

## Транспорт

УДК 656.072

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-9-29-34

С.В. Булатов

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ, ЗАТРАЧИВАЕМОГО НА РЕМОНТ УЗЛОВ ТРАНСМИССИИ АВТОБУСОВ, С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Оценена эффективность использования технологического оборудования для неисправных узлов трансмиссии автобусов. Определено время, затрачиваемое на ремонт узлов трансмиссии автобусов с учетом надежности технологического оборудования. Использован вероятностный метод прогнозирования технического состояния, а также ме-

тод динамики средних, которые позволяют обеспечить минимум затрат от простоя узлов в ремонте и стоимости оборудования. Средняя производительность станда составляет 4,2 автобуса в час.

**Ключевые слова:** отказ, подвижной состав, детали узлов трансмиссии, интенсивность, оборудование.

S.V. Bulatov

### DEFINITION OF TIME SPENT ON REPAIR OF BUS TRANSMISSION UNITS TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL EQUIPMENT RELIABILITY

The paper purpose is the effectiveness estimation in the technological equipment use, taking into account its reliability and productivity for defective transmission units of buses.

The problem consists in the determination of time to be spent on repair of bus transmission units taking into account technological equipment reliability. In the paper there is used a probabilistic method for the prediction bus transmission units, and also a method of the dynamics of averages which allow ensuring minimum of costs for units downtime during repair and equipment cost. The need for repair of transmission

units (gear box) arises on an average after 650 hours, the average productivity of the bench makes 4.2 bus / hour. The bench fails on the average after 4600 hours of work, the average time of the bench makes 2 hours. In such a way the solution of the problem specified allows analyzing the necessity of time decrease for transmission unit repair to avoid long downtimes of buses in repair areas without negative impact upon high repair quality and safety during the further operation.

**Key words:** failure, rolling-stock, transmission unit parts, intensity, equipment.

#### Введение

Ремонт подвижного состава в процессе эксплуатации проводят по мере возникновения отказов, происходящих в случайные моменты, где время устранения отказа также является случайной величиной.

Ремонтные работы, проводимые обслуживающим персоналом, позволяют собрать полную информацию об отказах узлов трансмиссии, интенсивности потока отказов, вероятности попадания бракованных деталей в партию запасных частей и т.д. [2].

Зная интенсивность потока заявок и обслуживаний, можно найти вероятности всех состояний системы массового обслуживания (СМО) и такие важные характе-

ристики ее функционирования, как пропускная способность, количество узлов и подвижного состава в целом в очереди, среднее время ожидания в очереди. Однако технологическое оборудование может отказывать, что потребует определенного времени для восстановления его работоспособности, а традиционные методы не позволяют учитывать показатели его надежности [1, 3].

Описание СМО с учетом показателей надежности технологического оборудования может быть осуществлено на основе метода динамики средних, который позволяет находить средние показатели СМО по вероятности состояний некоторого «среднего» объекта замкнутой системы,

когда технологическое оборудование обслуживает конечное и достаточно большое

**Теоретические исследования**

Если оборудование, например стенд для ремонта узлов трансмиссии на автотранспортном предприятии (АТП), имеющем  $n$  городских автобусов безотказен, то характер потока заявок и обслуживания остается неизменным и система является однородной. Если стенд не является безотказным, то интенсивность потока обслуживания меняется в зависимости от состояния стенда, т.е. система будет неоднородной. Граф состояний неоднородной системы, включающей один стенд для ре-

число закрепленных за ним ремонтируемых узлов трансмиссии автобусов.

монта узлов трансмиссии и  $n$  автобусов, показан на рис. 1, где указаны возможные состояния:  $C_p$  – стенд находится в работоспособном состоянии;  $C_n$  – стенд находится в неработоспособном состоянии;  $A_1$  – автобус находится в исправном состоянии, т.е. не требует ремонта узлов трансмиссии, когда стенд работоспособен;  $A_2$  – автобус исправен, когда стенд неработоспособен;  $A_3$  – автобус неисправен, когда стенд работоспособен;  $A_4$  – автобус неисправен, когда стенд неработоспособен.

