

DOI 10.15593/24111678/2020.04.01

УДК 625.748.2: 725.382

**А.В. Соколова<sup>1</sup>, А.В. Маркелов<sup>2</sup>, В.А. Масленников<sup>2</sup>, Д.А. Павлов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия

<sup>2</sup> Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия

## **ОБОСНОВАНИЕ МОЩНОСТИ ДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

В основу методики обоснования мощности дорожной станции технического обслуживания автомобилей, нашедшей отражение в СНиП 2.05.02–85, РСН 62–86, ОНТП 01–91 и др., положен детерминированный подход, в соответствии с которым число заездов автомобилей на станцию однозначно определяется интенсивностью движения автомобилей по дороге в месте ее расположения, а также частотой схода с дороги, определяемой уровнем их надежности, и расстоянием пробега. В результате исследований, проведенных МАДИ (ГТУ), было установлено, что такая зависимость действительно существует, но носит она не детерминированный, а стохастический характер, что требует использования для решения данной задачи соответствующих математических методов. В этой связи целью исследования является разработка теоретических основ методики обоснования мощности дорожной станции технического обслуживания автомобилей на основе положений и математического аппарата теории массового обслуживания (ТМО). В основу разработки методики положены: аналитический аппарат теории систем массового обслуживания (СМО) с ограничением на длину очереди, теории надежности и экономико-математическое моделирование. Исследования показали, что одновременное использование перечисленных выше математических методов даст положительный результат. Разработанный на их основе метод обеспечивает приемлемое по точности аналитическое определение среднего числа и интенсивности заездов транспортных средств на станцию, числа ее рабочих постов и автомобиле-мест для ожидания в очереди, а также показателей эффективности функционирования. Использование предлагаемого математического подхода при разработке бизнес-планов строительства дорожных станций технического обслуживания и их проектировании позволит повысить достоверность технологического расчета.

**Ключевые слова:** дорожная станция технического обслуживания, мощность станции, теория массового обслуживания.

**A.V. Sokolov<sup>1</sup>, A.V. Markelov<sup>2</sup>, V.A. Maslennikov<sup>2</sup>, D.A. Pavlov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

<sup>2</sup> Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russian Federation

## **JUSTIFICATION OF THE CAPACITY OF A ROAD VEHICLE SERVICE STATION**

The methodology for justifying the capacity of a road vehicle service station, which is reflected in SNiP 2.05.02-85, RSN 62-86, ONTP 01-91, etc., is based on a deterministic approach, according to which the number of car arrivals at the station is uniquely determined by the intensity of traffic on the road, as well as the frequency of derailments, determined by the level of cars reliability, and the mileage. As a result of the research conducted by MADI (GTU), it was found that such dependence does exist, but it is not deterministic, but stochastic, which requires the use of appropriate mathematical methods to solve this problem. In this regard, the purpose of the study is to develop the theoretical foundations of the methodology for justifying the capacity of a road vehicle service station based on the provisions and mathematical apparatus of the queuing theory (QT). The methodology is based on the analytical apparatus of the theory of queuing systems (QS) with a limit on the queue length, reliability theory, and economic and mathematical modeling. The research has shown that the simultaneous use of the above mathematical methods gives a positive result. The method developed on their basis provides an analytical definition of the average number and intensity of vehicle arrivals at the station, the number of its work stations and waiting places in the queue, as well as performance indicators. The use of the proposed mathematical approach in the development of business plans for the design and construction of road service stations will allow increasing the reliability of the technological calculation.

**Keywords:** road maintenance station, station capacity, queuing theory.

## Введение

В настоящее время в Российской Федерации действует более 2,5 тыс. дорожных станций технического обслуживания автомобилей (ДСТОА), максимальный уровень среднегодовой загрузки которых по числу заездов не превышает 60–65 %, что составляет 70–76 % от его минимального расчетного значения [1]. По мнению ряда экспертов, главной причиной этого является несоответствие между расчетным и фактическим числом заездов автомобилей на ДСТОА, обусловленное несовершенством действующей в настоящее время методики технологического расчета [2, 3]. Поскольку среднесуточное число заездов является основой для расчета числа рабочих постов (мощности) ДСТОА, задача совершенствования данной методики является актуальной.

### 1. Методы и объекты исследования

При обосновании мощности ДСТОА необходимо учитывать следующую группу факторов: интенсивность движения транспортных средств (ТС) на данной дороге, частоту возникновения у них отказов, требующих заезда на станцию, и расстояние между станциями [4, 5]. Причем первые два из указанных факторов носят случайный (вероятностно-статистический) характер, что можно учесть только с использованием соответствующих математических методов. Анализ результатов проведенных ранее исследований показывает, что для решения данной задачи эффективен математический аппарат теории массового обслуживания, разработанный для систем с ограничениями [6]. В этой связи целью исследования являлась разработка и апробация теоретических основ и методики обоснования мощности (числа рабочих постов) ДСТОА на основе положений теории массового обслуживания для систем с ограничением на длину очереди заявок.

