

УДК 614.846.63

Е.Г. КАЗУТИН, канд. техн. наук

начальник кафедры<sup>1</sup>

E-mail: evgeny\_kazutin@tut.by

А.В. КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук, доц.

ученый секретарь<sup>2</sup>

E-mail: a.v.kovalenko@mail.ru

А.М. ГОМАН, канд. техн. наук, доц.

начальник отдела динамического анализа и вибродиагностики машин НТЦ «Карьерная техника»<sup>2</sup>

E-mail: ark.goman@gmail.com

А.С. СКОРОХОДОВ, канд. техн. наук, доц.

ведущий научный сотрудник отдела динамического анализа и вибродиагностики машин

НТЦ «Карьерная техника»<sup>2</sup>

E-mail: skanst@yandex.ru

<sup>1</sup> Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь<sup>2</sup> Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.07.2024.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАСХОДА РЕСУРСА ПОЖАРНЫХ АВТОЦИСТЕРН

*Обобщены результаты ранее выполненных исследований и представлена методика оценки расхода ресурса пожарных автоцистерн, которая учитывает специфические особенности практической эксплуатации пожарного автомобиля, а также его неотъемлемой составной части — цистерны, оказывающей существенное воздействие на утрату ресурса автомобиля в целом. Методика сочетает в себе расчетные и статистические методы, а также развивает подход, основывающийся на учете двух взаимозависимых факторов: пробега и времени эксплуатации. В комплексе это дает возможность дифференцированно определять расход ресурса пожарных автоцистерн, учитывая средневзвешенный расход ресурсного потенциала их основных составных частей. При этом к известным пяти типовым группам основных частей автомобиля, имеющим сходный характер утраты ресурса в зависимости от пробега (условий, характера нагружения и процессов повреждения) и времени эксплуатации, в случае автоцистерн предлагается добавить еще одну характерную группу — цистерны, используя для оценки ее ресурса зависимость, учитывающую расход ресурса по коррозионному износу. Приведен пример расчета расхода ресурса пожарной автоцистерны. Полученные результаты показывают значения, соответствующие реальным процессам устаревания. Область применения полученных результатов: оценка состояния пожарного автомобиля и его цистерны после длительного хранения; продление эксплуатации пожарной автоцистерны по истечении установленного срока службы; продление срока эксплуатации после проведения капитального ремонта; продление срока эксплуатации после выработки основного ресурса; принятие решения о целесообразности проведения ремонта или вывода автоцистерны из эксплуатации.*

**Ключевые слова:** пожарная автоцистерна, физический износ, пробег, время эксплуатации, расход ресурса, методика оценки

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-3-68-63-70>

**Введение.** На вооружении подразделений МЧС Республики Беларусь состоит большое количество пожарных автоцистерн (ПАЦ) различной емкости. Используются ПАЦ в жестких условиях, что отражается на установлении строгих нормативов технической эксплуатации, методов поддержания работоспособности и оценки их технического состояния. Основными факторами, влияющими на техническое состояние ПАЦ, являются

качество ее изготовления (ремонта), наработка, выраженная пробегом в километрах, и продолжительность эксплуатации, выраженная временем в годах. Проблема оценки реального ресурса техники приобретает особую значимость в условиях продолжительно эксплуатирующегося парка ПАЦ и необходимости поддержания боеготовности подразделений МЧС. При этом данные по условиям эксплуатации ПАЦ и влиянию режимов ра-

боты систем и механизмов на износ могут быть использованы как для проведения анализа работы техники, так и для получения необходимой исходной информации для оценки расхода ресурса [1].

**Обзор подходов по определению износа (расхода ресурса) транспортных средств.** Часто физические процессы, связанные с изменением ресурсных свойств и приводящие к снижению стоимости объекта, называются *физическим износом* [2, с. 71]. В рекомендуемой в настоящее время методике [3] для оценки машин и оборудования определение физического износа производится через остаточный ресурс.

Для вычисления совокупного износа используется формула [4, с. 23, 24]:

$$I_{об} = 1 - (1 - I_{ф}) (1 - I_{фун}) (1 - I_{в}), \quad (1)$$

где  $I_{об}$  — общий или совокупный износ;  $I_{ф}$  — физический износ;  $I_{фун}$  — функциональный износ;  $I_{в}$  — внешний износ.

Здесь *физический износ* характеризует потерю элементами машины своих первоначальных технических характеристик в процессе ее эксплуатации; *функциональный износ* характеризует потерю способности использоваться по своему прямому назначению; *внешний износ (устаревание)* характеризует потерю свойств вследствие технического прогресса (в результате развития технологий становится дешевле произвести или купить новую машину).

