

УДК 629.363.7:614.8

*Приймаков А.Г., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ,  
Камардаш А.И., преп., НУГЗУ,  
Охрименко В.В., преп., НУГЗУ*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ, ИНЖЕНЕРНОЙ И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ**

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

В статье разработаны методические основы оптимизации назначенного ресурса автомобилей при выполнении аварийно-спасательных работ. Использован математический аппарат линейного программирования и теория массового обслуживания с экономическим критерием оптимальности.

**Ключевые слова:** оптимизация, линейное программирование, надежность, назначенный ресурс, экономический критерий

**Постановка проблемы.** Согласно Концепции и Программы научного обеспечения Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям при МО Украины от 2012 года одним из основных направлений и задач научного обеспечения деятельности службы есть разработка новых и модернизация существующих образцов техники и технологий, усовершенствование методов эксплуатации и испытаний аварийно-спасательной техники.

Согласно статистическим данным ГСЧС Украины за 2011 год в различных подразделениях эксплуатировались 7351 единиц основной и специальной техники на базе автомобилей, из них – 1851 единица в аварийно-спасательных отрядах, и 5500 единиц в пожарно-спасательных подразделениях.

Для автомобилей существуют определенные, экономически оправданные сроки службы, зависящие от физического износа конструкции.

Долговечность машинной техники измеряется оптимальными сроками службы.

Основой для экономической оценки качества и установления оптимальных сроков службы техники, количественно выражающих ее долговечность, из-за материального старения.

Несмотря на то, что последствия материального износа машин общеизвестны, изучение литературных источников показала недостаточную исследованность в части оптимизации срока эксплуатации автомобилей, занятых на технологических маршрутах аварийно-спасательной службы.

В силу интенсивной эксплуатации на максимальных режимах в тяжелых дорожных условиях, которые вызывают ускоренный износ основных агрегатов и увеличение затрат на ремонт и обслуживание, автомобили в большинстве подразделений ГСЧС Украины списываются прежде установленных заводом-изготовителем сроков эксплуатации [1].

Таким образом, для подразделений ГСЧС Украины актуальной является проблема оптимизации срока службы (назначенный ресурс) автомобилей, что обеспечить минимизацию текущих и капитальных затрат при их использовании.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Разные пути решения рассматриваемой проблемы предлагаются в публикациях отечественных и зарубежных авторов: Г.Ф. Бабушкина, Л.А. Бронштейна, Б.И. Геронимуса, Н.Я. Говорущенко, В.К. Губенко, Р. Джонса, В.Е. Канарчука, Р.Н. Колегаева, Е.С. Кузнецова, С.Р. Лейдермана, В.С. Лукинського, А.И. Селиванова, В.Э. Парунакяна, Р. Перифы, Г. Рецеи и др., [1-4].

Анализ работ указанных авторов показал, что в оптимизации сроков эксплуатации машин существует два направления:

1. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта, что приведет к безотказной продолжительной работе автомобиля и снижению эксплуатационных затрат. Это направление на сегодняшний день является преобладающим.

2. Оптимизация процесса эксплуатации автомобилей путем учета степени «рациональности» маршрута, характеризующие дорожные условия и загруженность, а также «рациональности» предыдущей эксплуатации, т.е. возраста машины. Это направление также ведет к снижению эксплуатационных затрат.

Изучение литературных источников показало, что на сегодняшний день отсутствует комплексный подход к решению проблемы оптимизации срока службы автомобилей аварийно-спасательной, инженерной и противопожарной техники (АСИПТ), включающей совершенствование процесса эксплуатации автомобилей с учетом тяжелых условий их работы, а также совершенствование системы технического обслуживания и ремонта.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной статьи является разработка методических основ оптимизации срока эксплуатации (назначенного ресурса) автомобилей АСИПТ ГСЧС Украины.

Проблему оптимизации сроков службы автомобилей АСИПТ предприятий ГСЧС предлагается решать комплексно, в два этапа:

1 этап. Совершенствование планирования загрузки и распределения автомобилей АСИПТ, что будет способствовать сохранению работоспособности до наступления предельного состояния машины.

2 этап. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта автомобилей, которое обеспечит надежность и долговечность их функционирования.

Первому этапу в оптимизации срока эксплуатации автомобилей АСИПТ отдается приоритет по сравнению со вторым этапом.