В основу разработки методики легли следующие концептуальные положения:

- расчетная мощность ДСТОА, характеризуемая числом рабочих постов, должна обеспечивать ее экономически устойчивое функционирование;
- суточная пропускная способность станции должна отвечать условиям максимально быстро и наиболее полного удовлетворения спроса клиентуры на ее услуги.

Для реализации указанных положений необходимо, чтобы принятое количество рабочих постов ДСТОА постоянно имело предельно возможную в данных условиях загрузку, что обеспечивает ее максимальную пропускную способность. Достичь указанного результата можно следующим образом.

Известно, что в СМО с ограниченной длиной очереди последняя играет роль своеобразного регулятора, сглаживая колебания загрузки системы  $\rho$ . При повышении интенсивности поступления автомобилей (заявок)  $\lambda$  или снижении интенсивности обслуживания  $\mu$ , относительно их средних значений, она обеспечивает накопление заявок, предотвращая тем самым их уход из СМО. И, напротив, при снижении интенсивности поступления заявок или повышении интенсивности обслуживания очередь обеспечивает их своевременное поступление на рабочие посты, устраняя возникший дефицит в данной подсистеме СМО. Следовательно, для обеспечения максимальной загрузки СМО следует установить рациональное соотношение между значениями коэффициента загрузки  $\rho$ , числом рабочих постов  $n$  и числом мест в очереди  $m$ , что можно сделать путем задания предельного уровня вероятности отказа заявкам в обслуживании  $P_{\text{отк}}$ . Для рассматриваемых систем вероятность отказа в обслуживании определяется из выражения [7]

$$P_{\text{отк}} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} \cdot P_0 = \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} \cdot \left( \sum_{i=0}^{i=n} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} \cdot \frac{1 - (\rho/n)^m}{1 - \rho/n} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где  $P_0$  – вероятность того, что все рабочие посты ДСТОА свободны;  $i$  – порядковый номер члена геометрической прогрессии,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ .

Решив уравнение (1) относительно  $m$ , получим

$$m = \ln \left\{ \frac{P_{\text{отк}} \cdot \left[ \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} + (1 - \rho/n) \cdot \sum_{l=0}^{l=n} \frac{\rho^l}{l} \right]}{\frac{\rho^n}{n!} \cdot \left[ 1 + \frac{\rho}{n} \cdot (P_{\text{отк}} - 1) \right]} \right\} / \ln \left| \frac{\rho}{n} \right|. \quad (2)$$

Расчеты показывают, что выражение (2) в диапазоне загрузки одного рабочего поста  $\rho/n = 0,55 \dots 0,99$  и предельном уровне вероятности отказа в обслуживании заявки  $P_{\text{отк}} = 0,01 \dots 0,1$  обеспечивает вычисление значения  $m$ , которое является оптимальным по критерию минимума издержек от функционирования СМО и дающим максимально возможные значения коэффициента занятости рабочих постов ДСТОА, что гарантирует их высокую пропускную способность.

Число рабочих постов станции определится из условия [8]

$$n < \rho = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (3)$$

Интенсивности  $\lambda$  и  $\mu$  определяются как величины, обратные соответственно среднему интервалу времени  $\bar{t}_3$  между поступлением заявок в СМО  $\lambda = 1/\bar{t}_3$  и среднему времени их обслуживания  $\bar{t}_{\text{об}}$ , т.е.  $\mu = 1/\bar{t}_{\text{об}}$ . Если распределение случайных интервалов времени между поступлением заявок и временем их обслуживания не противоречит экспоненциальному закону, для определения вероятности того, что за время  $t$  поступит точно  $K$  заявок, используют формулу Пуассона [9, с. 162]. Для расчета числа заездов ТС на рабочие посты ДСТОА, гарантированного с заданным уровнем доверительной вероятности  $P_{\text{д}}$ , эту формулу целесообразно применять в следующем виде [10, 11]:

$$P_K(t) = 1 - \sum_{k=0}^{K-1} \frac{a^k}{K!} \cdot e^{-a} \geq P_{\text{д}}, \quad (4)$$

где  $P_K(t)$  – вероятность того, что в течение времени  $t$  на ДСТОА заедет не менее  $K$  ТС;  $a$  – среднее число заездов ТС на ДСТОА в течение времени  $t$ , ед.;  $e$  – основание натуральных логарифмов.

В общем случае значение параметра  $a$  в формуле (4) можно определить из выражения [9]

$$a = p \cdot N, \quad (5)$$

где  $p$  – вероятность наступления случайного события при одном испытании;  $N$  – число испытаний.