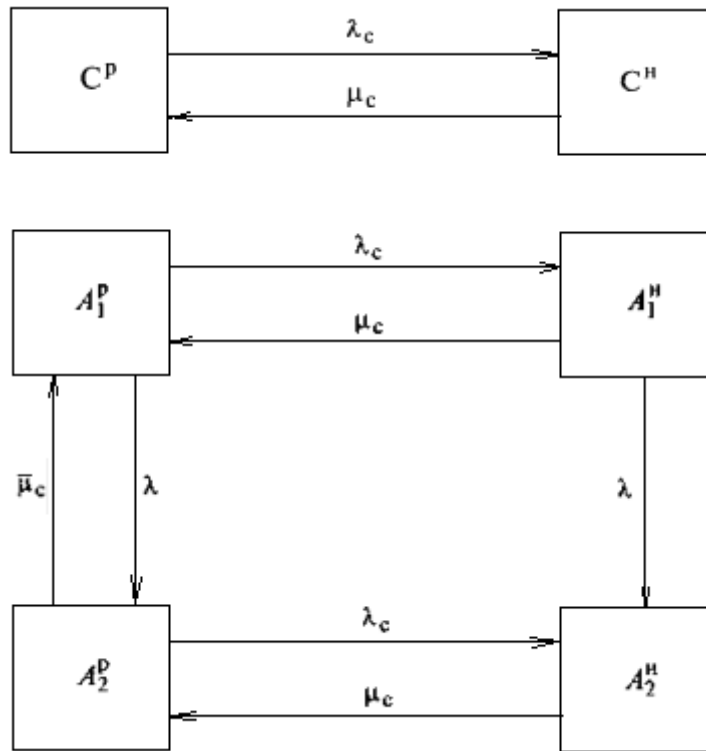


Рис. 1. Неоднородная система массового обслуживания узлов трансмиссии автобусов

Если потребность в ремонте узлов трансмиссии автобуса возникает в среднем через  $\bar{t}$  часов, то интенсивность потока отказов  $\lambda = \frac{1}{\bar{t}}$ . Аналогично выражается интенсивность потока отказов стенда  $\lambda_c$ , потока восстановления автобуса  $\bar{\mu}$ , и стенда  $\mu_c$ . На графе принято, что ремонт узлов трансмиссии при неработоспособном стенде невозможен.

Числа автобусов, находящихся в любом из четырех состояний, являются случайными величинами, сумма которых равна  $N$ .

Практическое значение имеют средние числа автобусов, находящихся в рассматриваемых состояниях. Для средних чисел  $m_1^p + m_1^n + m_2^p + m_2^n = N$ , где  $m_1^p, m_1^n$  – средние числа исправных автобусов при соответственно работоспособном и неработоспособном стенде;  $m_2^p, m_2^n$  – средние

числа неисправных автобусов при работоспособном и неработоспособном стенде соответственно.

Средние числа можно представить как результат  $n$  проверок состояний системы. Например, на АТП каждый час в течение многих дней проводят контроль исправности стенда для ремонта узлов трансмиссии и числа автобусов, нуждающихся в ее ремонте. Во внимание принимаются случаи, когда стенд для ремонта узлов трансмиссии находится в работоспособном состоянии [4, 5]. Суммируя зафиксированные в  $n_1$  случаях значения численности неисправных автобусов  $x_i^p$ , можно выразить среднее по всем случаям контроля  $n$  число неисправных автобусов при работоспособном стенде:

$$m_2^p = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{x_i^p}{n} \quad (1)$$

При аналогичном контроле автобусов с неисправной коробкой передач при неработоспособном стенде:

$$m_2^h = \sum_{i=1}^{n_2} \frac{x_i^h}{n} \quad (2)$$

Сумма числа случаев, когда стенд находится в работоспособном и неработоспособном состоянии, равна числу случаев контроля.

Затраты времени на ремонт узлов трансмиссии автобуса будут определяться производительностью стенда  $p$  и средней очередью автобусов, нуждающихся в ремонте, –  $M_2^p$ . Если  $M_2^p \rightarrow 0$ , то интенсивность потока восстановления автобуса  $D \rightarrow \mu$ , при  $M_2^p \rightarrow \infty$ , интенсивность потока восстановления  $D \rightarrow 0$ .

Среднее число автобусов по тем дням, когда стенд находится в работоспособном состоянии:

$$M_2^p = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{x_i^p}{n_1} \quad (3)$$

Интенсивность потока обслуживания является цельночисленной функцией от числа заявок, простаивающих в очереди, и по методу динамики средних расчетов ведут по различным формулам, соответствующим разным участкам численностей [6–8]. Для упрощения расчетов предлагается выражать интенсивность потока обслуживания формулой:

$$\bar{\mu} = \frac{\mu}{1 + M_2^p} \quad (4)$$

Преобразуем выражение среднего числа автобусов, нуждающихся в ремонте узлов трансмиссии:

$$M_2^p = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1} \cdot \frac{n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n} \cdot \frac{n}{n_1} = \frac{m_2^p}{p_p} \quad (5)$$

где  $p_p = \frac{n_1}{n}$  – вероятность того, что стенд для ремонта узлов трансмиссии находится в работоспособном состоянии.

