредством диагностирования. Ремонт (замена) элементов производится до наступления предельных значений вероятности безотказной работы или значений параметров.

Предельные значения показателей уровня надежности и параметров ТС элементов выбираются с учетом типа объекта, характера его использования, структурной схемы его надежности, вида (или способа определения) предельного состояния. Так, примером типа объекта может служить транспортное средство. Рассмотрим два типа транспортных средств – пассажирский самолет и сельскохозяйственный трактор. Отказ важного элемента самолета в полете приведет к катастрофе, а у трактора к остановке в поле. Последствия отказа сильно отличаются, поэтому и виды предельного состояния тоже будут различны. Для самолета предельное состояние – значение вероятности отказа в полете, обусловленное требованиями безопасности. У трактора – значение вероятности отказа, обусловленное требованиями экономической целесообразности его использования. Структурная схема определяется наличием резервирования элементов. У самолета большинство систем резервировано, у трактора – только тормозная система.

Динамика текущих значений параметров ТС элементов в процессе эксплуатации отслеживается посредством проведения периодического диагностирования согласно плану проведения мероприятий ТОР или посредством непрерывного диагностирования специальными приборами, встроенными в эксплуатируемый объект, и наблюдениями персонала. Динамика текущих значений показателей уровня надежности оценивается на основании сбора статистической информации по отказам элементов.

Планирование мероприятий по обслуживанию, ремонту и замене элементов производится с учетом специфики эксплуатации объектов. Например, для машин транспортного строительства (газопроводы), используемых сезонно в труднодоступных для проведения мероприятий по обслуживанию и ремонту местах, период между ремонтами будет длительным. Поэтому запас ресурса элементов машин до ремонта или замены должен назначаться соответственно увеличенным. Поэтому возрастает и объем работ по ремонту и замене перед сезоном работы. Такой метод ТОР по состоянию можно назвать превентивным.

## Литература

- [1] Bujaczek R., Agricultural machines maintenance and repair services in western pomerania / Bujaczek R., Sławiński K., Grieger A., *Technical Sciences* 2013, 16(1), 13–18. [[http://www.uwm.edu.pl/wnt/technicalsc/tech\\_16\\_1/b02.pdf](http://www.uwm.edu.pl/wnt/technicalsc/tech_16_1/b02.pdf)].
- [2] Makhutov N., Integrated diagnostics of limit states and early warning of emergency conditions of structures / Makhutov N., Fomin A., Ivanov V., Permyakov V., Vasil'ev I., *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 2013, 42, 2, 109–113.
- [3] Trukhanov V., Mathematical model of changing the reliability level of products considering the control actions expressed in the form of probabilities, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 2014, 43, 2, 124–126.
- [4] Makhutov N., Application of scenario analysis in the assessment of structural reliability of complex technical systems / Makhutov N., Reznikov D., *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 2015, 44, 8, 675–686.
- [5] Shao-Fei Jiang, Structural Reliability Assessment by Integrating Sensitivity Analysis and Support Vector Machine / Shao-Fei Jiang, Da-Bao Fu, Si-Yao Wu, *Mathematical Problems in Engineering* 2014, Volume 2014 (2014), Article ID 586191, 6 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/586191>.
- [6] Protasov A., Applying the finite-element method for evaluating the reliability of mechanical systems / Protasov A., Nikolaychuk O., *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 2011, 40, 1, 27–30.
- [7] Chernyavsky A., Evaluation of reliability of low damage probability calculations for unitary structures / Chernyavsky A., Shadchin A., *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 2010, 39, 4, 402–406.
- [8] Repin S., Renewal Methods of Construction Machinery According to Technical and Economic Indicators (Metodika formirovaniya parka transportno-tehnologicheskikh mashin po tekhniko-ekonomicheskim pokazatelyam), *Applied Mechanics and Materials* 2015 (10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.990) Vols. 725–726 (2015), 990–995.
- [9] Pavlov V., Calculating reliability indices under the conditions of an alternating operating regime, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 2012, 41, 5, 431–434.
- [10] Trukhanov M., New approach to calculating the desired reliability of complex systems of special movable facilities, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 2008, 37, 5, 530–533.
- [11] Matvienko G., Modeling and fracture criteria in current problems of strength, survivability and machine safety, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability* 2014, 43, 3, 242–249.
- [12] Repin S.V., Metodologiya obespecheniya rabotosposobnosti transportno-tehnologicheskikh mashin i kompleksov sredstvami tekhnicheskoy ekspluatatsii / Repin S.V., Rulis K.V., Zazykin A.V., Krupin S.A. – Monografiya. – SPb.: SPbGASU, 2012, 218 s.
- [13] Optimizing the service life of plant machinery and vehicles using information system for management of engineering status / S. Repin, S. Evtjukov, J. Rajczyk, *Architecture and Engineering* 2016, 1(2), <http://aej.spbgasu.ru/index.php/AE/issue/view/Issue/4/4>.

## Planning of the renovation of transport and technological machines determined on the basis of the assessment of the technical condition of the object

### ABSTRACT:

The efficiency of using transport and technology machines (TTM) as any material objects is determined by the level of reliability characterized as a property occurring over time in the adopted ranges of values of parameters characterizing the ability to perform the required functions in the ranges specified and their conditions defined by standards, e.g. GOST 27,000.83. Machine reliability is a set of properties that includes stability, long-term behavior of component features as an element of repair capacity. The notion of reliability period is also poured as load capacity in the work process, characterized as the state of the object at

which it is able to perform programmed functions maintaining the values specified in the normative documentation. Parameters characterizing the fulfillment of given functions are determined by operational indicators of a given object, among which it is defined; efficiency, power, speed, thrust, braking characteristics, engine parameters in the load process, etc. For the practical evaluation of the machine user the concept of working capacity was expressed in the assessment of a complex technical condition for which it is possible to effectively plan their renovation, where the individual components of the parameters can be measurable parameters.

**KEYWORDS:**

planning the renovation of technological and transport machines; reliability; operation; technical condition; measurement parameters of technical condition