Вместе с тем такой подход подвергается критике в работе [5], поскольку указанные износы имеют различную природу своего возникновения и их величины могут быть вычислены отдельно друг от друга. Анализ определений физического износа и остаточного ресурса показывает, что они не являются взаимодополняющими понятиями, хотя сумма их величин равна начальному ресурсу объекта оценки (под остаточным ресурсом понимается время до перехода машины в неработоспособное состояние или до перехода в состояние, при котором машине потребуется ремонт или замена). Износ обычно оценивают в процентном соотношении: 0 % — износ нового объекта; 100 % — износ объекта, полностью исчерпавшего ресурс использования. Расход ресурса является расчетной величиной и для капитально отремонтированной ПАЦ устанавливается не менее 0,2 (20 %). ПАЦ, имеющие процент износа менее 50 %, считаются находящимися в исправном состоянии. Имеющие более 50 % износа — в неисправном состоянии, требуют проведения ремонта. Если в результате расчета значение расхода ресурса получается более 90 %, то расход ресурса для таких ПАЦ устанавливается 0,9. Их восстановление технически невозможно или экономически нецелесообразно, и требуется списание.

Еще несколько методов оценки физического износа транспортного средства (ТС) с учетом его

технического состояния предложены в источниках [6–9].

Метод расчета физического износа с учетом возраста и пробега ТС с начала эксплуатации целесообразно применять для оценки физического износа ТС, по которым нормативно-технической документацией (НТД) не установлены нормативы пробега (срока службы) до списания [6]:

$$I = (1 - e^{-k}) \cdot 100, \quad (2)$$

где  $e \approx 2,72$  — основание натурального логарифма экспоненциальной функции;  $k$  — функция, зависящая от пробега ПАЦ с начала эксплуатации ( $L_{ф}$ , тыс. км) и срока эксплуатации ТС ( $T_{ф}$ , лет). В приложении 4 [6] для ПАЦ  $k = 0,080T_{ф} + 0,0045L_{ф}$  (грузовые автомобили, автомобили-тягачи, прицепы и полуприцепы полной массой свыше 3,5 т до 16 т марок стран бывшего СССР и КНР).

В том случае, когда при оценке невозможен контроль технического состояния ТС, его физический износ может быть определен нормативным методом с корректированием [7]:

$$I_{ф} = \frac{L_{ф}}{L_{н} K_1 K_2 K_3} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $L_{ф}$  — фактический пробег с начала эксплуатации транспортного средства на дату оценки (определяется по спидометру), тыс. км;  $L_{н}$  — нормативный пробег до списания (в приложении 29 [7] для ПАЦ — 160 тыс. км), тыс. км;  $K_1, K_2, K_3$  — коэффициенты корректирования нормативного пробега (нормативного срока службы) до списания в зависимости от условий эксплуатации, модификации ПАЦ и организации его работы, природно-климатических условий. В приложении П к [10] для ПАЦ, эксплуатирующихся в г. Минске, коэффициенты равны:  $K_1 = 0,8; K_2 = 0,95; K_3 = 1,0$ .

В [8] расчетный процент износа определяется по формуле:

$$I_p = (I_1 P_{ф} + I_2 D_{ф}), \quad (4)$$

где  $I_1$  — показатель износа по пробегу (в % на 1000 км пробега), приведен в приложении 9 [8] (для ПАЦ емкостью 5000 л составляет 0,37, для 2500 л — 0,41);  $P_{ф}$  — фактический пробег на день осмотра с начала эксплуатации или после капитального ремонта (КР), тыс. км;  $I_2$  — показатель старения по временному фактору (% в год) приведен в приложении 10 [8]. Для ПАЦ на шасси грузовых автомобилей составляет 0,7–1,56 (для среднегодового пробега ПАЦ 5–10 тыс. км среднее значение составляет 1,49);  $D_{ф}$  — фактическая длительность эксплуатации (срок службы) с начала эксплуатации или после КР, лет.

Расчет величины физического износа для автотранспортного средства, принадлежащего хозяйствующим субъектам, определяется по формуле [8]:

$$I_{\phi} = I_{2A}D_{\phi} + I_{1A}P_{\phi}, \quad (5)$$

где  $I_{2A}$  — годовая норма амортизационных отчислений (для ПАЦ в приложении 14 [8] составляет 10 %), %;  $I_{1A}$  — покิโลметровая норма амортизационных отчислений (%), для ПАЦ по таблице в приложении 9 составляет  $0,37 \cdot 1,3 = 0,48$ , где 1,3 — поправочный коэффициент для специальной оперативно-служебной техники (указан после приложения 10 [8]).