Случайным событием в данном случае является отказ ТС, находящегося в зоне обслуживания (ответственности) ДСТОА, а числом испытаний – количество ТС, проезжающих в течение времени  $t$  по дороге в зоне обслуживания станции, т.е. [12, 13]

$$P_i = \varphi \cdot g_i = \varphi \cdot (1 - e^{-\beta_i \cdot R}), \quad (6)$$

$$N_i = \varepsilon_i \cdot U_{\text{д}} \cdot R / (T \cdot \vartheta_i), \quad (7)$$

$$a_i = \varphi \cdot (1 - e^{-\beta_i \cdot R}) \cdot \varepsilon_i \cdot U_{\text{д}} / (T \cdot \vartheta_i), \quad (8)$$

$$a = \sum_{i=1}^l a_i, \quad (9)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий долю общего числа отказов, требующих заезда ТС на ДСТОА;  $g_i$  – вероятность отказа у одного ТС  $i$ -го вида;  $\beta_i$  – интенсивность возникновения отка-

зов у ТС  $i$ -го вида, ед./км;  $R$  – размер (ширина) зоны обслуживания (ответственности) ДСТОА, км;  $\varepsilon_i$  – доля ТС  $i$ -го вида в потоке транспорта, движущегося по дороге в зоне обслуживания ДСТОА;  $U_d$  – среднегодовая суточная интенсивность движения ТС по дороге в зоне обслуживания ДСТОА, ед./сут;  $T$  – продолжительность времени суток, ч;  $\vartheta_i$  – скорость движения ТС  $i$ -го вида в потоке транспорта, км/ч;  $a_i$  – среднечасовое число заездов ТС  $i$ -го вида на ДСТОА, ед./ч;  $l$  – число видов ТС, учитываемых в потоке транспорта, движущегося в зоне обслуживания ДСТОА, шт.

Поскольку действующая методика расчета числа рабочих постов ДСТОА основывается на определении среднесуточного числа заездов  $a_i$ , его величину можно определить из выражения

$$a = a_C = T_{\text{см}} \cdot C \cdot \sum_{i=1}^l a_i, \quad (10)$$

где  $T_{\text{см}}$  – продолжительность времени смены ДСТОА, ч;  $C$  – число смен, сут.

Поскольку величина параметра  $a$  в формуле (4) отнесена к определенному периоду времени (час, сутки), расчетное значение  $K$  по своему физическому смыслу представляет собой число заездов ТС на ДСТОА за тот же интервал времени, т.е. численно равно интенсивности заездов  $\lambda$ :

$$K = \lambda. \quad (11)$$

Интенсивность обслуживания ТС рабочими постами ДСТОА  $\mu$  в формуле (3) определяется экспериментально с использованием выражения

$$\mu = \sum_{i=1}^{i=l} \psi_i \cdot \bar{\mu}_i, \quad (12)$$

где  $\psi_i$  – доля ТС  $i$ -го вида в структуре заездов на ДСТОА;  $\bar{\mu}_i$  – средняя интенсивность обслуживания ТС  $i$ -го вида, ч<sup>-1</sup> (сут<sup>-1</sup>).

При расчете числа заездов  $K$  по формуле (4) по отдельным видам транспорта значение  $\psi_i$  определяется из выражения

$$\psi_i = K_i / K, \quad (13)$$

где  $K_i$  – число заездов ТС  $i$ -го вида на ДСТОА в течение времени  $t$ , ед.

Величина среднего числа заездов ТС на ДСТОА в выражении (4) является характеристикой статистической, имеющей рассеяние, нижняя и верхняя доверительные границы которого в интервале  $a = 1 \dots 50$  ед./ч при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  составляют [8]:

$$- a_H = 0,7005a - 1,831 \text{ (коэффициент линейной корреляции } r = 0,9937);$$

$$- a_B = 1,2817a + 5,242 \text{ (коэффициент линейной корреляции } r = 0,9986).$$

Разделив доверительный интервал  $I_a$  значений  $a$  на  $z$  равных частей, получим шаг варьирования  $z_a$  данного показателя в расчетах, т.е.

$$z_a = I_a / z = (a_B - a_H) / z. \quad (14)$$

Поиск оптимального числа рабочих постов ДСТОА осуществляется в пределах доверительного интервала значений  $a$  с заданным шагом  $Z_a$ , определяющим требуемую точность вычислений. В качестве критерия оптимальности можно принять максимум прибыли ДСТОА:

$$\Pi = \rho(1 - R_{\text{отк}}) \cdot S_{\text{нч}} - (n \cdot S_{\text{сэп}} + m \cdot S_{\text{сэм}}) \rightarrow \max, \quad (15)$$

где  $R_{\text{отк}}$  – расчетное значение вероятности отказа заявкам в обслуживании при текущих показателях  $\rho$ ,  $n$  и  $m$  ( $R_{\text{отк}} \neq P_{\text{отк}}$ );  $S_{\text{нч}}$  – стоимость одного нормо-часа для клиентуры ДСТОА, руб.;

$S_{сэп}$  – затраты на строительство и эксплуатацию производственной базы ДСТОА, приходящиеся на один рабочий пост, руб./((ч.ед.);  $S_{сэм}$  – затраты на строительство и эксплуатацию одного автомобиле-места на площадке для ожидания обслуживания, руб./((ч.ед.).

При этом показатели эффективности функционирования ДСТОА как СМО:  $R_{отк}$ ,  $r_{оч}$ ,  $K_3$  и  $t_{ож}$  – определяются по известной методике [7, 14].

Схема, иллюстрирующая общую последовательность расчетов по обоснованию мощности ДСТОА, приведена на рис. 1.