Рассмотрим подробнее первый этап оптимизации путем осуществления рационального распределения автомобилей на технологических маршрутах.

Со временем при интенсивной эксплуатации автомобилей в условиях функционирования происходит их износ, связанный с:

- влиянием на детали автомобиля напряжений, которые возникают вследствие переданных им усилий, а также динамических нагрузок от взаимодействия машины при движении с дорожным покрытием и при наличии абразива;
- влиянием остаточных напряжений, которые возникают при некоторых технологических процессах изготовления деталей и их сборки;
- влиянием внешней среды-температуры и ее изменений, скорости ветра, влажности, механически и химически активных веществ.

В реальных условиях эксплуатации на автомобиль действует совокупность указанных факторов, что приводит к возникновению новых явлений, ускоряющих процессы износа и старения, а это, в свою очередь, вызывает увеличение количество отказов на технологических маршрутах АСИПТ.

Как следствие, увеличиваются затраты на техническое обслуживание и ремонт, горюче-смазочные материалы из-за неудовлетворительного технического состояния автомобиля.

Исходя из вышеизложенного, предполагаем наличие зависимости между переменными затратами и количеством отказов на маршрутах.

Таким образом, для увеличения сроков эксплуатации машин необходимо определить зависимости между среднемесячным количеством отказов для автомобилей разных лет эксплуатации и среднемесячными переменными затратами на один автомобиль для последующей оценки «рациональности» маршрутов технологических выездов.

Под «рациональностью» маршрута будем понимать комплексную оценку эксплуатационных условий работы автомобилей в виде среднемесячных переменных затрат на маршруте, которые приходятся на один автомобиль и выражены в денежных единицах (грн).

Конечным итогом работы по выбору вида математических моделей является формирование их обобщенных характеристик. В обобщенную характеристику включаются: вид уравнения регрессии, значение его параметров, оценки точности и адекватности модели.

Далее оценим «рациональность» предыдущей эксплуатации автомобиля.

Под «рациональностью» предыдущей эксплуатации будем понимать комплексную оценку технического состояния автомобиля при его покупке, а также текущего технического состояния в виде математического ожидания количества отказов автомобиля определенного срока эксплуатации.

Действительно, поскольку количество отказов – величина, которая в результате эксплуатации автомобиля может принять то или другое (но только одно) значение, то она является случайной величиной.

После выполнения вышеизложенных действий появляется возможность оценить «рациональность» технологических маршрутов, т.е. рассчитать среднемесячные переменные затраты с использованием полученных функциональных зависимостей «количество отказов – переменные затраты» и значений среднемесячного количества отказов для автомобилей разных лет службы.

Следующий шаг – решение задачи рационального распределения автомобилей на технологических маршрутах АРИПТ. С учетом «рациональности» маршрутов и «рациональности» преды-

дущей эксплуатации для минимизации переменных затрат парка автомобилей.

Для осуществления рационального распределения автомобилей на маршрутах используем транспортную задачу линейного программирования, в основе которой лежит оптимальный план закрепления автомобилей одной марки и грузоподъемности за маршрутами [2].

Итак, в автоколонне ГСЧС Украины имеются группы автомобилей разных лет эксплуатации  $A_1, A_2, \dots, A_i$ .

Эти автомобили нужно распределить на существующих маршрутах перевозки технологических грузов  $M_1, M_2, \dots, M_i$ .

Количество автомобилей в каждой возрастной группе  $a_1, a_2, \dots, a_i$ .

Количество автомобилей, которые эксплуатируются на конкретном маршруте зависит от потребности в них и составляет  $m_1, m_2, \dots, m_i$ .

Сначала была определена «рациональность» маршрутов как значение среднемесячных переменных затрат на один автосамосвал в зависимости от «рациональности» предыдущей эксплуатации  $Z_{перij}$ .

Задача заключается в построении такого плана распределения автомобилей на маршрутах, при котором потребность в автомобилях на всех маршрутах будет удовлетворена, все машины разных возрастных групп будут задействованы на том или ином маршруте, и будет обеспечен минимум суммарных переменных затрат для парка, который отвечает наименьшему суммарному количеству отказов.