Расход ресурса технических средств Министерства обороны Республики Беларусь, для которых назначены показатели ресурса, срок службы, определяется [8]:

$$P_p = \frac{\sum_{n=1}^N P_{\phi,n}}{N} \cdot 100, \quad (6)$$

где  $P_p$  — расход ресурса, %;  $n$  — показатель ресурса, срока службы (хранения), по которому проводится расчет;  $P_{\phi,n}$  — фактическое значение показателя ресурса, срока службы (хранения) на момент составления акта (в часах, моточасах, циклах работы, километрах пробега, единицах объема, годах);  $P_{н.п.}$  — значение назначенного показателя ресурса, срока службы (хранения) до списания (в часах, моточасах, циклах работы, километрах пробега, единицах объема, годах);  $N$  — количество параметров, определяющих ресурсы, сроки службы (хранения) [11].

На основании этих методик проведены расчеты физического износа нескольких ПАЦ, имеющих различный пробег и продолжительность эксплуатации (таблица 1).

Полученные данные показывают, что различный подход к учету воздействия факторов пробега и времени эксплуатации приводит к различным результатам расчета. Так, формулы (3)–(5) на начальных стадиях эксплуатации (3 года, 5–15 тыс. км) дают заниженные результаты, а формулы (2) и (6) — завышенные результаты износа ПАЦ. При увеличении времени эксплуатации пробега (9 и 13 лет, 90–100 тыс. км.) показатели износа по формулам (4) и (5) выравниваются и прибли-

жаются к 50 %, по формулам (2) и (6) превышают 50 %, а по формуле (3) существенно превышают данное значение, указывая на значительный расход ресурса ПАЦ.

Кроме того, данные методики не учитывают специфику применения ПАЦ и особенно ее цистерны, в связи с чем, их использование в подразделениях МЧС Республики Беларусь без практической проверки не может быть рекомендовано.

**Постановка задачи.** Как было показано выше, представленные в таблице 1 методики не могут быть применены для расчета расхода ресурса ПАЦ, так как они не учитывают специфические особенности практической эксплуатации цистерны. В связи с этим предлагается взять за основу методику, предполагающую деление специального автомобиля на основные части [12], дополнив ее группой «цистерны» как неотъемлемой составной частью ПАЦ. Это позволит, проводя несложные математические расчеты, оценить расход ресурса ПАЦ, учитывая при этом факторы воздействия на одну из ее основных частей — цистерну. Такой подход особенно актуален для ПАЦ, уже отработавших установленные сроки службы, когда необходимо принять решение: продлить срок эксплуатации, провести ремонт в условиях производственно-технических центров МЧС (промышленных предприятий) или списать ввиду невозможности проведения ремонта.

**Расход ресурса основной части ПАЦ.** В работе [13] введено понятие расхода ресурса  $K_p$  основной части образца техники в относительных единицах как функция ее наработки и времени эксплуатации. Расход ресурса предложено определять следующим образом:

$$K_p = 1 - (1 - K_L)(1 - K_T), \quad (7)$$

где  $K_L$  — расход ресурса по пробегу в относительных единицах для любой из основных частей автомобильного шасси или агрегатов гидравлической системы либо расход ресурса по накоплению циклической усталости в относительных единицах

Таблица 1 — Расчет физического износа ПАЦ, %  
Table 1 — Calculation of physical wear of fire tankers, %

Использованная формула	Марка ПАЦ, пробег, срок эксплуатации			
	АЦ-5,0-50 (5309), 5 тыс. км, 3 года	АЦ-2,5-40 (4333), 90 тыс. км, 13 лет	АЦ-5,0-40 (5337), 15 тыс. км, 3 года	АЦ-5,0-40 (5337), 100 тыс. км, 9 лет
$I = (1 - e^{-k}) \cdot 100$ (2)	23,1	76,4	26,5	68,9
$I_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{L_n K_1 K_2 K_3} \cdot 100$ , (3)	4,1	74	12,3	82,2
$I_p = (I_1 P_{\phi} + I_2 D_{\phi})$ (4)	6,3	56,3	10	50,4
$I_{\phi} = I_{2A} D_{\phi} + I_{1A} P_{\phi}$ (5)	2,7	44,5	7,5	48,9
$P_p = \frac{\sum_{n=1}^N P_{\phi,n}}{N} \cdot 100$ , (6)	26,4	52,9	19,7	76,2

для ПАЦ;  $K_T$  — расход ресурса по возрасту в относительных единицах для любой из основных частей автомобильного шасси или агрегатов гидравлической системы либо расход ресурса по коррозионному износу в относительных единицах для ПАЦ.