**Этап 1.** Предполагает экспериментальное определение значений характеристик внешних и внутренних факторов, определяющих число заездов ТС на ДСТОА, интенсивность их обслуживания, а также перечня требований нормативных документов к размещению ДСТОА и показателей надежности ТС. К внешним факторам относятся: среднегодовая суточная интенсивность движения транспорта на дороге в месте расположения ДСТОА  $U_d$ , средняя скорость движения отдельных видов ТС  $U_i$ , доля ТС различных видов  $\epsilon_i$  в транспортном потоке, структура заездов ТС  $\psi_i$ , размер зоны обслуживания ДСТОА  $R$ .

К внутренним факторам относят: число дней работы ДСТОА в году  $D_p$ , продолжительность смены  $T_{см}$ , число смен  $C$ , время  $t_{обс}$  или интенсивность обслуживания ТС  $\mu$ .

На основе отраслевых, строительных, санитарных, противопожарных, электротехнических и других норм устанавливают требования к участку (месту), на котором предполагается разместить ДСТОА, справочные данные об интенсивности отказов ТС различных видов  $\beta_i$  и их влиянии на работоспособность автомобилей, определяемом коэффициентом  $\phi$ .

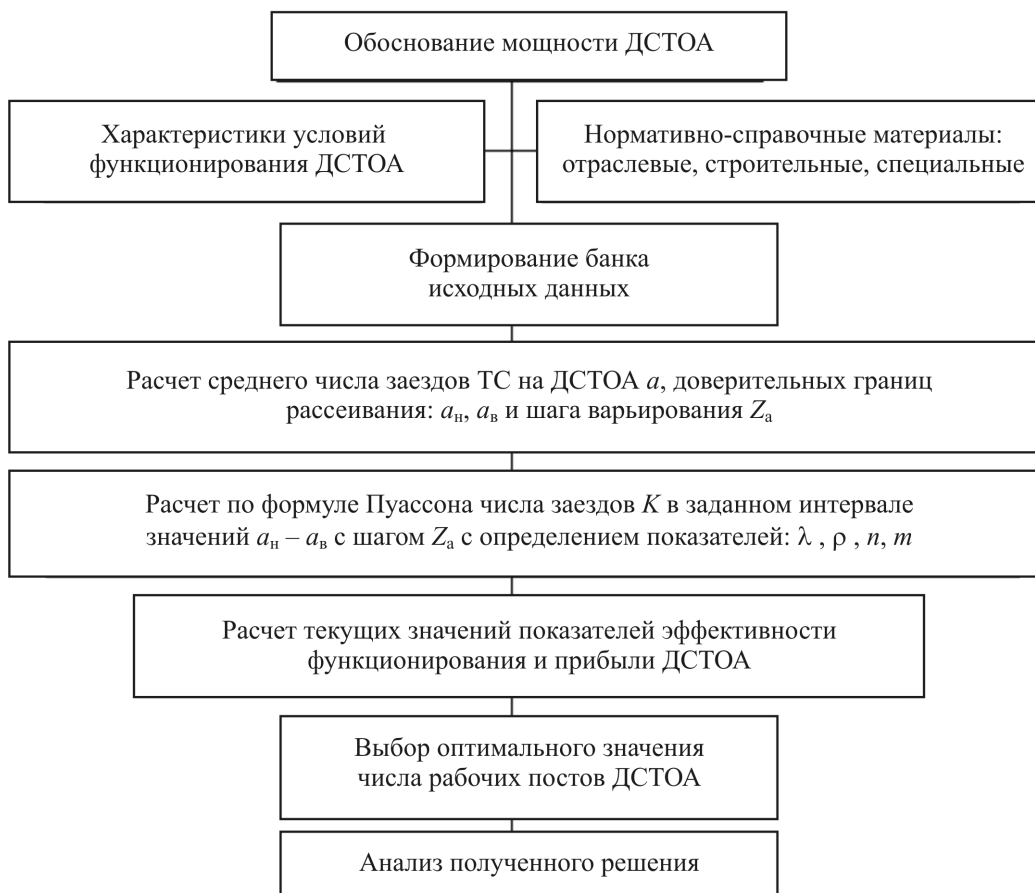


Рис. 1. Информационно-логическая схема реализации метода обоснования мощности ДСТОА

**Этап 2.** Предполагает на основе справочно-нормативных данных и характеристик условий функционирования ДСТОА формирование банка исходных данных для выполнения расчетов.

**Этап 3.** Обеспечивает расчет среднего числа заездов ТС на ДСТОА  $a$ , нижней  $a_H$  и верхней  $a_B$  границ рассеяния данного показателя, а также шага его изменения  $Z_a$  в процессе расчетов.

**Этап 4.** Заключается в расчете числа заездов  $K$  для каждого из текущих значений  $a$  в интервале его изменения от  $a_H$  до  $a_B$  с выбранным шагом  $Z_a$ , а также определении текущих значений интенсивности заездов  $\lambda$ , коэффициента загрузки СМО  $\rho$ , числа рабочих постов  $n$  и числа мест для ожидания  $m$ .

