



Привалов Петр Васильевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения. Окончил Алтайский сельскохозяйственный институт в 1960 г. по специальности «Механизация процессов сельскохозяйственного производства».

Научное направление — техническая эксплуатация машин, технологии и средства технического обслуживания и восстановления.

УДК 629.113.004.5

П.В. ПРИВАЛОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ БАЗЫ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматривается методика совершенствования системы технического обслуживания (ТО) машин для формирования специализированной службы ТО.

Повышение эксплуатационной надежности автомобилей обеспечивается как на стадии производства, так и совершенствованием методов технической эксплуатации, что требует создания необходимой технической базы для поддержания машинного парка в исправном состоянии. Если трудоемкость изготовления современного грузового автомобиля равна 120-150 нормо-часов, то трудоемкость ремонтно-обслуживающих воздействий, в зависимости от интенсивности эксплуатации, ежегодно составляет от 700 до 9000 нормо-часов.

Важными элементами решения проблемы управления техническим состоянием машин являются совершенствование технологических процессов и организации ТО и ремонта, рационализация структуры инженерно-технических служб, методов принятия инженерных решений по оснащению рабочих постов технологическим оборудованием. В работе рассматриваются методы проектирования, реконструкции и технологического перевооружения производственно-технической базы автотранспортных предприятий (АТП) и централизованных производств, гаражей и станций технического обслуживания.

Функционирование технических средств в значительной мере обусловлено постоянно меняющимися составляющими: потоком требований на их работу, трудоемкостью и продолжительностью устранения неисправностей машин, т. е. системой массового обслуживания (СМО). В сфере технической эксплуатации автомобильного парка примерами СМО являются: посты, линии, участки ремонтных мастерских, склады запчастей, топливо- и маслораздаточные колонки АЗС.

Система массового обслуживания состоит из следующих основных элементов [1–3]: входящий поток требований, очередь, обслуживающие аппараты (каналы) и выходящий поток требований. СМО классифицируются по ограничениям на длину очереди (с потерями и без потерь); количеству каналов обслуживания (одно- и многоканальные); типу обслуживающих аппаратов (универсальные и специализированные); порядку обслуживания (одно- и многофазовые, т. е. на одном посту и линии ТО); числу обслуживающих аппаратов (ограниченные и

неограниченные); приоритетности обслуживания (с приоритетом и без него); величине входящего потока требований (с ограниченным и неограниченным потоком); структуре системы (замкнутые и открытые); взаимосвязи обслуживающих аппаратов (с взаимопомощью и без нее).

Применительно к технической эксплуатации автомобилей наибольшее распространение находят замкнутые и открытые, одно- и многоканальные СМО, с однотипными или специализированными обслуживающими аппаратами, с одно- или многофазовым обслуживанием, без потерь или с ограничением на длину очереди и временем нахождения в ней.

Показателями эффективности функционирования системы массового обслуживания являются:

- 1) интенсивность обслуживания машин (объектов): $\mu = 1/T_v$, где T_v — продолжительность обслуживания одного требования;
- 2) приведенная плотность потока требований на обслуживание машин: $\rho = \lambda/\mu$, где λ — параметр потока требований;
- 3) абсолютная пропускная способность A — количество требований в единицу времени: $A = \lambda g$, где g — относительная пропускная способность;
- 4) относительная пропускная способность — доля обслуженных требований от общего их количества;
- 5) вероятность свободных постов обслуживания P_0 , когда все объекты исправны;
- 6) вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$, если имеются потери и ограничения по длине очереди или времени нахождения в ней;
- 7) вероятность образования очереди W_o с числом ожидающих требований W_o ;
- 8) среднее время нахождения в очереди объектов: $t_{ож} = W_o/\lambda$;
- 9) число требований, связанных с системой, $K = W_o + n_{зан}$, где $n_{зан}$ — число занятых обслуживающих аппаратов (каналов);
- 10) время связи требования с СМО: с потерями — $t_{сист} = gt_g$ и без потерь — $t_{сист} = t_g + t_{ож}$;
- 11) издержки от функционирования системы: $I = C_1 W_o + C_2 n_{св} + (C_1 + C_2)\rho \rightarrow \min$, где C_1 и C_2 — соответственно стоимости простоя машины в очереди и обслуживающего канала, р./ч; W_o — средняя длина очереди (число машин); $n_{св}$ — число простаивающих каналов обслуживания.