Входящие в формулу (7) параметры  $K_L$  и  $K_T$  в соответствии с рядом физических моделей утраты работоспособности совместно определяют ресурс ПАЦ, и в этом отношении формула (7) предпочтительнее формулы (1) с точки зрения физического описания процессов износа.

**Расход ресурса ПАЦ.** В публикации [14] представлено определение расхода ресурса основной составной части ПАЦ — цистерны — с учетом пробега и времени эксплуатации пожарного автомобиля  $K_{рц}$ . Полученная зависимость может быть применена для расчетов расхода ресурса всего образца ПАЦ как средневзвешенный расход ресурса его основных частей по выражению:

$$K_{ПАЦ} = \sum_{\varphi=1}^N K_{рф} \cdot \xi_{\varphi}, \quad (8)$$

где  $K_{рф}$  — расход ресурса  $\varphi$ -й основной части образца ПАЦ;  $\xi_{\varphi}$  — удельный показатель, имеющий смысл доли или вклада расхода ресурса  $\varphi$ -й основной части в совокупном расходе ресурса ПАЦ. В качестве  $\xi_{\varphi}$  предлагается использовать относительную массу, т. е. массовую долю основной части в общей сумме масс основных частей ПАЦ. Нахождение удельного показателя  $\xi_{\varphi}$  без учета функционального назначения частей автомобиля требует отдельного обоснования и будет рассмотрено в последующих работах.

Данное выражение в работе трактуется как средневзвешенный расход ресурса основных частей. Точнее его можно определить следующим образом: расход ресурса ПАЦ — снижение ресурсного потенциала ПАЦ с учетом весомости снижения ресурсного потенциала от его составных частей. Таким образом, учитывается различный вклад составных частей в общий расход ресурса, что имеет принципиальное значение.

**Модели расхода ресурса основных частей ПАЦ.** В работе [15] выделено пять типовых групп для основных частей машин, имеющих сходный характер утраты ресурса в зависимости от пробега (условий, характера нагружения и процессов повреждения) и времени эксплуатации:

- группа 1 — кабины, кузова легковых, грузовых автомобилей и автобусов;
- группа 2 — корпуса/рамы и кабины специальной колесной и гусеничной техники;
- группа 3 — рамы;
- группа 4 — коробки передач, раздаточные коробки;
- группа 5 — остальные агрегаты, имеющие нагруженные картера либо ненагруженные защитные кожухи.

Пять приведенных типовых групп (которые содержат различное количество основных составных частей) предлагается дополнить еще одной: группой 6 — цистерны. Методика расчета ресурса цистерны рассмотрена в работе [12]. Для типовых групп основных частей ПАЦ разработаны выражения для определения расхода ресурса по пробегу  $K_L$  и времени эксплуатации  $K_T$ .

Для кабины и кузова:

$$K_L = 1 - e^{-A_1 L}, \quad (9)$$

$$K_T = 1 - e^{-B_1 T}, \quad (10)$$

где  $L$  — пробег ПАЦ, тыс. км;  $T$  — срок эксплуатации, лет; коэффициенты  $A_1$  и  $B_1$  приведены в таблице 2.

Для рамы, коробки передач, раздаточной коробки, коробки отбора мощности, редуктора, пожарного насоса, двигателя и остальных агрегатов:

$$K_L = \frac{L}{A_2 L_{нк}} \text{ при } L/L_{нк} \leq 1,1; \quad (11)$$

$$0,95, \text{ при } L/L_{нк} > 1,1$$

$$K_T = 1 - e^{-B_2 T}, \quad (12)$$

где  $A_2$  — коэффициент запаса ресурса, показывающий, как соотносятся пробеги до полного исчерпания ресурса и пробег до КР основной части ПАЦ; 0,95 — предельное значение расхода ресурса, принятое с учетом того, что при использовании экспоненциальных зависимостей значение, равное 1, не достигается;  $L_{нк}$  — скорректированный нормативный пробег основной части ПАЦ до КР:

$$L_{нк} = L_n \cdot K_{нк}, \quad (13)$$

где  $L_n$  — нормативный пробег основной части ПАЦ до капитального ремонта, определяемый по нормативным документам;  $K_{нк}$  — коэффициент корректирования норм наработки ПАЦ, применяется в отраслевых нормативных документах:

$$K_{нк} = K_1 \cdot K_2, \quad (14)$$

где  $K_1$  — коэффициент, характеризующий дорожные условия эксплуатации ПАЦ и учитывающий рельеф местности, дорожное покрытие, условия движения;  $K_2$  — коэффициент, учитывающий тип ПАЦ и характер их использования (интен-

