



# Определение оптимальной периодичности технического обслуживания автобусов



Дмитрий МАЛЬЦЕВ  
Dmitry V. MALTSEV

Сергей ПЕСТРИКОВ  
Sergey A. PESTRIKOV



*Мальцев Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и технологических машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), Пермь, Россия.*

*Пестриков Сергей Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры автомобилей и технологических машин ПНИПУ, Пермь, Россия.*

## Determining Optimal Frequency of Technical Maintenance of Buses

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 102)

**В статье на примере «АТП Кама» анализируется состояние парка автотранспортного предприятия, а также существующей системы обеспечения его работоспособности. В частности, показана нормативная и фактическая техническая готовность автобусов с учётом сроков их эксплуатации, среднесуточного пробега, суммарного количества дней пребывания на техническом обслуживании и ремонте в течение года. Выбрана методика корректирования нормативов, определена оптимальная периодичность технического обслуживания парка машин. Проведена оценка интенсивности отказов, затрат предприятия на планово-предупредительные и ремонтные работы, сделан расчёт экономической эффективности предлагаемых решений.**

*Ключевые слова:* автопредприятие, экономика, снижение затрат, оптимальная периодичность технического обслуживания, эксплуатация автобусов, экономико-вероятностный метод, экспоненциальный закон распределения.

**В** рыночных условиях конкурентоспособность любого автотранспортного предприятия зависит от коэффициента технической готовности парка и затрат на техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР). Кроме того, нельзя забывать о росте стоимости автомобилей, запасных частей, о достаточно высоком среднем возрасте подвижного состава, особенно грузовых автомобилей и автобусов.

В настоящее время наблюдается тенденция к разукрупнению автотранспортных организаций, среднестатистическое предприятие насчитывает ныне не более 30 единиц техники [1]. Система поддержания работоспособности подвижного состава на таких предприятиях неэффективна и в лучшем случае заключается в выполнении ТО с периодичностью, указанной в технической документации, при этом большинство предприятий не располагает собственной производственно-технической базой, не имеет возможности соблюдать технологическую дисциплину по ТО и ТР.

Основным документом, регламентирующим корректирование нормативов в зависимости от условий эксплуатации, климатиче-

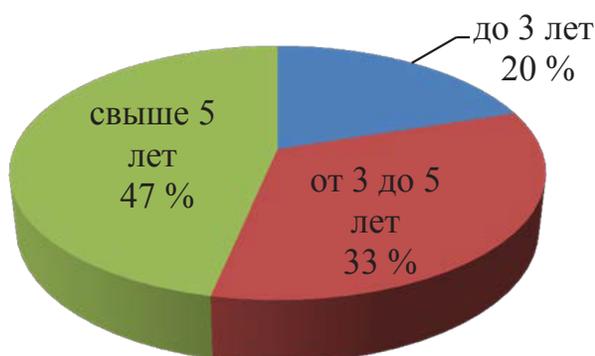


Рис. 1. Возрастные группы подвижного состава на АТП «Кама».

ских условий, среднего пробега автомобилей, качества выполнения ТО и ТР и других факторов, является «Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» [2]. Документ разработан более 30 лет назад, подвижной состав, а также нормативы, которые в нем указаны, устарели. Кроме того, в данный момент периодичность техобслуживания, трудоёмкость обслуживания и ремонта определяются заводом-изготовителем, и многие предприятия придерживаются именно этих рекомендаций. Не является исключением и ООО «АТП Кама» в Перми, на базе которого проводились наши исследования. Парк предприятия обслуживается с периодичностью, указанной в технической документации заводом-изготовителем, при этом не учитываются ни условия эксплуатации, ни прочие факторы, ни специфика предприятия – пассажироперевозки. Всё это приводит к продолжительным простоям техники и высоким удельным затратам на эксплуатацию [3–5].

Указанное предприятие занимается пассажирскими перевозками, парк состоит из автобусов МАЗ и ЛиАЗ. При этом были выделены три возрастных группы подвижного состава: до 3 лет, от 3 до 5 лет, свыше 5 лет (рис. 1). И судя по демонстрируемым

данным, большую часть автобусного парка можно считать отнюдь «не молодой».

Нормативная периодичность обслуживания автобусов МАЗ составляет 10000 км (ТО-1) и 30000 км (ТО-2) [6], ЛиАЗ – 10000 км (ТО-1) и 20000 км (ТО-2) [7].