Зависимости для определения указанных параметров функционирования СМО определяются ее структурой. Для СМО с потерями ($W_o = 1$) эти зависимости приведены в таблице, а для других типов систем — в рассмотренных далее примерах.

Задача оптимизации — распределить число каналов обслуживания (постов, рабочих мест, исполнителей) по различным подсистемам, чтобы $I = \min$. При дискретном изменении параметров (числа каналов n обслуживания) используются методы исследования операций, теории массового обслуживания, линейного и динамического программирования, имитационного моделирования и метод Монте-Карло [1–3].

Показатели эффективности систем массового обслуживания с потерями ($W_o = 1$)

Тип СМО	Относительная пропускная способность g	Вероятность того, что все посты свободны P_0	Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$	Число занятых обслуживающих аппаратов $n_{зан}$
Одноканальная ($m = 1$)	$g = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$	$P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$	$P_{отк} = \frac{\omega}{\lambda + \mu}$	$n_{зан} = \frac{\omega}{\lambda + \mu}$
Многоканальная ($m > 1$)	$g = 1 - \frac{P^n}{n!} P_0$	$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^n \frac{\rho^k}{k!}}$	$P_{отк} = \frac{\rho^n}{n!} P_0$	$n_{зан} = \rho g$
С взаимопомощью многоканальная ($m > 1; \mu_{бр} = n\mu$)*	$g = \frac{\mu_{бр}}{\lambda + \mu_{бр}}$	$P_0 = \frac{\mu_{бр}}{\lambda + \mu_{бр}}$	$P_{отк} = \frac{\omega}{\lambda + \mu_{бр}}$	$n_{зан} = \frac{\omega}{\lambda + n\mu}$

* $\mu_{бр}$ — интенсивность технических воздействий мастеров — наладчиков (каналов обслуживания).

Пример 1. СТО имеет один пост ТО ($n = 1$) с ограничением длины очереди двумя автомобилями ($W_o = m = 2$). Определить параметры эффективности работы поста при интенсивности потока требований на обслуживание в среднем $\lambda = 2$ треб./ч и продолжительности технического обслуживания $T_b = 0,4$ ч.

Решение. При таком условии задачи:

— интенсивность обслуживания

$$\mu = 1/T_b = 1/0,4 = 2,5 \text{ ч}^{-1};$$

— приведенная плотность потока $\rho = \lambda/\mu = 2/2,5 = 0,8$;

— вероятность наличия свободного поста

— вероятность образования очереди машин на ТО

$$\Pi = P^2 P_0 = 0,8^2 \cdot 0,34 = 0,217;$$

— вероятность отказа в обслуживании

$$P_{отк} = \frac{P^{m+1}(1-p)}{1-p^{m+2}} = \frac{0,8^{2+1}(1-0,8)}{1-0,8^{2+2}} = 0,173;$$

— относительная пропускная способность СТО

$$g = 1 - P_{отк} = 1 - 0,173 = 0,827;$$

— абсолютная пропускная способность СТО

$$A = \lambda g = 2 \cdot 0,827 = 1,654;$$

— среднее число занятых постов ТО

$$n_{зан} = \frac{p - p^{m+2}}{1 - p^{m+2}} = \frac{0,8 - 0,8^{2+2}}{1 - 0,8^{2+2}} = 0,66;$$

— среднее число машин в очереди на ТО

$$W_o = \frac{p^2 [1 - p^m(m+1 - mp)]}{(1 - p^{m+2})(1 - p)} = \frac{0,8^2 [1 - 0,8^2(2+1 - 2 \cdot 0,8)]}{(1 - 0,8^{2+2})(1 - 0,8)} = 0,564;$$

— среднее время нахождения машины в очереди на ТО

$$t_{ож} = W_o/\lambda = 0,564/2 = 0,282;$$

— издержки на содержание системы (служб) ТО

$$И = C_1 W_o + C_2 n_{зан} + (C_1 + C_2) \rho.$$

Потери от простоя машин C_1 несет не СТО, а ее владелец, поэтому эти издержки не учитываются в данном случае. Если принять издержки от простоя работников ТО равными $C_2 = 50$ р./ч, тогда

$$И = C_2 n_{зан} + C_2 n_{зан} = 50 \cdot 0,34 + 50 \cdot 0,66 = 50 \text{ р./ч}; n_{св} = P_0 = 0,34; n_{зан} = 0,66.$$

Пример 2. На АТП имеется один пост ТО ($n = 1$) и длина очереди не ограничена. Определить параметры эффективности работы поста ТО с использованием остальных исходных данных из примера 1.