Таблица 2 — Определение коэффициентов  $A_1$ ,  $B_1$  и  $A_2$ ,  $B_2$   
Table 2 — Determination of coefficients  $A_1$ ,  $B_1$  and  $A_2$ ,  $B_2$

Кабина и кузов		
Пожарные автоцистерны	$A_1 = 0,002$	$B_1 = 0,14$
Остальные (кроме кабины и кузова) основные части		
Рама	$A_2 = 1,0/0,85 = 1,176$	$B_2 = 0,07$
Коробка передач, раздаточная коробка		$B_2 = 0,04$
Пожарный насос		$B_2 = 0,06$
Остальные агрегаты		$B_2 = 0,055$

сивность, нагруженность); коэффициенты  $A_2$  и  $B_2$  приведены в таблице 2.

Для цистерны:

$$K_L = \left( \frac{L}{L_{cp}} + A_{ц} \cdot \frac{L}{V_{cp}} \cdot v_d \cdot n_d \right) / [N]; \quad (15)$$

$$K_T = \left( \sum_{t=1}^T K_{п1.1} \cdot q_{п1}^{t-1} + \sum_{n=1}^N K_{п2.n} \cdot \beta_{2.n} \cdot T \right) / \Delta s, \quad (16)$$

где  $L_{cp}$  — среднее расстояние выезда ПАЦ, км;  $V_{cp}$  — средняя скорость движения ПАЦ, км/ч;  $v_d$  — частота колебаний цистерны, Гц;  $n_d$  — доля динамических нагрузок, вызывающих усталостные повреждения;  $A_{ц}$  — коэффициент, учитывающий перевод единиц измерения при расчете числа циклов нагружения;  $[N]$  — допустимое число циклов нагружения с учетом коррозионного воздействия;  $K_{п1.1}$  — глубинный показатель внутренней коррозии для первого года эксплуатации цистерны, мм/год;  $t$  — год эксплуатации;  $q_{п1}$  — знаменатель прогрессии, учитывающий влияние напряженного состояния при коррозионном воздействии;  $K_{п2.n}$  — глубинный показатель внешней коррозии цистерны, мм/год;  $\beta_{2.n}$  — доля действия по времени  $n$ -го внешнего фактора;  $T$  — продолжительность (время) эксплуатации (срок службы) цистерны (возраст ПАЦ), лет;  $\Delta s$  — допустимый износ цистерны, мм.

**Пример определения расхода ресурса ПАЦ.**

Время эксплуатации АЦ-5,0-40 (5337) с емкостью цистерны 5000 л на момент определения составило 16 полных лет. Нормативный пробег

основной части до КР  $L_{ц}$  принят по значению пробега до КР ПАЦ — 160 тыс. км. Фактический пробег — 37,0 тыс. км; фактическая наработка в стационарных режимах — 295 ч. Общая масса рассматриваемых основных частей ПАЦ  $m_0$  составляет — 3479 кг.

Сведения о замене отдельных основных частей ПАЦ приведены в таблице 3. Для двигателя и коробки передач, установленных после КР, учтены их фактические наработки при пробеге и в стационарных режимах после установки. При приведении наработок основных частей в стационарных режимах к пробегам принято, что 1 ч соответствует пробегу 50 км [7].

Данные по основным частям и результаты определения расхода ресурса приведены в таблице 4.

В таблице 5 приведены результаты, сравнивающие показатели расхода ресурса АЦ-5,0-40 (5337), полученные по существующим методикам (см. таблицу 1), с результатом по предложенной методике (см. таблицу 4).

Полученные результаты показывают значения износа, близкие к реальным для ПАЦ с пробегом 37 тыс. км и сроком эксплуатации 16 лет, в отличие от других методик, дающих либо повышенные значения (91,4 и 91,6 %, что говорит о необходимости списания еще работоспособной техники), либо заниженные (19,4–38 %, что нехарактерно для автоцистерны со сроком эксплуатации 16 лет).

**Заключение.** В работе предложен метод определения расхода ресурса ПАЦ, учитываю-

Таблица 3 — Сведения о замене основных частей АЦ-5,0-40 (5337)  
Table 3 — Information on replacement of main parts of the ATs-5,0-40 (5337)

Показатель	Основная часть, пробег (тыс. км) и наработка в стационарном режиме (часы) после установки		
	двигатель, 7,5 тыс. км, 95 ч	коробка передач, 8,1 тыс. км, 105 ч	задний мост, 12,5 тыс. км
Пробег после установки, тыс. км	$7,5 + 95 \cdot 0,05 = 12,25$	$8,1 + 105 \cdot 0,05 = 13,35$	12,5
Срок эксплуатации после установки, лет	7	8	10