Выполнен анализ работы предприятия, определены основные показатели по каждой возрастной группе, они представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что коэффициент технической готовности группы от 3 до 5 лет ниже, чем группы со сроком эксплуатации свыше 5 лет, это можно объяснить случайными факторами из-за небольшой выборки, поскольку исследования проводились на базе лишь одного предприятия. Также видно, что автобусы со сроком эксплуатации до 3 лет выполняют большую часть транспортной работы по перевозке пассажиров, однако эта же группа наибольшее количество времени находится в обслуживании и ремонте, что свидетельствует о неоптимальной периодичности ТО. Кроме того, существует проблема низкой технической готовности автобусов со сроком эксплуатации свыше 3 лет. Коэффициент технической готовности для второй и третьей групп значительно ниже среднеотраслевого.

Таблица 1

Основные показатели работы подвижного состава

№	Срок эксплуатации	Коэффициент технической готовности		Коэффициент использования парка	Среднесуточный пробег, км	Среднее количество дней в обслуживании и ремонте в год (на ед.)
		фактический	нормативный			
1	До 3 лет	0,89	0,85	0,77	153	43
2	От 3 до 5 лет	0,63	0,85	0,58	66	20
3	Свыше 5 лет	0,70	0,85	0,63	85	27



Затраты предприятия на ТО и ТР

№	Срок эксплуатации	Периодичность ТО-1, км	Периодичность ТО-2, км	Удельные затраты на ТО и ТР, руб./км	Суммарные годовые затраты на ТО и ТР, тыс. руб.
1	До 3 лет	10000	40000	1,40	234,11
2	От 3 до 5 лет	8000	32000	2,70	328,16
3	Свыше 5 лет	6000	24000	3,78	825,76
	Итого				1387,92

Известно несколько методов определения оптимальной периодичности обслуживания транспортных средств: метод по допустимому уровню безотказной работы, метод по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния, технико-экономический метод, экономико-вероятностный и т.д. [8–9].

Поиску оптимальной периодичности технического обслуживания посвящено большое количество научных публикаций [10–17]. Как правило, их авторы под оптимальной периодичностью понимают такой срок эксплуатации, при котором затраты на ТО и ТР, отнесённые к единице работы, минимальны [10]. Для нашего исследования наибольший интерес представляет экономико-вероятностный метод, ибо он позволяет оценить не только затраты, но и безотказность работы при заданном риске и разумном количестве исходных данных и трудоёмкости вычислений.

Спецификой предприятия являются пассажироперевозки, поэтому для поддержания парка автобусов в работоспособном состоянии используется планово-предупредительная система. Периодичность обслуживания и затраты предприятия на ТО и ТР за 2016 год представлены в таблице 2.

Одним из критериев оптимизации является снижение затрат на эксплуатацию, поэтому при расчётах определялись удельные затраты на километр пробега.

Удельные затраты при применении предупредительной стратегии можно трактовать как отношение средневзвешенной стоимости одной операции к средневзвешенной наработке с учётом отказа части конструктивных элементов автобуса по формуле [8]:

$$U_1 = C_1 = \frac{cF + dR}{I_p F + I_p R}, \quad (1)$$

где  $d$  – стоимость операции технического обслуживания, руб.;

$R$  – вероятность безотказной работы;

$F$  – вероятность отказа при выполнении технического обслуживания с периодичностью  $I_p$  и вероятность выполнения ремонтной операции (устранение отказа);

$c$  – стоимость операции устранения отказа, руб.;

$I_p'$  – средняя наработка отказавших с вероятностью  $F$  элементов, км;

$I_p$  – периодичность технического обслуживания, км.

Вероятность безотказной работы при экспоненциальном законе выражается формулой [8]:

$$R(x) = \exp^{-\lambda x}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказа.

Использование экспоненциального закона при расчётах обусловлено большей точностью в сравнении с нормальным законом распределения. Экспоненциальный закон описывает надёжность работы изделия в промежутке его нормальной эксплуатации, когда постепенные отказы ещё не проявляются и надёжность характеризуется только внезапными отказами.

