

МЕТОД РАСЧЕТА ЧИСЛА ОБОРОТНЫХ АГРЕГАТОВ В АВТОХОЗЯЙСТВЕ

Б. ГЕРОНИМУС, Э. КУБРИН, Н. ТРОИЦКАЯ

(МОСКВА)

Широкое распространение на автомобильном транспорте за последние годы получил агрегатный метод ремонта автомобилей, целью которого является сокращение простоя автомобилей в ремонте за счет того, что вышедший из строя агрегат заменяется исправным, взятым из оборотного фонда со склада автохозяйства.

Агрегатный метод применяется уже сравнительно давно и имеются нормы по количеству агрегатов, которые должны находиться в оборотном фонде на складе автохозяйства. Однако до настоящего времени нет научно-обоснованной методики расчета оптимального фонда оборотных агрегатов, в которой бы учитывалось, что моменты появления потребностей в замене агрегатов носят стохастический (случайный) характер.

Агрегат меняется в том случае, если возникает в этом потребность. Момент же возникновения такой потребности у каждого отдельного автомобиля весьма неопределенен и зависит от большого количества факторов. Поэтому для каждого автохозяйства представляет большой интерес вопрос о том, сколько же нужно иметь оборотных агрегатов (учитывая случайный характер моментов появления потребностей в их замене), чтобы простой автомобилей в ожидании замены агрегата был минимальным.

Необходимое количество оборотных агрегатов в автохозяйстве зависит не только от потребности в их замене, но и в большей степени от времени, затрачиваемого на доставку неисправного агрегата на ремонтное предприятие, получение отремонтированного взамен неисправного и доставку его обратно на склад автохозяйства. Как показали статистические исследования, это время также в каждом отдельном случае носит случайный характер и его отклонения от средней величины бывают весьма большими в ту и другую сторону.

Очевидно, что процесс ремонта автомобилей на базе оборотных агрегатов является процессом обслуживания, зависящим от ряда случайных факторов, которые необходимо учитывать при определении потребного количества оборотных агрегатов в автохозяйстве.

Научно-исследовательским сектором МАДИ и лабораторией программирования Главмосавтотранса сделана попытка применить теорию массового обслуживания для разработки методов определения оптимального количества оборотных агрегатов в автохозяйстве.

Экспериментальная проверка результатов исследования производилась* на базе материалов по замене двигателей автомобилей-такси в Первом таксомоторном парке г. Москвы.

* При участии инж. Ю. Юровского, инж. В. Гозеншут, ст. лаборанта Н. Журавлевой и авторов.

Система обслуживания автомобилей оборотными агрегатами рассматривается как система с определенным количеством оборотных агрегатов на складе. Каждый агрегат может обслуживать одновременно только одно требование. Если в системе в момент поступления требования есть хоть один свободный аппарат, то он немедленно приступает к обслуживанию. Если такое требование поступает, когда нет исправных агрегатов, т. е. если число автомобилей, требующих замены данного агрегата, превысит число исправных оборотных агрегатов на складе, то образуется очередь автомобилей, ожидающих смены агрегатов.

В систему на обслуживание поступает поток требований с параметром λ , где λ — среднее число требований на замену агрегата, поступающих за единицу времени. Как показало исследование потока требований на замену агрегатов в таксомоторном парке, он довольно хорошо описывается законом распределения Пуассона; в простейшем случае λ не зависит от среднего числа автомобилей, находящихся в ремонте и ожидающих его.

Временем обслуживания ($t_{\text{обс}}$) будет являться время оборота агрегата в ремонте, т. е. время от момента, когда выдан исправный агрегат по данному требованию со склада, до момента, когда на склад вместо него поступил исправный агрегат.

Статистические исследования показали, что время обслуживания требования можно принять подчиняющимся показательному закону распределения.

Основным критерием при расчете количества оборотных агрегатов, которые необходимо иметь на складе автохозяйства, было принято минимальное время простоя автомобиля в ремонте при условии, что расходы на приобретение и содержание оборотных агрегатов не будут превышать прибыль, получаемую автохозяйством за счет сокращения простоя автомобилей в ремонте.