Таблица 4 — Определение расхода ресурса АЦ-5,0-40 (5337)  
Table 4 — Determination of lifetime consumption of the ATs-5,0-40 (5337)

Основная часть	Нормативный пробег до КР или списания $L_{н}$ , тыс. км	Фактический пробег $L$ , тыс. км	Относительный пробег $L_{отн} = 100 \cdot L / L_{н}$ , %	Срок эксплуатации, лет	Расход ресурса основной части $K_p$ , %	Расход ресурса основной части, прошедшей КР, $K_p \cdot 1,2$ , %	Масса основной части $m$ , кг	Удельный показатель $\xi_0$ , %	Расход ресурса ПАЦ $K_{ПАЦ}$ , %
Рама	160,0	37,0	23,1	16	74,3	—	456	9,7	65,5
Двигатель	160,0	12,25	7,6	7	35,4	42,5	490	6,0	
Коробка передач	160,0	13,35	8,3	8	31,7	38,0	100	1,1	
Раздаточная коробка	160,0	37	23,1	16	60,7	—	120	2,1	
Передний мост	160,0	37	23,1	16	67,3	—	495	9,6	
Средний мост	160,0	37	23,1	16	67,3	—	432	8,3	
Задний мост	160,0	12,5	7,8	10	46,2	—	432	5,7	
Кабина	160,0	37	23,1	16	82,1	—	322	7,6	
Цистерна	160,0	37	23,1	16	84,7	—	632	15,4	

Таблица 5 — Расчет физического износа ПАЦ марки АЦ-5,0-40 (5337) с пробегом 37 тыс. км, срок эксплуатации 16 лет, %  
Table 5 — Calculation of physical wear of fire tanker of the ATs-5,0-40 (5337) brand with mileage of 37 thousand km, service life of 16 years, %

Использованная формула	Значение физического износа, %
$I = (1 - e^{-k}) \cdot 100$	91,4
$I_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{L_{н} K_1 K_2 K_3} \cdot 100$	30,4
$I_p = (I_1 \Pi_{\phi} + I_2 D_{\phi})$	38
$I_{\phi} = I_{2A} D_{\phi} + I_{1A} \Pi_{\phi}$	19,4
$P_p = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{P_{\phi,n}}{P_{н,n}}}{N} \cdot 100$	91,6
$K_{ПАЦ} = \sum_{\varphi=1}^N K_{p\varphi} \cdot \xi_{\varphi}^*$	66,4
$K_{ПАЦ} = \sum_{\varphi=1}^N K_{p\varphi} \cdot \xi_{\varphi}^{**}$	65,5

Примечание:

\*цистерна рассматривается как один из агрегатов;

\*\*цистерна рассматривается по методике [12].

ший специфические особенности ее практической эксплуатации, а также наличие неотъемлемой составной части — цистерны, оказывающей существенное воздействие на утрату ресурса пожарного автомобиля. Приведен пример расчета расхода ресурса образца ПАЦ по разработанной методике. Тем не менее для принятия окончательного решения о применимости рассмотренных методик в подразделениях МЧС Республики Беларусь необходимо проанализировать с их использованием имеющиеся статистические данные по списанию ПАЦ.

Использование предлагаемой методики позволит в дальнейшем разработать метод оценки остаточного ресурса ПАЦ, дифференцированно учитывающий расход ресурса всех ее основных частей.

## Список литературы

1. Казутин, Е.Г. Оснащенность пожарными автоцистернами подразделений МЧС и оценка технического состояния их резервуаров / Е.Г. Казутин, В.Б. Альгин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2015. — Вып. 4. — С. 264–269.