Интенсивность отказов является постоянной величиной и определяется по формуле [8]:

$$\lambda = \frac{1}{T_0}, \quad (3)$$

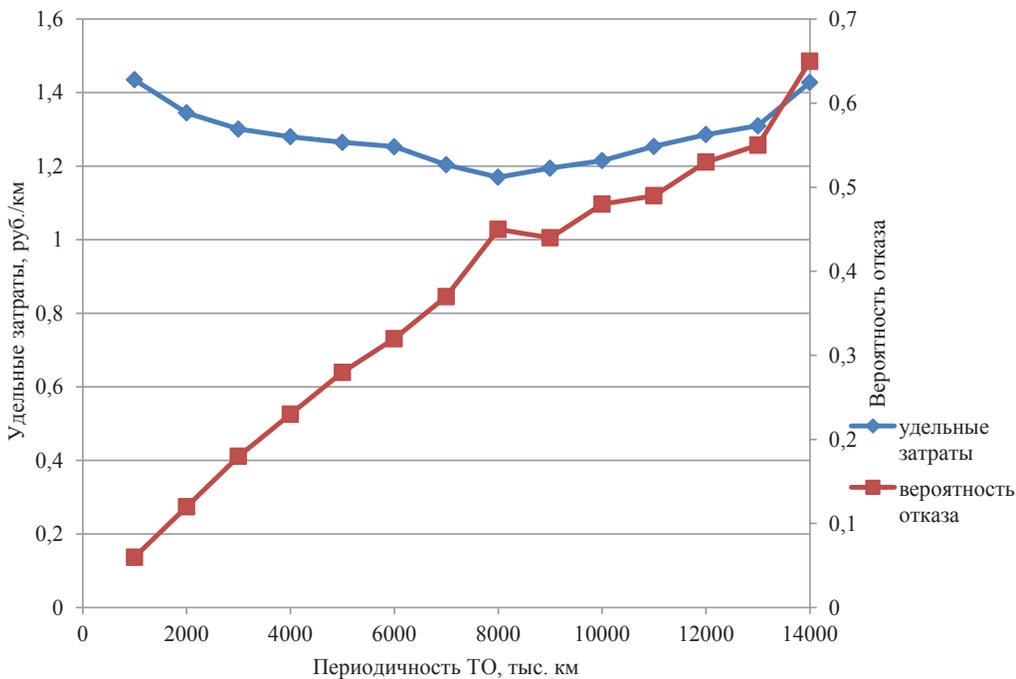
где  $T_0$  – средняя наработка на отказ, км.

Вероятность отказа при проведении технического обслуживания [8]:

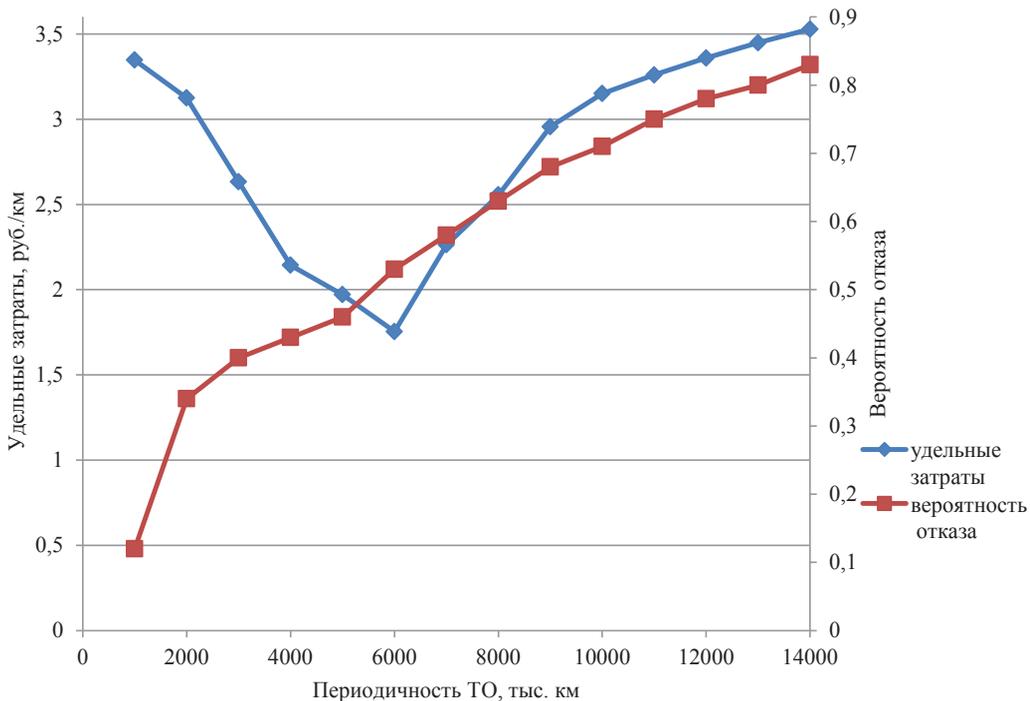
$$F = 1 - R. \quad (4)$$

Результаты расчётов представлены на рис. 2–4.

Вид графиков объясняется следующим образом: затраты на техническое обслуживание от пробега зависят мало и можно принять допущение, что они выступают фиксированной величиной. Чем чаще про-



**Рис. 2. Удельные затраты на ТО и ремонт и вероятность отказа автобусов с возрастом эксплуатации до 3-х лет при различной периодичности ТО.**

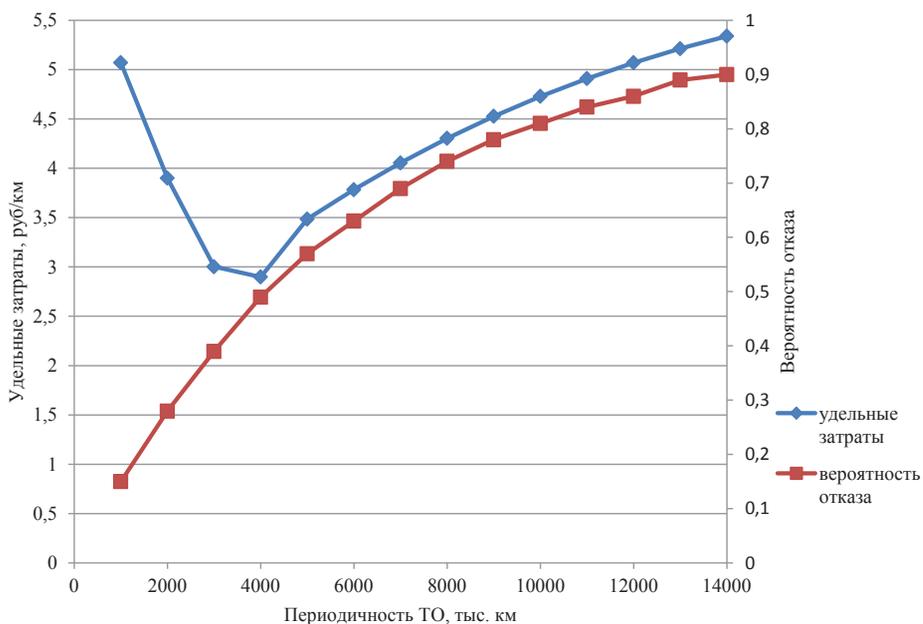


**Рис. 3. Удельные затраты на ТО и ремонт и вероятность отказа автобусов с возрастом эксплуатации от 3-х до 5 лет при различной периодичности ТО.**

водят ТО, тем дороже удельные затраты на обслуживание и меньше затраты на ремонт, поскольку вероятность возникновения отказа снижается. Если ТО проводить редко,

то возрастают удельные затраты на ремонт. Все полученные графики имеют минимумы, которые соответствуют оптимальным значениям периодичности ТО,





**Рис. 4. Удельные затраты на ТО и ремонт и вероятность отказа автобусов с возрастом эксплуатации свыше 5 лет при различной периодичности ТО.**

**Таблица 3**

**Затраты предприятия на ТО и ТР при оптимальной периодичности ТО**

№	Срок эксплуатации	Оптимальная периодичность ТО-1, км	Оптимальная периодичность ТО-2, км	Удельные затраты на ТО и ТР, руб./км	Суммарные годовые затраты на ТО и ТР, тыс. руб.
1	До 3 лет	8000	32000	1,265	234,11
2	От 3 до 5 лет	6000	24000	2,143	328,16
3	Свыше 5 лет	4000	16000	3,002	825,76
	Итого				1128,34

однако эти значения существенно меньше, чем значения нормативной периодичности обслуживания автобусов МАЗ и ЛиАЗ, приведённые выше. Полученные оптимальные значения периодичности ТО целесообразно корректировать для снижения вероятности возникновения отказов.