Подставляя полученное выражение в формулу (4), получим выражение интенсивности потока обслуживания:

$$\bar{\mu} = \frac{\mu p_p}{p_p + m_2^p} \quad (6)$$

С целью проверки применимости полученной формулы (6) для метода динамики средних проведены сравнительные расчеты числа автобусов, нуждающихся в ремонте узлов трансмиссии, для случая, когда стенд безотказен, и мы имеем обычную одноканальную замкнутую СМО [9, 10].

Для замкнутой СМО среднее число неисправных автобусов:

$$\bar{W} = 1p_1 + 2p_2 + 3p_3 + \dots + Np_N \quad (7)$$

где  $p_N$  – вероятность случая, когда имеется  $N$  неисправных автобусов.

Вероятности состояний можно найти следующим образом:

$$p_K = N(N-1)(N-2)(N-3)\dots(N-K+1)\alpha^K p_0, \quad (8)$$

$$p_0 = [(\dots(\alpha+1)2\alpha+1)3\alpha+1)4\alpha+1)\dots)N\alpha+1]^{-1} \quad (9)$$

где  $a = \frac{\lambda}{\mu}$  – относительная интенсивность потоков заявок и обслуживаний.

**Результаты**

Результаты расчетов среднего количества автобусов, нуждающихся в ремонте

узлов трансмиссии по формуле (7) при  $\alpha = 0,003$  приведены в таблице.

Таблица

Результаты расчетов среднего числа автобусов, нуждающихся в ремонте узлов трансмиссии

Количество автобусов в парке АТП	Количество автобусов, нуждающихся в ремонте по формулам замкнутой СМО
50	0,183
100	0,430
150	0,612
200	0,991
300	2,664
400	14,571
500	110,001
600	208,000
700	350,085
800	500,000
900	
1000	

Далее получаем выражение для расчета количества ремонтируемых узлов или подвижного состава в целом в очереди:

$$\bar{w} = \frac{\lambda_c}{(\mu_c + \lambda_c)(\mu_c + \lambda)} (N\lambda + \mu_c A) + \frac{\mu_c}{\mu_c + \lambda_c} \cdot A, \quad (10)$$

где

$$A = 0,5 \left[ N - 1 - \frac{\mu(\mu_c + \lambda)}{\lambda(\lambda + \mu_c + \lambda_c)} \right] + \sqrt{0,25 \left[ N - 1 - \frac{\mu(\mu_c + \lambda)}{\lambda(\lambda + \mu_c + \lambda_c)} \right]^2 + N}. \quad (11)$$

Здесь  $N$  – число узлов, ремонтируемых с помощью технологического оборудования;  $\lambda$  – интенсивность потока отказов ремонтируемых узлов;  $\lambda_c$  – интенсивность потока отказов технологического оборудования;  $\mu$  – интенсивность потока восстановления ремонтируемых узлов;  $\mu_c$  – интенсивность потока восстановления технологического оборудования.

На примере пассажирского авто-транспортного предприятия с парком автобусов ПАЗ-3205 в 350 единиц, где потребность в ремонте коробок передач (рисунк 2) возникает в среднем через 650 ч, средняя производительность станда составляет 4,2 автобуса в час. Стенд отказывает в среднем через 4600 ч работы, среднее время ремонта станда – 2 ч.



Рис. 2. Демонтированную коробку передач автобуса ПАЗ-3205 «ожидает» ремонт

Проводя расчеты по формуле (11) находим, что среднее число автобусов, нуждающихся в ремонте коробок передач, равно 0,231. Если производительность стенда будет в два раза меньше, то число неисправных автобусов будет равняться 1.

### Заключение

Формула (11) позволяет оценивать эффективность использования технологического оборудования с учетом его производительности и надежности. Располагая числом узлов и подвижного состава в целом, простаивающих в ожидании ремонта,

Если же стенд, обслуживающий автобус в среднем за 2 ч, будет отказывать в среднем через 2100 ч, а восстанавливаться через 3,5 ч, то среднее число неисправных автобусов возрастет до 5.