2. Оценка стоимости машин, оборудования и транспортных средств / А.П. Ковалев [и др.]. — М.: Интерреклама, 2003. — 488 с.
3. Лейфер, Л.А. Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей / Л.А. Лейфер, П.М. Кашникова // Имущественные отношения в Российской Федерации. — 2008. — № 1(76). — С. 66–79.
4. Саприцкий, Э.Б. Методология оценки стоимости промышленного оборудования / Э.Б. Саприцкий. — М.: Ин-т промышленного развития (Информэлектро), 1996. — 64 с.
5. Зайцев, Ю.С. Особое мнение об одном распространенном способе расчета износа материальных объектов [Электронный ресурс] / Ю.С. Зайцев. — Режим доступа: <http://www.valnet.ru/m7-300.phtml>. — Дата доступа: 12.04.2024.
6. Об утверждении правил определения размера вреда, причиненного транспортному средству в результате дорожно-транспортного происшествия, для целей обязательного страхования гражданской ответственности владельцев транспортных средств: приказ Белорусского бюро по транспортному страхованию от 14 сент. 2004 г., № 30-од [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://minfin.gov.by/upload/insurance/acts/transportstrahovaniye\\_30od.pdf](http://minfin.gov.by/upload/insurance/acts/transportstrahovaniye_30od.pdf). — Дата доступа: 12.04.2024.
7. Правила организации технической службы в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь: приказ МЧС Республики Беларусь от 30 дек. 2016 г., № 329. — Минск, 2016. — 269 с.
8. Методическое руководство по определению стоимости автотранспортных средств с учетом естественного износа и технического состояния на момент предъявления: РД 37.009.015-98 [Электронный ресурс]. — М., 2006. — 79 с. — Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index1/47/47849.htm>. — Дата доступа: 12.04.2024.
9. Weymar, E. Statistical analysis of empirical lifetime mileage data for automotive LCA / E. Weymar, M. Finkbeiner // Int J Life Cycle Assess. — 2016. — Vol. 21, iss. 2. — Pp. 215–223. — DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1020-6>.
10. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения: ТКП 248-2010 (02190). — Минск: БелГИСС, 2010. — 42 с.
11. Об утверждении Инструкции о порядке определения расхода ресурса технических средств службы горячего в Вооруженных Силах Республики Беларусь: приказ Мин-ва обороны Респ. Беларусь от 25 июля 2019 г., № 1060.
12. Казутин, Е.Г. Определение расхода ресурса пожарных автоцистерн / Е.Г. Казутин, А.В. Коваленко, М.К. Натурьева // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2023. — Вып. 12. — С. 181–186.
13. Альгин, В.Б. Расход ресурса автомобиля. Часть 1: Основные понятия / В.Б. Альгин, А.В. Вербицкий // Механика машин, механизмов и материалов. — 2009. — № 2(7). — С. 17–21.
14. Algin, V.B. Methodology and software in the field of «kinematics – quasistatics – durability» for design and operation stages of technically complicated items / V.B. Algin, T.S. Lahvinets, E.G. Kazutin // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2021. — Вып. 10. — С. 188–196.
15. Альгин, В.Б. Расход ресурса автомобиля. Часть 2: Модели расхода ресурса основных частей / В.Б. Альгин, А.В. Вербицкий, А.В. Коваленко // Механика машин, механизмов и материалов. — 2009. — № 3(8). — С. 5–10.

KAZUTIN Evgeny G., Ph. D. in Eng.

Head of the Department<sup>1</sup>

E-mail: evgeny\_kazutin@tut.by

KOVALENKO Alexander V., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Scientific Secretary<sup>2</sup>

E-mail: a.v.kovalenko@mail.ru

GOMAN Arkadiy M., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Head of the Department of Dynamic Analysis and Vibration-based Diagnostics of Machines of the R&D Center “Mining Machinery”<sup>2</sup>

E-mail: ark.goman@gmail.com

SKOROKHODOV Andrey S., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Leading Researcher of the Department of Dynamic Analysis and Vibration-based Diagnostics of Machines of the R&D Center “Mining Machinery”<sup>2</sup>

E-mail: skanst@yandex.ru

<sup>1</sup>University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 July 2024.

## METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE LIFETIME CONSUMPTION OF FIRE TANKERS

*The results of previously performed studies are summarized, and a methodology for estimating the lifetime consumption of fire tankers is presented. The proposed methodology takes into account the specific features of the practical operation of a fire truck, as well as its integral part — the tank, which has a significant impact on the loss of the lifetime of the vehicle as a whole. The methodology combines computational and statistical methods, and also develops an approach based on taking into account two interdependent factors: mileage and operating time. In combination, this makes it possible to differentially determine the lifetime consumption of fire tankers, taking into account the weighted average consumption of the lifetime potential of their main components. At the same time, to the known five typical groups of the main parts of the vehicle, which have a similar nature of lifetime loss depending on mileage (conditions, nature of loading and damage processes) and operating time, in the case of a tanker truck, it is proposed to add another characteristic group, tanks, using a dependence for assessing its lifetime, taking into account the lifetime consumption for corrosion wear. An example of calculating the lifetime consumption of a fire tanker is given. The results obtained show values corresponding to the actual processes of obsolescence. Scope of application of the results obtained is: assessment of the condition of a fire truck and its tank after long-term storage; extension of the operation of a fire tanker after the expiration of the established service life; extension of the service life after major repairs; extension of the service life after the main lifetime work out; decision on the expediency of repair or decommissioning of a tanker truck.*