Таким образом, для транспорта со сроком эксплуатации до 3 лет при проведении ТО-1 с периодичностью 8000 км удельные затраты будут минимальными и составят 1,170 руб./км, при вероятности отказа – 0,45. Учитывая специфику предприятия – пассажироперевозки, оптимальной будет периодичность не с минимальными затратами, а с меньшей вероятностью возникновения отказов при рациональных затратах. Поэтому разумно проводить обслуживание с периодичностью 5000 км, затраты увеличатся до 1,265 руб./км, т.е. на 8 %, при этом веро-

ятность возникновения отказа снизится до 0,23 или почти в 2 раза.

Для группы со сроком эксплуатации от 3 до 5 лет минимальные затраты будут при периодичности обслуживания 6000 км и составят 1,754 руб./км, при вероятности отказа – 0,53. Однако если проводить обслуживание с периодичностью 4000 км, то затраты увеличатся до 2,143 руб./км, т.е. на 22 %, при этом вероятность возникновения отказа снизится до 0,30 или на 43,4 %.

Для группы со сроком эксплуатации свыше 5 лет минимальные затраты будут при периодичности обслуживания 4000 км и составят 2,898 руб./км, при вероятности отказа – 0,49. Однако если проводить обслуживание с периодичностью 3000 км, то затраты увеличатся до 3,002 руб./км, т.е. на 3,5 %, при этом вероятность возникновения отказа снизится до 0,39 или на 25,6 %.

Корректирование нормативов периодичности обслуживания в сторону их

уменьшения приведёт к увеличению удельных затрат на ТО, но при этом значительно уменьшится вероятность наступления отказов и, как следствие, снизятся удельные затраты на ремонт, за счёт чего и будет достигнут экономический эффект. Конечно, принятые вероятности наступления отказов от 0,23 до 0,39 сложно назвать удовлетворительными, тем не менее поддержание вероятности отказов на уровне 0,1–0,15 (что соответствует коэффициенту технической готовности на уровне среднеотраслевого) приведёт к росту удельных затрат примерно в 2 раза, а оптимальная периодичность составит 2000–2500 км.

В таблице 3 приведены результаты расчётов при новых оптимальных значениях периодичности технического обслуживания. Суммарные годовые затраты предприятия на ТО и ТР снизятся в этом случае на 259,58 тыс. руб. или на 18,7 %.

## ВЫВОДЫ

1. Задача нахождения оптимального значения периодичности проведения ТО и ТР подвижного состава является актуальной и многофакторной.

2. Определена оптимальная периодичность ТО для парка автотранспортного предприятия. Для автобусов первой группы она составит 8000 км, для второй группы – 6000 км, для третьей – 4000 км. Полученные значения периодичности позволяют значительно снизить вероятность возникновения отказов, что очень важно при перевозке пассажиров, при незначительном увеличении удельных затрат на ТО и ТР.

3. Использование предложенной методики позволит повысить коэффициент технической готовности на предприятии и снизить суммарные годовые затраты на ТО и ТР.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Верёвкин Н. И., Черняев И. О., Лаврентьев Е. В. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий как средство повышения безопасности дорожного движения // *Транспорт РФ.* – 2015. – № 1. – С. 52–55.

2. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1988. – 115 с.

3. Пестриков С. А. К вопросу о рентабельности предприятий автотранспортной отрасли // *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практ. конференции.* – Пермь: Изд-во Перм. НИПУ, 2014. – С. 173–176.

4. Пестриков С. А. Финансово-экономическая состоятельность организаций автотранспортной сферы // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология.* – 2014. – № 1. – С. 141–150.

5. Пестриков С. А., Пугин К. Г. Актуальные вопросы инновационной активности транспортной отрасли // *Транспорт России: проблемы и перспективы-2014: Материалы международной научно-практ. конференции.* – СПб., 2014. – С. 93–97.

6. Руководство по эксплуатации 103003–0000020 РЭ. Автобусы МАЗ-103, МАЗ-107. – Минск, 2016. – 164 с.

7. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию автобуса ЛиАЗ-529222. – М.: Транспорт, 2011. – 130 с.

8. Дмитренко В. М., Горбунов А. А. Основы работоспособности технических систем: Учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 142 с.