Решение. Интенсивность ТО и приведенная плотность потока требований на ТО будут те же: $\mu = 1/t_g = 1/0,4 = 2,5 \text{ ч}^{-1}$; $\rho = \lambda/\mu = 2/2,5 = 0,8$ (загрузка поста);

— вероятность наличия свободного поста ТО

$$P_0 = 1 - \rho = 1 - 0,8 = 0,2;$$

— вероятность образования очереди на ТО

$$P = \rho^2 P_0 = 0,8^2 \cdot 0,2 = 0,128;$$

— относительная пропускная способность СТО: $g = 1$, так как все автомобили пройдут через пост ТО;

— абсолютная пропускная способность СТО

$$A = \lambda = 2 \text{ треб./ч};$$

— среднее число занятых постов ТО

$$n_{\text{зан}} = \rho = 0,8;$$

— среднее число автомобилей в очереди на обслуживание

$$W_o = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,8}{1 - 0,8} = 4;$$

— средняя продолжительность нахождения автомобиля в очереди на ТО

$$t_{\text{ож}} = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} = \frac{0,8}{2,5(1 - 0,8)} = 1,6;$$

— издержки на содержание системы ТО

$$И = C_1 W_o + C_2 n_{\text{зан}} + (C_1 + C_2)\rho = 200 \cdot 4 + 50 \cdot 0,2 + (200 + 50) \cdot 0,8 = 1010 \text{ р./ч.}$$

Пример 3. На АТП имеется два поста ТО ($n = 2$) — многоканальная система. Определить параметры работы системы ТО с применением остальных исходных данных из предыдущих примеров.

Решение. Интенсивность ТО μ и приведенная плотность потока ρ требований на ТО будут те же: $\mu = 2,5$; $\rho = 0,8$;

— вероятность того, что оба поста ТО свободны

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n - \rho)}} = 0,294;$$

— вероятность образования очереди на ТО

$$P = \frac{\rho^n}{n!} P_0 = \frac{0,8^2}{1 \cdot 2} \cdot 0,294 = 0,094;$$

— относительная пропускная способность СТО $g = 1$, так как все автомобили пройдут через пост ТО;

— абсолютная пропускная способность СТО

$$A = \lambda = 2 \text{ треб./ч};$$

— среднее число занятых постов ТО

$$n_{\text{зан}} = \rho = 0,8;$$

— среднее число автомобилей в очереди на обслуживание

$$W_o = \frac{\rho P}{n - \rho} = \frac{0,8 \cdot 0,094}{2 - 0,8} = 0,063;$$

— средняя продолжительность нахождения автомобиля в очереди на ТО

$$t_{\text{ож}} = \frac{П}{\mu(n - \rho)} = \frac{0,094}{2,5(2 - 0,8)} = 0,031;$$

— издержки на содержание системы ТО

$$И = C_1 W_o + C_2 n_{\text{св}} + (C_1 + C_2) \rho = 200 \cdot 0,063 + 50 \cdot 1,2 + (200 + 50) \cdot 0,8 = 272,6 \text{ р. / ч.}$$

Выводы

1. Показатели эффективности функционирования системы массового обслуживания (технических средств ТО) автомобилей в значительной степени зависят от ее структуры.

2. В системе массового обслуживания (СМО) с ограничением по длине очереди только 82,7 % автомобилей пройдут ТО, а 17,3 % автомобилей покинут СМО необслуженными.

3. При переходе от одноканальной системы к многоканальной средняя длина очереди уменьшается более чем в 10 раз.

4. Издержки на содержание двухпостовой СМО в сравнении с однопостовой меньше в 1,3 раза, но при этом потребуются дополнительные капиталовложения на строительство и оборудование для оснащения одного поста ТО.

Литература

1. *Вентцель Е.С., Овчаров В.А.* Теория вероятности и ее инженерные приложения: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М.: Высш. шк., 2000. 288 с.
2. *Овчаров В.А.* Прикладные задачи теории массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1969. 324 с.
3. *Кокс Д.Р., Смит В.В.* Теория очередей / Пер. с англ. под ред. А.Д. Соловьева. М.: Мир, 1966. 264 с.