Из теории массового обслуживания известно, что система не будет справляться с обслуживанием и очередь автомобилей, ожидающих смены данного агрегата, будет неограниченно возрастать, если

$$\lambda / \nu > n. \quad (1)$$

Это условие имеет следующий смысл: ν — параметр времени обслуживания, который является величиной обратной среднему времени обслуживания $t_{\text{обс}}$, т. е. $t_{\text{обс}} = 1/\nu$; поэтому $\lambda \cdot 1/\nu = \lambda/\nu$ — среднее число агрегатов, которое необходимо иметь на складе, чтобы обслужить в единицу времени все поступающие требования, чтобы не создать неограниченной очереди; n — количество имеющихся на складе оборотных агрегатов.

Исследования, проведенные в Первом таксомоторном парке, показали, что здесь за год среднее количество сменяемых за один день двигателей составило 3,05, т. е. можно принять $\lambda = 3$. Среднее время оборота двигателя на складе автохозяйства составило $t_{\text{обс}} = 2,65$ дня, или $\nu = 1/2,65 = 0,37$.

За этот же год средний простой автомобилей в ожидании смены составил $T_{\text{ож}} = 4,69$ дня при среднем количестве оборотных двигателей на складе $n = 8,5$.

Расчет по формуле (1)

$$\frac{\lambda}{\nu} = \frac{3}{0,37} = 8,1$$

показывает, что в парке было достаточно оборотных двигателей, чтобы не было неограниченной очереди автомобилей, ожидающих их смены.

При помощи выведенных в теории массового обслуживания расчетных формул для системы обслуживания с ожиданием, когда поток требований

подчиняется закону распределения Пуассона, а время обслуживания — показательному закону распределения, можно рассчитать показатели, которые будут характеризовать эффективность системы обслуживания автомобилей обратными двигателями.

Примем, что количество оборотных двигателей будет не 8,5, а 9, т. е. $n = 9$.

Вероятность p_o того, что в какой-либо из моментов времени не будет требований на замену двигателей и на складе будут находиться все n двигателей оборотного фонда, рассчитывается по формуле

$$p_o = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^k + \frac{v}{(n-1)!(nv-\lambda)} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^n}. \quad (2)$$

Для рассматриваемой задачи эта вероятность равна:

$$p_o = \frac{1}{\sum_{k=0} \frac{1}{k!} (8)^k + \frac{0,37}{8!(9 \cdot 0,37 - 3)} \cdot 8^9} = 0,0002.$$

Можно вычислить вероятность Π того, что в момент поступления очередного требования на замену двигателя на складе не окажется исправных оборотных двигателей.

Это делается по формуле

$$\Pi = \frac{vp_o}{(n-1)!(nv-\lambda)} \left(\frac{\lambda}{v}\right)^n. \quad (3)$$

В данном случае она равна

$$\Pi = \frac{0,37 \cdot 0,0002}{8!(9 \cdot 0,37 - 3)} \cdot (8)^9 = 0,746,$$

т. е. в 75% случаях при поступлении заявки на смену двигателя их не окажется на складе в исправном состоянии и автомобили будут вынуждены простаивать в ожидании поступления на склад исправных двигателей.

Наконец, можно найти среднее время ожидания автомобилем смены двигателя при 9 оборотных двигателях на складе автохозяйства.

Это можно рассчитать по формуле:

$$T_n = \frac{\Pi}{nv - \lambda}. \quad (4)$$

Для Первого таксомоторного парка получается:

$$T_n = \frac{0,746}{9 \cdot 0,37 - 8} = 2,26 \text{ дня.}$$

Таким образом, если на складе Первого таксомоторного парка в среднем будет не 8,5, а 9 оборотных двигателей, то средний простой сократится с 4,69 дня до 2,26 дня.

По формулам (2), (3) и (4) для Первого таксомоторного парка были сделаны расчеты при различном количестве n оборотных агрегатов на складе автохозяйства. Результаты этих расчетов приведены в табл. 1.

Более наглядное представление об изменении среднего времени простоя автомобилей в ожидании смены двигателей дает график, представленный на рис. 1.