**Keywords:** fire tanker truck, physical wear, mileage, operating time, lifetime consumption, assessment methodology

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-3-68-63-70>

### References

1. Kazutin E.G., Algin V.B. Osnashchennost pozharnymi avtotsisternami podrazdeleniy MChS i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya ikh rezervuarov [Technological level of fire truck tanks of divisions of the Ministry for Emergency Situations and assessment of the technical condition of their tanks]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2015, iss. 4, pp. 264–269 (in Russ.).
2. Kovalev A.P., et al. *Otsenka stoimosti mashin, oborudovaniya i transportnykh sredstv* [Valuation of machinery, equipment and vehicles]. Moscow, Interreklama Publ., 2003. 488 p. (in Russ.).
3. Leyfer L.A., Kashnikova P.M. Opredelenie ostatochnogo sroka sluzhby mashin i oborudovaniya na osnove veroyatnostnykh modeley [Determination of the remaining service life of machinery and equipment based on probabilistic models]. *Property relations in the Russian Federation*, 2008, no. 1(76), pp. 66–79 (in Russ.).
4. Sapritskiy E.B. *Metodologiya otsenki stoimosti promyshlennogo oborudovaniya* [Methodology for estimating the cost of industrial equipment]. Moscow, Institut promyshlennogo razvitiya (Informelekro) Publ., 1996. 64 p. (in Russ.).

5. Zaytsev Yu.S. *Osoboe mnenie ob odnom rasprostranennom sposobe rascheta iznosa materialnykh obektov* [A special opinion on one common method of calculating the depreciation of material objects]. 2005. Available at: <http://www.valnet.ru/m7-300.phtml> (accessed 12 April 2024) (in Russ.).
6. On approval of the rules for determining the amount of damage caused to a vehicle as a result of a traffic accident for the purposes of compulsory civil liability insurance of vehicle owners. *Order of the Belarusian Bureau of Transport Insurance*. September 14, 2004, no. 30-od. Available at: [http://minfin.gov.by/upload/insurance/acts/transportstrahovaniye\\_30od.pdf](http://minfin.gov.by/upload/insurance/acts/transportstrahovaniye_30od.pdf) (accessed 12 April 2024) (in Russ.).
7. Rules for the organization of technical services in emergency management bodies and departments of the Republic of Belarus. *Order of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus*. December 30, 2016, no. 329. 269 p. (in Russ.).
8. RD 37.009.015-98. *Metodicheskoe rukovodstvo po opredeleniyu stoimosti avtomototransportnykh sredstv s uchetom estestvennogo iznosa i tekhnicheskogo sostoyaniya na moment predyavleniya* [Methodological guide for determining the cost of motor vehicles, taking into account natural wear and technical condition at the time of presentation]. Moscow, 2006. 79 p. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Index1/47/47849.htm> (accessed 12 April 2024).
9. Weymar E., Finkbeiner M. Statistical analysis of empirical lifetime mileage data for automotive LCA. *The international journal of life cycle assessment*, 2016, vol. 21, iss. 2, pp. 215–223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1020-6>.
10. ТКР 248-2010 (02190). *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobilnykh transportnykh sredstv. Normy i pravila provedeniya* [Maintenance and repair of motor vehicles. Rules and regulations of the event]. Minsk, Belorusskiy gosudarstvennyy institut standartizatsii i sertifikatsii Publ., 2010. 42 p. (in Russ.).
11. On approval of the Instruction on the procedure for determining the lifetime consumption of technical means of fuel service in the Armed Forces of the Republic of Belarus. *Order of the Ministry of Defense of the Republic of Belarus*. July 25, 2019, no. 1060 (in Russ.).
12. Kazutin E.G., Kovalenko A.V., Naturjeva M.K. *Opreделение raskhoda resursa pozharnykh avtotsistem* [Determination of the life consumption of fire truck tanks]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2023, iss. 12, pp. 181–186 (in Russ.).
13. Algin V.B., Verbitskiy A.V. *Raskhod resursa avtomobilya. Chast 1: Osnovnye ponyatiya* [The lifetime consumption of the car. Part 1: Basic concepts]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2009, no. 2(7), pp. 17–21 (in Russ.).
14. Algin V.B., Lahvinets T.S., Kazutin E.G. *Methodology and software in the field of “kinematics – quasistatics – durability” for design and operation stages of technically complicated items*. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2021, iss. 10, pp. 188–196.
15. Algin V.B., Verbitskiy A.V., Kovalenko A.V. *Raskhod resursa avtomobilya. Chast 2: Modeli raskhoda resursa osnovnykh chastey* [The lifetime consumption of the car. Part 2: Lifetime consumption models of the main parts]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2009, no. 3(8), pp. 5–10 (in Russ.).