В общей математической форме задача имеет следующую запись:

все автомобили  $i$ -той группы должны быть задействованы в перевозках

$$\sum_{i=1}^m A_{ij} = a_i; \quad (1)$$

на маршруте должно быть обеспечено пребывание  $j$ -того количества автомобилей

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} = m_j; \quad (2)$$

при этом общие переменные затраты для парка автомобилей должны быть минимальными

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot Z_{nepij} \rightarrow \min ; \quad (3)$$

переменные, которые ищем, не могут быть отрицательными числами  $A_{ij} \geq 0$ ;

должен соблюдаться баланс

$$\sum_{j=1}^n M_j = \sum_{i=1}^m a_i , \quad (4)$$

где  $n$  – количество технологических маршрутов в подразделении ГСЧС Украины;  $m$  – количество возвратных групп автомобилей в подразделении ГСЧС.

Приведем табличную форму задачи (табл. 1).

В данное время известно несколько методов решения транспортной задачи линейного программирования: метод, основанный на принципе последовательного улучшения плана; метод последовательного сокращения несвязок. Выберем из двух наиболее распространенных методов метод последовательного улучшения плана (потенциалов) [2].

Таблица 1

Возрастная группа $A_j$	Маршрут движения $M_i$			Количество автомобилей в группе, ед.
	$M_1$	$M_2 \dots$	$M_j$	
$A_1$	$Z_{nep11}$	$Z_{nep12}$	$Z_{1j}$	$a_1$
$A_2$	$Z_{nep21}$	$Z_{nep22}$	$Z_{nep2j}$	$a_2$
$A_i$	$Z_{nepi1}$	$Z_{nepi2}$	$Z_{nepij}$	$a_i$
Количество автомобилей на маршруте, ед.	$M_1$	$M_2$	$M_j$	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n M_j$

Таким образом, приведенная совокупность этапов составления рационального распределения на маршрутах технологических рейсов с учетом «рациональности» маршрутов и «рациональности» предыдущей эксплуатации, позволит значительно снизить переменные, а значит, и в общем – эксплуатационные затраты.

Результатом решения задачи будет такое распределение автомобилей на технологических маршрутах, при котором новые автомобили будут эксплуатироваться на самых «нерациональных» маршрутах, старые – соответственно на менее «нерациональных».

Путем такого распределения достигается равномерный износ всего парка автомобилей, уменьшение количества отказов, снижение затрат на эксплуатацию, а значит увеличение рационального срока службы машин.

Рассмотрим подробнее второй этап оптимизации срока службы автомобилей АРИПТ путем совершенствования системы технологического обслуживания и ремонта для поддержания высокого уровня надежности, снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта.

Центральным звеном системы, формирующей стратегию управления техническим обслуживанием и ремонтом автомобилей АРИПТ, являются модели расчета:

1. Периодичности технического обслуживания.
2. Нарботок до проведения предупредительных ремонтов (сопутствующего и узлового).

Практически все применяемые на практике модели определения оптимальной периодичности профилактических операций можно разделить на две большие группы:

1. Детерминированные (экономические и технико-экономические).
2. Вероятностные или экономико-вероятностные.

Из многообразия существующих моделей, описанных в литературном источнике [3], необходимо рассмотреть несколько наиболее подходящих с учетом имеющейся информационной базы и потребностей подразделения ГСЧС. В последующем будет осуществлен выбор математической модели для использования в конкретном исследовании.

Детерминированные модели определения периодичности технического обслуживания с экономическим критерием оптимальности в виде суммарных затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт за эксплуатационный цикл строятся на основе

известной из теории управления запасами модели Уилсона. В качестве альтернатив выступает общее количество обслуживаний  $N_{TO}$ , и ремонтов  $N_P$  за эксплуатационный цикл. Общие затраты на конечном пробеге  $L$  периодичностью обслуживаний  $L_{TO}$  и при средней наработке на отказ  $L_{отк}=X(L_{TO})$  определяются по формуле

$$S = S_p + S_{TO} = \frac{C_p \cdot L}{X(L_{TO})} + \frac{C_{TO} \cdot L}{L_{TO}} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $N_{TO} = \frac{L}{L_{TO}}$ ,  $N_P = \frac{L}{X(L_{TO})}$ ,  $C_p$ ,  $C_{TO}$  - средняя стоимость ремонта и технического обслуживания соответственно.