Таблица 1

Характеристика состояния системы	Количество оборотных агрегатов на складе					
	$n = 9$	$n = 10$	$n = 11$	$n = 12$	$n = 13$	$n = 14$
Вероятность того, что в какой-либо момент на складе будут все « n » исправных оборотных двигателей (p_0)	0,0002	0,00027	0,00031	0,00032	0,00033	0,00033
Вероятность того, что все оборотные двигатели будут заняты (II)	0,746	0,433	0,254	0,148	0,078	0,04
Среднее время простоя автомобиля в ожидании смены двигателя (T_n) в днях	2,26	0,63	0,24	0,1	0,043	0,018

Таким образом, если на складе иметь 14 оборотных исправных двигателей, то простоя автомобилей в ожидании смены двигателя практически не будет.

Однако увеличение количества оборотных двигателей потребует дополнительных затрат на их приобретение и хранение. Эти затраты могут быть компенсированы только прибылью, полученной за счет уменьшения простоя автомобилей при увеличении числа оборотных двигателей на складе.

Таким образом, целесообразность увеличения количества оборотных двигателей на складе автохозяйства определяется функцией:

$$(T_n - T_{n+i}) \cdot S \cdot N - c \cdot i = \max, \quad (5)$$

где T_n — среднее время простоя автомобилей в днях при каждой смене двигателя и при существующем количестве оборотных двигателей (в данном случае $n = 8,5$, а $T_n = 4,69$); T_{n+i} — то же,

при увеличении оборотных двигателей на число $i = 0, 1, 2 \dots m$, m — число дополнительных оборотных двигателей, при котором T_n практически сводится к очень малой величине (в данном примере $m = 5$); S — прибыль, получаемая за один автомобиль-день работы (в Первом таксомоторном парке составляет 4,95 руб.); N — количество сменяемых за год двигателей (в парке составило 934); c — стоимость одного оборотного двигателя и его хранения за год, принимаемая в данном расчете, равной 350 руб. (в данном случае принимаются все затраты, включая полную стоимость одновременных затрат на приобретение дополнительных оборотных агрегатов, так как пока еще не установлен коэффициент народнохозяйственной эффективности для оборотных средств. Однако в дальнейшем при таких расчетах необходимо учитывать, что эффективность увели-

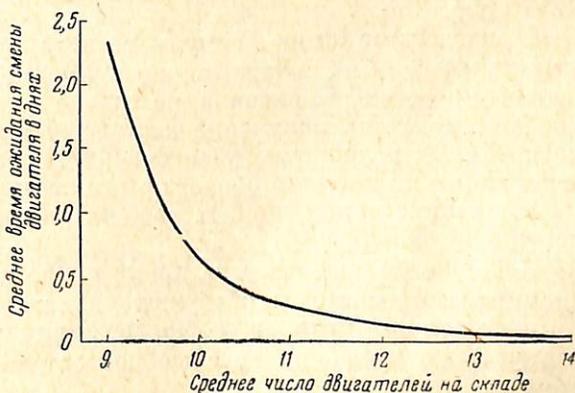


Рис. 1. График распределения среднего времени ожидания смены двигателя

чения оборотного фонда должна рассчитываться с учетом указанного коэффициента).

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таким образом, увеличение числа дополнительных оборотных двигателей с трех до четырех и тем более до пяти уже не покрывает затраты,

Таблица 2

Число дополнительных оборотных агрегатов (i)	Увеличение прибыли за счет снижения простоя в ожидании смены агрегатов	Дополнительные затраты на приобретение и хранение дополнительных агрегатов	Разница между дополнительной прибылью и дополнительными затратами
0,5	11281	175	11106
1,5	18700	525	18175
2,5	20700	875	19825
3,5	21200	1225	19975
4,5	21500	1575	19925
5,5	21600	1925	19675

связанных с их приобретением и хранением. Исходя из этого, наиболее рациональным является наличие на складе Первого таксомоторного парка 12 оборотных двигателей, вместо 8,5, которые имеются в среднем сейчас. Это позволило бы сократить средний простой автомобилей в ожидании смены двигателя с 4,69 до 0,1 дня, а всего за год на 4287 автомобиле-дней простоя, что принесло бы дополнительную прибыль в сумме около 19975 руб.

Приведенные выше формулы расчета оптимального количества оборотных двигателей на складе можно применить для расчетов по любому оборотному агрегату и, конечно, не только в таксомоторном парке. Для этого необходимо лишь получение достоверных исходных для расчета данных по среднему в день числу требований, поступающих на смену данных агрегатов и по времени оборота этого агрегата на складе автохозяйства.

Получение таких данных требует надлежащей постановки первичного учета в автохозяйстве.