**Этап 5.** Обеспечивает расчет показателей эффективности ДСТОА как СМО в соответствии с их перечнем, приведенным в табл. 3, для всех полученных на предыдущем этапе значений  $\rho$ ,  $n$  и  $m$ , а также определение текущего размера прибыли станции.

**Этап 6.** Выполняет задачу выбора оптимального числа рабочих постов ДСТОА путем сравнительного анализа результатов расчета прибыли от реализации услуг.

**Этап 7.** Устанавливает приемлемость полученного решения для практики и завершает выбор оптимального числа рабочих постов ДСТОА.

Алгоритм расчета числа рабочих постов станции приведен на рис. 2.

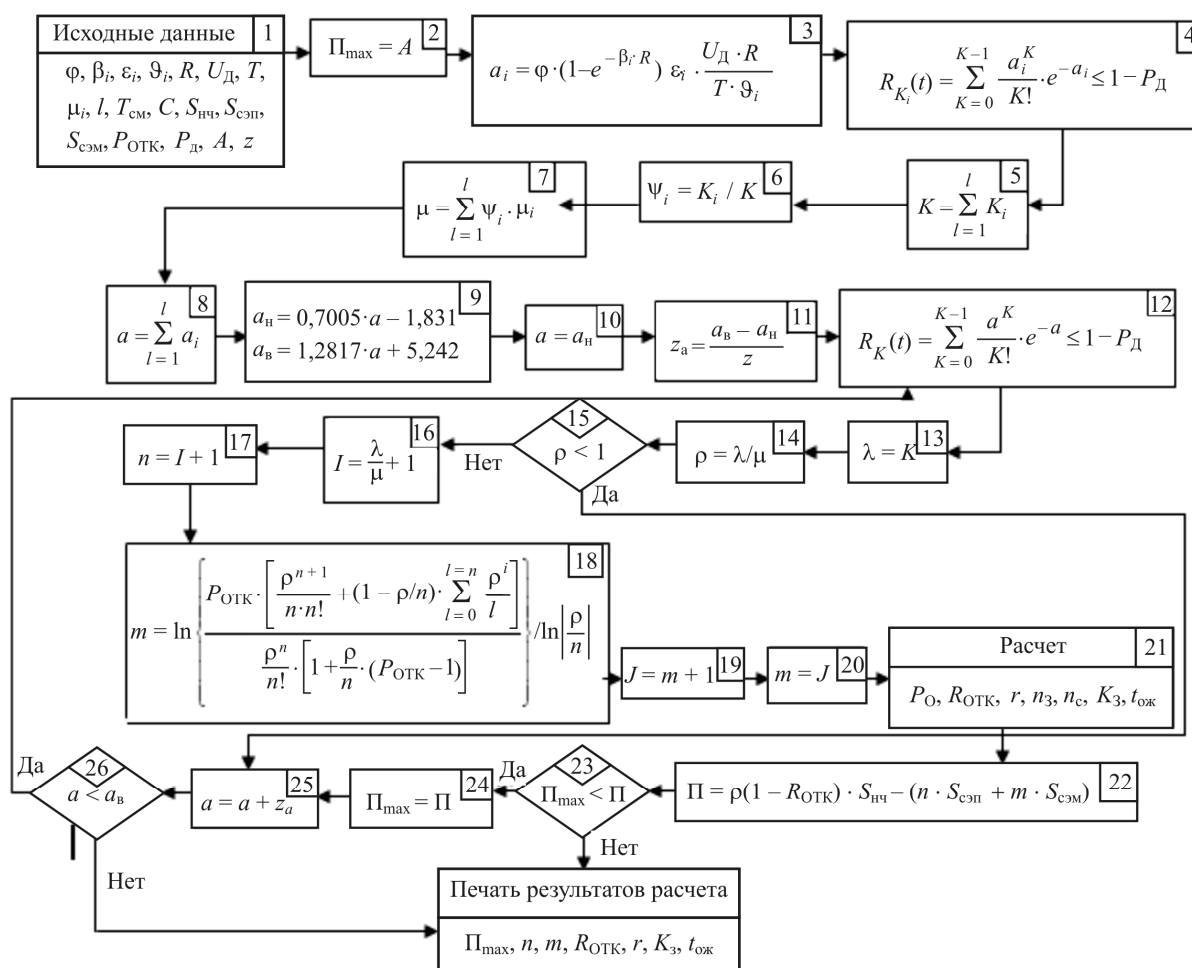


Рис. 2. Алгоритм расчета числа рабочих постов ДСТОА

*Примечание:* обозначение показателей эффективности  $r$ ,  $K_3$  и  $t_{ож}$  принято в соответствии с табл. 3.