Оптимальная периодичность технического обслуживания находится приравниванием к нулю производной от (5) по  $L_{TO}$ . Полагая  $C_p$  и  $C_{TO}$  фиксированными и не зависящими от  $L_{TO}$ , получим

$$\frac{[X(L_{TO})] \cdot d}{[X(L_{TO})]^2} + \frac{1}{L_{TO}^2} = 0 \quad (6)$$

Ключевым моментом в решении задачи (6) является определение зависимости  $X(L_{TO})$ , [4].

Детерминированные модели определения периодичности технического обслуживания основаны на использовании зависимости эксплуатационных затрат от пробега, интегрирующей в себе надежностные характеристики объекта. Сами затраты зависят от количества ремонта за пробег между техническими обслуживаниями, определяемого случайной величиной наработки до отказа. Следовательно, количество ремонтов и затраты также случайны, т.е. имеют вероятностную природу. Если эксплуатационные затраты разложить на составляющие, выражаемые через характеристики надежности, получим класс вероятностных моделей для определения периодичности профилактических мероприятий.

Из вероятностных моделей наиболее подходящей для автомобилей АРИПТ является модель определения периодичности технического обслуживания по интенсивности отказов.

В качестве допущения полагается, что периодичность  $L_{TO}$  определяется на некоторой конечной наработке  $L_k$  (например, на пробеге до  $K_p$ ), и при проведении технического обслуживания



обеспечивается полное восстановление надежных свойств объекта. При этом суммарные затраты за наработку  $L_k$  будут равны

$$S = (C_{TO} + C_p \cdot n_p) \cdot n_u = \frac{(C_{TO} + C_p \cdot n_p) \cdot L_k}{L_{TO}}, \quad (7)$$

где  $C_{TO}$ ,  $C_p$  – средние стоимости технического обслуживания и ремонта соответственно;  $n_p$  – количество ремонтов (отказов) за наработку между очередными техническими обслуживаниями  $L_{TO}$ ;  $n_u = \frac{L_k}{L_{TO}}$  – количество эксплуатационных циклов на пробеге  $L_k$ .

Количество ремонтов  $n_p$  может быть определено через интенсивность отказов  $\lambda(L)$

$$n_p = \int_0^{L_{TO}} \lambda(L) \partial L = -\ln P(L_{TO}). \quad (8)$$

Подставляя выражение для  $n_p$  в (7), получим модель для определения оптимальной периодичности технического обслуживания при возрастающей интенсивности отказов

$$S = \left[ C_{TO} + C_p \cdot \int_0^{L_{TO}} \lambda(L) \partial L \right] \cdot \frac{L_k}{L_{TO}} \rightarrow \min, \quad (9)$$

$$L_k \geq L_{TO} \geq 0. \quad (10)$$

В основу вероятностных моделей определение наработки до предупредительного ремонта положена идея минимизации средневзвешенных затрат на ремонты. В качестве весовых коэффициентов для двух альтернатив – аварийного ремонта, вызванного линейным отказом, и предупредительного (или технологического) ремонта – используется соответственно риск пропуска линейного отказа

$$R_p = \int_0^{L_p} f(L) \partial L = F(L_p) = 1 - P(L_p) \quad (11)$$

и риск перехода средств на предупреждение отказов

$$R_{II} = \int_{L_p}^0 f(L) \partial L = P(L_p), \quad (12)$$

где  $f(L)$  – плотность распределения наработок до отказа с математическим ожиданием  $L_{отк}$ ;  $L_p$  – наработка, на которой выполняется предупредительный ремонт.

Подлежащие минимизации затраты определяются по формуле

$$S = S_p \cdot R_p + S_{II} \cdot R_{II} = S_p \cdot [1 - P(L_p)] + S_{II} \cdot P(L_p) \rightarrow \min, \quad (13)$$

где  $S_p$  – суммарные затраты на аварийный ремонт;  $S_n$  – суммарные затраты на предупредительный ремонт.

Если составляющие затрат выразить через средние стоимости аварийного  $C_p$  и предупредительного  $C_n$  ремонтов, то получим

$$S = \left\{ C_p \cdot [1 - P(L_p)] + C_{II} \cdot P(L_p) \right\} \cdot \frac{L_k}{L_0} \rightarrow \min, \quad (14)$$

где  $\frac{L_k}{L_0}$  – количество эксплуатационных (ремонтных) циклов на заданной конечной наработке  $L_k$  (например, на пробеге до капитального ремонта);  $L_0$  – средняя условная наработка до отказа (при условии проведения предупредительных ремонтов на пробеге  $L_p$ ).