Необходимо сказать, что, кроме приведенных выше показателей функционирования системы обслуживания автомобилей оборотными агрегатами, при помощи методов теории массового обслуживания, можно получить и другие не менее интересные показатели функционирования таких систем обслуживания.

К их числу можно отнести показатели: 1) вероятности поступления на склад в течение некоторого промежутка времени определенного количества требований на замену агрегатов (например, в течение дня одного, двух, трех и т. д. требований); 2) среднего количества оборотных агрегатов, которое будет находиться на складе в исправном состоянии; 3) вероятности того, что время ожидания автомобилями замены агрегатов будет меньше определенного количества дней, т. е. получить распределение времени ожидания смены агрегата, которое со средним временем ожидания смены агрегатов показывает эффективность работы обслуживающей системы.

Все эти показатели были вычислены для условий Первого таксомоторного парка Москвы и дали весьма интересный материал для анализа качества функционирования системы агрегатного метода ремонта автомобилей при оборотном фонде двигателей.

Для уменьшения трудоемкости выполнения большого количества счетных работ по данной методике составлена программа расчетов для электронной вычислительной машины «Урал-2».

Программа состоит из двух частей: одна из них дает полную характеристику работы обслуживания системы, другая определяет оптимальное количество агрегатов на складе.

Для полной характеристики работы обслуживающей системы с ожиданием программа определяет ряд показателей: p_0 — вероятность того, что на складе свободны все агрегаты; Π — вероятность того, что все агрегаты заняты; M_3 — среднее число свободных агрегатов; V_k — вероятность поступления на замену точно k агрегатов и т. д.

Для практического внедрения результатов расчета полная характеристика нужна не всегда, поэтому была составлена вторая часть программы для определения только основных показателей: p_0 , Π , T_n — среднее время простоя автомобилей при замене агрегатов (в днях), n — оптимальное количество необходимых для замены агрегатов, где n оптимальное определяется по формуле (5).

Программа использует только оперативную память машины и состоит из двух зон:

зона 0 — зона ввода программы и числового массива;

зона 1 — основная программа и подпрограммы;

зона 2 — числовой материал.

Исходные данные для решения задач по первой части программы включают два параметра: t и λ ; по второй части — 5 параметров: t , λ , S , N , c .

Программа может определять одновременно параметры 40 различных наименований агрегатов и узлов.

Все формулы могут быть просчитаны от n до $n + m$, где m — целое число.

Пять вариантов (от n до $n + 5$) первой части программы считаются около одной минуты.

Вторая часть программы для определения экономического оптимума выдает на печать число n — оптимальное количество необходимых для замены агрегатов и значения p_0 , Π , T_n для данного n .

На рис. 2 приводится блок-схема второй части программы.

Операторы блок-схемы обозначают следующее: B — ввод исходных данных; n — определяет количество агрегатов n по данным t и λ ; p_0 — определяет p_0 для данного n ; Π — определяет Π для данного n ; T — определяет T_{n+i} для данного n ; A — вычисляет увеличение прибыли за счет снижения простоя в ожидании смены агрегатов; C — определяет дополнительные затраты на приобретение и хранение дополнительных агрегатов; Q — определяет разницу между дополнительной прибылью и дополнительными затратами; $Печ$ — печатает n оптимальное, p_0 , Π , T_n .

В настоящее время по приведенной выше методике проводятся исследования по определению потребности автохозяйств в других агрегатах (коробка перемены передач, задние и передние мосты и др.) как для Первого таксомоторного парка, так и для остальных таксомоторных парков г. Москвы.

Внедрение результатов этих исследований в практику даст большой народно-хозяйственный эффект.

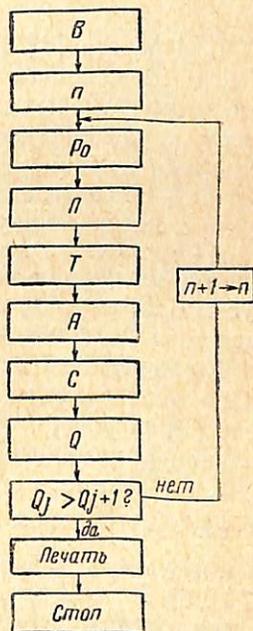


Рис. 2. Блок-схема программы определения оптимального фонда оборотных агрегатов