## 2. Обсуждение результатов экспериментальных исследований

Для получения исходных данных и последующей верификации результатов теоретических исследований проводились трехлетние наблюдения за процессом функционирования пятипостовой ДСТОА, результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты статистических и хронометражных исследований функционирования ДСТОА

Показатели	Значения показателей		
	легковые автомобили	грузовые автомобили	автобусы
1. Среднегодовая суточная интенсивность движения ТС $U_d$ , ед./сут	17 600		
2. Структура потока ТС $\varepsilon_i$ , %	80,0	15,2	4,8
3. Скорость движения ТС $\vartheta_i$ , км/ч	93,2	76,1	68,1
4. Среднесуточное число заездов ТС на ДСТОА $a_i$ , ед./сут	8,42	2,35	0,01
5. Доля ТС в структуре заездов на ДСТОА, $\psi$	0,779	0,220	0,001
6. Интенсивность обслуживания ТС на ДСТОА $\mu_i$ , ед./ч	0,31	0,38	0,24
7. Коэффициент занятости рабочих постов $K_3$	0,80		

Для заданных условий функционирования ДСТОА (см. табл. 1) по формулам (6)–(10) выполнялись расчеты среднего числа заездов ТС по видам  $a_i$ , общего среднего числа заездов  $a$  и по формулам (4), (13) – расчетного числа заездов  $K$ ,  $K_i$ , а также их структуры  $\psi_i$  при следующих исходных данных:  $\beta_d = 0,00015 \text{ км}^{-1}$ ;  $\beta_r = 0,00017 \text{ км}^{-1}$ ;  $\beta_A = 0,0002 \text{ км}^{-1}$ ;  $\varphi = 0,4$ ;  $R = 46 \text{ км}$ ;  $P_d = 0,5$ ;  $l = 3$ ;  $l = 3 \text{ ч}$ ;  $T_{cm} = 8,2 \text{ ч}$ ;  $C = 1,34$ . Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные показатели числа заездов ТС на ДСТОА

Показатели числа заездов	Значения показателей		
	легковые автомобили	грузовые автомобили	автобусы
1. Среднее число заездов ТС на ДСТОА по видам $a_i$ , ед./сут	8,75	2,31	0,96
2. Среднее число заездов $a$ , ед./сут	12,02		
3. Расчетное число заездов $K$ , ед./сут	11,0		
4. Расчетное число заездов ТС по видам $K_i$ , ед./сут	8	2	1
5. Расчетная доля ТС в структуре заездов $\psi_i$	0,727	0,182	0,091

Сравнивая результаты расчетов числа заездов  $K$  (см. табл. 2) с аналогичными данными, полученными на основе наблюдений (см. табл. 1), можно отметить, что относительная ошибка составляет 2,04 %. Расхождения между расчетными и экспериментальными данными по структуре заездов  $\psi_i$  более существенны, но могут быть устранены путем уточнения значения коэффициента  $\varphi$  в формулах (6) и (8), величину которого принимали для всех видов ТС одинаковой в соответствии с рекомендациями [15]. Это указывает на возможность аналитического определения числа заездов ТС на ДСТОА по формуле (4) с учетом выражений (6)–(10).

На основе расчетного значения среднего числа заездов  $a$  (см. табл. 2) по приведенным выше эмпирическим выражениям при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  определяли нижнюю  $a_H$  и

верхнюю  $a_B$  доверительные границы рассеяния данного показателя и шаг его варьирования:  $a_H = 6,59$  ед./сут;  $a_B = 20,65$  ед./сут;  $Z_a = 3,52$  ед./сут. С использованием алгоритма (см. рис. 2) и экономико-математической модели (15) в интервале значений  $a_H - a_B$  осуществлялся поиск оптимального числа рабочих постов ДСТОА и рассчитывались показатели эффективности ее функционирования при следующих исходных данных:  $S_{\text{нч}} = 1560$  руб./(нормо-ч);  $S_{\text{сэп}} = 857,5$  руб./(ч.ед.);  $S_{\text{сэм}} = 5,8$  руб./(ч.ед.) (табл. 3).

Таблица 3

## Расчетные показатели функционирования ДСТОА

Наименование показателя	Величина показателя				
	1	2	3	4	5
1. Среднесуточное число заездов ТС на ДСТОА $a$ , ед./сут	6,59	10,11	13,63	17,15	20,65
2. Интенсивность заездов ТС на ДСТОА $\lambda$ , ед./сут	5	9	12	16	19
3. Интенсивность обслуживания ТС на ДСТОА $\mu$ , ед./ч	3,49				
4. Коэффициент загрузки СМО $\rho$	1,43	2,58	3,44	4,58	5,44
5. Число рабочих постов $n$ , шт.	2	3	4	5	6
6. Предельное число мест в очереди $m$ , шт.	4	7	7	9	8
7. Вероятность отказа ТС в обслуживании $R_{\text{отк}}$	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
8. Средняя длина очереди заявок	0,74	1,84	1,72	2,64	2,16
9. Относительная пропускная способность $r_{\text{оч}}$ , ед.	0,95	0,95	0,96	0,95	0,95
10. Абсолютная пропускная способность ДСТОА $A$ , ед./сут.	4,75	8,55	11,52	15,20	18,05
11. Коэффициент занятости рабочих постов ДСТОА $K_3$	0,68	0,82	0,82	0,87	0,86
12. Среднее время ожидания ТС обслуживания $t_{\text{ож}}$ , сут	0,15	0,20	0,14	0,16	0,11
13. Прибыль ДСТОА $\Pi$ , тыс. руб./ч	0,381	1,210	1,681	2,448	2,871

Из табл. 3 видно, что в интервале среднесуточного числа заездов  $a = 6,59...20,65$  ед./сут оптимальное число рабочих постов ДСТОА составляет  $n = 6$  шт. При этом вероятность отказа в обслуживании находится на уровне заданной  $R_{\text{отк}} = P_{\text{отк}} = 0,05$ , а коэффициент занятости рабочих постов  $K_3 = 0,86$ .