Определение величины  $L_0$  является ключевым моментом в расчетах по моделям типа (14).

Необходимо отметить объективную многовариантность в формировании ремонтно-профилактических стратегий, обусловленную разнообразием моделей. В нашем случае, поскольку тип модели определяет характер информационной базы, положенной в ее основу, и является заключительным этапом планирования работы автомобилей, предполагается использование вероятностных моделей определения оптимальной периодичности технического обслуживания по интенсивности отказа с экономическим критерием оптимальности.

В итоге после оптимизации срока эксплуатации автомобилей АРИПТ путем совершенствования планирования работы автомо-

билей на маршрутах технологических перевозок, а также совершенствования их технологического обслуживания и ремонта, будет оценен оптимальный срок эксплуатации машин на основе решения задачи динамического программирования.

**Выводы.** Разработанные динамические основы оптимизации срока эксплуатации автомобилей АРИПТ, работающих в подразделениях ГСЧС. Процесс оптимизации разделен на два этапа:

1 этап. Совершенствование планирования работы автомобилей на маршрутах с учетом дорожных условий, характеристик загрузки и возраста автомобиля, что будет способствовать сохранению работоспособности до наступления предельного состояния машины.

Математическим аппаратом для решения поставленной задачи является модель линейного программирования с экономическим критерием оптимальности.

2 этап. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта автомобилей, которое обеспечит надежность и долговечность их функционирования.

Математическим аппаратом для решения поставленной задачи является вероятностная модель определения периодичности технического обслуживания по интенсивности отказов с экономическим критерием оптимальности.

Таким образом, выбран математический аппарат, который будет использован на каждом из разработанных этапов.

Перечисленные этапы и выбранный математический аппарат позволят при их внедрении в подразделениях ГСЧС существенным образом снизить эксплуатационные затраты, а значит, оптимизировать срок эксплуатации автомобилей АРИПТ.

В итоге проверка гипотезы об оптимизации срока эксплуатации автомобилей АРИПТ в подразделениях ГСЧС Украины путем совершенствования планирования работы автомобилей, а также их технического обслуживания и ремонта, будет в последующем осуществлена при решении задачи динамического программирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Парунакян В.Э.; Помазков М.В.; Ступак В.В.; Атамонова Ю.В. Исследование температурного режима эксплуатации большегрузных автосамосвалов Белаз–7540 на технологических пе-

- ревозках высокотемпературных сталеплавильных шлаков // Защита металлургических машин от поломок: Межвузовский тематический сборник научных работ. Мариуполь, 2006. Вип. №9. – С. 110-17.
2. Геронимус Б.Л. экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте / Б.Л. Геронимус. – М.: Транспорт, 1977 – 160 с.
  3. Логистика автомобильного транспорта: концепция, методы, модели / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная и др. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 280 с. – ISBN 5-279-02317-5.
  4. Приймаков А.Г. Основы конструирования силовых волновых механизмов с позиции трибофатики / А.Г. Приймаков, Ю.А. Градыский, Г.А. Приймаков // Монография. – Харьков: Оберіг, 2012. – 302 с. – ISBN 976-966-8689-18-5.

Приймаков О.Г., Камардаш А.І., Охріменко В.В.

**Методичні основи оптимізації терміну експлуатації автомобілів аварійно-рятувальної, інженерної та протипожежної техніки**

В статті розроблені методичні основи оптимізації призначеного ресурсу автомобілів при виконанні аварійно-рятувальних робіт. Використано математичний апарат лінійного програмування та теорія масового обслуговування з економічним критерієм оптимальності.

**Ключові слова:** оптимізація, лінійне програмування, надійність, призначений ресурс, економічний критерій

Pryymakov O.G., Kamardash A.I., Ohrimenko V.V.

**Methodical of optimizing lifetime car rescue, engineering and fire engineering**

The paper is developed methodological principles designed to optimize resource automobiles while performing emergency works. Used mathematical apparatus of linear programming and queuing theory with economical optimality criterion

**Key words:** optimization, linear programming, reliability, assigned resource, the economic criterion