можно проводить выбор технологического оборудования, обеспечивающего минимум затрат от простоя ремонтируемых узлов и стоимости оборудования при сохранении высокого качества ремонта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аленичев, А.А. Общий анализ надежности автомобильных трансмиссий / А.А. Аленичев. – Молодой ученый. - 2017. – № 20. – С. 3–5.
2. Булатов, С.В. Анализ современного состояния и проблем пассажирского автомобильного транспорта / С.В. Булатов. – Наука и техника транспорта. - 2017. – № 1. – С. 29–32.
3. Ионов, В.В. Исследование эксплуатационной надежности агрегатов трансмиссии автомобилей КамАЗ / В.В. Ионов. // Вестник Северо-восточного государственного университета. - 2013. – Вып. 20. – 82 с.
4. Катаргин, В.Н. Оценка спроса на автомобильные запасные части на основе модели смеси вероятностных распределений / В.Н. Катаргин, В.М. Терских. // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2014. – № 4. – С. 110–114. – doi: 10.21285/1814-3520.
5. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. для вузов; под ред. Е.С. Кузне-

цова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

6. Макарова, А.Н. Уточнение периодичности технического обслуживания автомобилей в эксплуатации / А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. - 2014. – №1. - С. 117–120.
7. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: теоретические и практические аспекты / В.С. Малкин. – М.: Издательский центр «Академия», 2007 – 288 с.
8. Пучин, Е.А. Технология ремонта машин / Е.А. Пучин. – М.: Колос, 2007. – 488 с.
9. Рыжиков, Ю.И. Теория очередей и управление запасами / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
10. Таранов, А.В. Управление запасами на машиностроительных предприятиях в условиях широкой номенклатуры используемых ресурсов / А.В. Таранов. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2011. – 205 с. – doi: 10.90987.

1. Alenichev, A.A. General analysis of motor car transmission reliability / A.A. Alenichev. – *Young Scientist*. – 2017. – No.20. – pp. 3-5.
2. Bulatov, S.V. Analysis of current state and problems of passenger motor transport / S.V. Bulatov. – *Science and Transport Engineering*. – 2017. – No.1. – pp. 29-32.
3. Ionov, V.V. Operation reliability of KamAZ transmission units / V.V. Ionov. // *Bulletin of North-Eastern State University*. – 2013. – Issue 20. – pp. 82.
4. Katargin, V.N. Assessment of demand for motor car spare parts based on model of probabilistic distribution mixture / V.N. Katargin, V.M. Terskikh. // *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. – 2014. – No.4. – pp. 110-114. - doi: 10.21285/1814-3520.
5. Kuznetsov, E.S. *Motor Car Technical Operation*: textbook for colleges; under the editorship of E.S.

Kuznetsov. – 4<sup>th</sup> edition revised and supplemented. – М.: М.: Science, 2001. – pp. 535.

6. Makarova, A.N. Maintenance frequency amendment for motor cars in operation / A.N. Makarova // *Scientific Technical Bulletin of Volga Region*. – 2014. – No.1. – pp. 117-120.
7. Malkin, V.S. *Motor Car Technical Operation*: theoretical and practical aspects / V.S. Malkin. – М.: “Academy” Publishing Center, 2007 – pp. 288.
8. Puchin, E.A. *Technology of Motor Car Repair* / E.A. Puchin. – М.: Kolos, 2007. – pp. 488.
9. Ryzhikov, Yu.I. *Queue Theory and Stock Control* / Yu.I. Ryzhikov. – S-Pb.: Peter, 2001. – pp. 384.
10. Taranov, A.V. *Sock Control at Engineering Enterprises under Conditions of Wide Range of Stock Used* / A.V. Taranov. – Bryansk: BSTU Publishers, 2011. – pp. 205. - doi: 10.90987.

Ссылка для цитирования:

Булатов, С.В. Определение времени, затрачиваемого на ремонт узлов трансмиссии автобусов, с учетом надежности технологического оборудования / С.В. Булатов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. - № 9. – С. 29-34. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-9-29-34.

Статья поступила в редакцию 17.01.20.

Рецензент: д.т.н., профессор, Брянского государственного технического университета

Кобищанов В.В.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 31.08.20.

#### Сведения об авторах:

**Булатов Сергей Владимирович**, магистрант кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт авто-

мобилей» Оренбургского государственного университета, e-mail: bul.sergey2015@yandex.ru.

**Bulatov Sergey Vladimirovich**, Master's degree student of the Dep. "Technical Operation and Motor Car

Repair", Ohrenburg State University, e-mail: bul.sergey2015@yandex.ru.