**Выводы и рекомендации**

1. Для обоснования мощности ДСТОА целесообразно использовать методы и математический аппарат теории массового обслуживания. При выполнении расчетов техническая система в составе ТС – ДСТОА должна рассматриваться как разомкнутая СМО с ограничением на длину очереди, предельное число мест в которой определяется аналитически, исходя из заданной вероятности отказа заявок в обслуживании.

2. Для обеспечения эффективной работы ДСТОА расчетное число заездов на нее ТС должно быть гарантировано при доверительной вероятности 0,5, а значение среднего числа заездов определяться аналитически по приведенным в данной работе формулам.

3. Средние интенсивности обслуживания отдельных видов ТС должны определяться экспериментально по данным действующих в регионе ДСТОА, а ее расчетное значение – аналитически, с учетом структуры заездов.

4. Для достижения предельно возможной в данных условиях загрузки рабочих постов, их максимальной пропускной способности и экономической эффективности функционирования ДСТОА число рабочих постов должно определяться исходя из максимума прибыли от реализации ее услуг.



### Список литературы

1. Акопян Д. Автомобильная сервисная ассоциация: мы за цивилизованный бизнес // Автомобиль и сервис. – 2010. – № 12. – С. 6–8.
2. Бычков В.П., Проскурин И.Ю. Автомобилизация и проблемы развития сферы авто-сервисных услуг в России // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 11. – С. 40–42.
3. Павлов И.И., Рощин Е.А. Экономико-математический расчет количества постов обслуживания и ремонта автобусов на предприятиях автосервиса // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 7. – С. 26–28.
4. Полуэктов М.В., Бойко Г.В., Ширшов Д.Б. Совершенствование методики обоснования параметров дорожных предприятий автосервиса // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 2. – С. 48–50.
5. Гудков В.А., Серова Е.Ю. Особенности функционирования предприятий придорожного сервиса // Автотранспортное предприятие. – 2009. – № 10. – С. 24–27.
6. Головин С.Ф. Технический сервис транспортных машин и оборудования: учеб. пособие. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2008. – 288 с.
7. Романцев В.В. Аналитические модели систем массового обслуживания: учеб. пособие. – СПб.: СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 1998. – 67 с.
8. Вагнер Г. Основы исследования операций: в 3 т. Т. 3 / пер. с англ. Б.Т. Вавилова. – М.: Мир, 1973. – 504 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
10. Канен М.Г.Ф., Масленников В.А. Методика и алгоритм оптимизации потребности населенных пунктов в линиях технического осмотра автототранспортных средств // Вестник МГСУ. – 2016. – № 6. – С. 107–117.
11. Канен М.Г.Ф., Масленников В.А. Обоснование потребности населенных пунктов в линиях технического осмотра автототранспортных средств // Вестник МГСУ. – 2016. – № 1. – С. 161–169.
12. Масуев М.А. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2007. – 224 с.
13. Камольцева А.В., Дулисов Д.И. Методика оценки мобильной автосервисной инфраструктуры в г. Красноярске // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2018. – № 2. – С. 19–26.
14. Карагодин В.И., Малютин В.О. Эффект от учета взаимосвязи производственных участков при проектировании станций технического обслуживания автомобилей // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 2. – С. 21–24.
15. Напольский Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.

### References

1. Akopjan D. Avtomobil'naja servisnaja asociacija: my za civilizovannyj biznes / D. Akopjan [Automotive Service Association: We are for civilized business] *Avtomobil' i servis*, 2010, no. 12, pp 6–8.
2. Bychkov V.P., Proskurin I.Ju. Avtomobilizacija i problemy razvitija sfery avtoservisnyh uslug v Rossii [Motoring and problems of development of car service services in Russia] *Avtotransportnoe predpriyatje*, 2016, no. 11, pp. 40–42.
3. Pavlov I.I., Roshhin E.A. Jekonomiko-matematicheskij raschjot kolichestva postov obsluzhivanija i remonta avtobusov na predpriyatijah avtoservisa [Economic and mathematical calculation of the number of bus service and repair posts at the service station] *Avtotransportnoe predpriyatje*, 2015, no. 7, pp. 26–28.
4. Polujektov M.V., Bojko G.V., Shirshov D.B. Sovershenstvovanie metodiki obosnovanija parametrov dorozhnyh predpriyatij avtoservisa [Improving the method of justifying the parameters of road companies of the car service] *Avtotransportnoe predpriyatje*, 2010, no. 2, pp. 48–50.
5. Gudkov V.A., Serova E.Ju. Osobennosti funkcionirovanija predpriyatij pridorozhnogo servisa [Features of roadside service] *Avtotransportnoe predpriyatje*, 2009, no. 10, pp. 24–27.

6. Golovin S.F. Tehnicheskij servis transportnyh mashin i oborudovaniya [Technical service of transport vehicles and equipment: Uchebnoe posobie] Moscow, *Al'fa-M: INFRA-M*, 2008, 288 p.
7. Romancev V.V. Analiticheskie modeli sistem massovogo obsluzhivaniya [Analysis of mass-service systems: Uchebnoe posobie] Sankt-Peterburg, *SPbGJeTU (LJeTI)*, 1998, 67 p.
8. Vagner G. Osnovy issledovaniya operacij [The basics of operations research]. V 3t. T. 3. Per. s angl. B.T. Vavilova / G. Vagner. Moscow, Izdatel'stvo «Mir», 1973, 504 p.
9. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teorija verojatnostej i ejo inzhenernye prilozhenija Probability [Theory and its engineering applications] Moscow, *Nauka*, 1988, 480 p.
10. Kanen M.G.F., Maslennikov V.A. Metodika i algoritm optimizacii potrebnosti naseljonnyh punktov v linijah tehničeskogo osmotra avtomototransportnyh sredstv [The methodology and algorithm of optimizing the need of populated areas in the lines of technical inspection of motor vehicles] *Vestnik MGSU*, 2016, no. 6, pp. 107–117.
11. Kanen M.G.F., Maslennikov V.A. Obosnovanie potrebnosti naseljonnyh punktov v linijah tehničeskogo osmotra avtomototransportnyh sredstv [Justification of the need for settlements in the lines of technical inspection of motor vehicles] *Vestnik MGSU*, 2016, no. 1, pp. 161–169.
12. Masuev M.A. Proektirovanie predpriyatij avtomobil'nogo transporta [Road transport design: ucheb. posobie dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij] Moscow, *Izdatel'skij centr «Akademija»*, 2007, 224 p.
13. Kamolceva A.V., Dulisov D.I. Mmetodika ocenki mobilnoj avtoservisnoj infrastruktury v Krasnojarske [Methodology for assessing mobile car service infrastructure in Krasnoyarsk] *Vestnik PNIPU. Transport. Transportnye sooruzhenija. Jekologija*, 2018, no. 2, pp. 19–26.
14. Karagodin V.I., Maljutin V.O. Jeffekt ot uchjota vzaimosvjazi proizvodstvennyh uchastkov pri proektirovanii stancij tehničeskogo obsluzhivaniya avtomobilej [Effect of the relationship between production sites in the design of car maintenance stations] *Avtotransportnoe predpriyatje*, 2015, no. 2, pp. 21–24.
15. Napol'skij G.M. Tehnologičeskoe proektirovanie avtotransportnyh predpriyatij i stancij tehničeskogo obsluzhivaniya [Technological design of motor vehicles and service stations]. Moscow, *Transport*, 1985, 231 p.

Получено 05.10.2020

#### Об авторах

**Соколов Александр Викторович** (Ярославль, Россия) – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт» Ярославского государственного технического университета (150023, Ярославль, Московский пр., 88, e-mail: sokolovav@ystu.ru).

**Маркелов Александр Владимирович** (Иваново, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспорт и автомобильные дороги» Ивановского государственного политехнического университета (153003, Иваново, Красных Зорь, 25, e-mail: aleksandr203.37@mail.ru).

**Маслеников Валерий Александрович** (Иваново, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспорт и автомобильные дороги» Ивановского государственного политехнического университета (153003, Иваново, Красных Зорь, 25, e-mail: k\_aah37@mail.ru).

**Павлов Дмитрий Анатольевич** (Иваново, Россия) – магистрант кафедры «Транспорт и автомобильные дороги» Ивановского государственного политехнического университета (153003, Иваново, Красных Зорь, 25, e-mail: dmitry.1611@yandex.ru).

#### About the authors

**Aleksandr V. Sokolov** (Jaroslavl', Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Head of the Department of Automobile Transport at Jaroslavl State Technical University (88, Moscow Avenue, Jaroslavl, 150023, Russian Federation, e-mail: sokolovav@ystu.ru).

**Aleksandr V. Markelov** (Ivanovo, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Transport and Roads, Ivanov State Polytechnic University (25, Krasny zor, Ivanovo, 153003, Russian Federation, e-mail: aleksandr203.37@mail.ru).

**Valerij A. Maslennikov** (Ivanovo, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Transport and Roads, Ivanov State Polytechnic University (25, Krasny zor, Ivanovo, 153003, Russian Federation, e-mail: k\_aah37@mail.ru).

**Dmitrij A. Pavlov** (Ivanovo, Russian Federation) – Master Student, Department of Transport and Roads, Ivanov State Polytechnic University (25, Krasny zor, Ivanovo, 153003, Russian Federation, e-mail: dmitry.1611@yandex.ru).