9. Кузьмин Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: Учеб. пособие. – М.: Форум, 2011. – 224 с.

10. Юшков А. Н., Еремеева Л. Э. Математическое моделирование процессов технической эксплуатации гидравлических систем // *Вестник КрасГАУ.* – 2009. – № 10. – С. 11–15.

11. Юшков А. Н. Повышение эффективности работы гидропривода лесных машин. – Сыктывкар: СЛИ, 2011. – 108 с.

12. Дац Ф. А. Выбор оптимальной периодичности технического обслуживания и ремонта лесозаготовительных машин фирмы Джон Дир в условиях Вологодской области // *Лесной вестник.* – 2010. – № 6. – С. 124–129.

13. Малкин В. С. Определение оптимальной периодичности диагностирования // *Вектор науки ТГУ.* – 2012. – № 4. – С. 181–183.

14. Бурмистров В. А. Корректирование режимов технического обслуживания грузовых автомобилей // *Современные проблемы науки и образования.* – 2014. – № 1. – С. 184.

15. Борисов Г. В., Ерофеева Л. Н. Уточнение технико-экономического метода определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей // *Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева.* – 2013. – № 4. – С. 37–43.

16. Кириллов Г. А., Кашин Я. М., Руденко В. Г. Выбор оптимальной периодичности технического обслуживания и ремонта из условия минимальной стоимости работ // *Сборник научных статей IV международной научно-практической конференции.* – Краснодар: Издательский дом – «Юг», 2014. – С. 215–218.

17. Дьяков И. Ф. Нейронная технология как инструмент выбора оптимальной периодичности обслуживания АТС // *Автомобильная промышленность.* – 2014. – № 11. – С. 26–30.

Координаты авторов: **Мальцев Д. В.** – mdv@pstu.ru, **Пестриков С. А.** – +7(342)2–391–026.

Статья поступила в редакцию 15.02.2018, актуализирована 10.04.2018, принята к публикации 11.04.2018.



## DETERMINING OPTIMAL FREQUENCY OF TECHNICAL MAINTENANCE OF BUSES

*Maltsev, Dmitry V., Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.*

*Pestrikov, Sergey A., Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.*

### ABSTRACT

The article, using the example of LLC ATP Kama analyzes the condition of fleet of the motor transport enterprise, as well as the existing system for ensuring its operability. In particular, normative and actual technical readiness of buses is shown taking into account the terms of their operation, average daily mileage, total number of days of stay for

maintenance and repair during the year. The method of adjustment of standards was chosen. Optimal periodicity of maintenance of vehicles was determined. An assessment of intensity of failures, costs for the enterprise of preventive maintenance and repair work, and calculation of economic effectiveness of the proposed solutions are suggested.

*Keywords:* motor transport enterprise, economy, cost reduction, optimal periodicity of maintenance, bus operation, economic-probabilistic method, exponential distribution law.

**Background.** In market conditions, competitiveness of any motor transport enterprise depends on the coefficient of technical readiness of the fleet and the costs for maintenance (TM) and current repairs (CR). In addition, we should not forget about the increase in the cost of cars, spare parts, relatively high average age of the fleet, especially trucks and buses.

Currently there is a tendency for disaggregation of motor transport organizations, an average enterprise now has no more than 30 units of equipment [1]. The system for maintaining working capacity of the fleet at such enterprises is ineffective and at best consists of performing maintenance with the frequency specified in the technical documentation, while most enterprises do not have their own production and technical base, they cannot keep technological discipline for maintenance and current repairs.

The main document regulating adjustment of standards depending on operating conditions, climatic conditions, average mileage of cars, quality of maintenance and current repair performance and other factors is «Regulation on technical maintenance and repair of the fleet of automobile transport» [2]. The document was developed more than 30 years ago, cars, as well as the standards, which it indicated are outdated. In addition, at present periodicity of maintenance, labor-intensive maintenance and repair are determined by the manufacturer and many enterprises adhere to these recommendations. LLC ATP Kama in Perm on the basis of which studies were conducted is not an exception. The maintenance of the enterprise fleet is carried out with the frequency specified in the technical documentation by the manufacturer, and neither the operating conditions, nor other factors, nor the specific nature of the

enterprise – passenger transportation, are taken into account, all this leads to long downtime of equipment and high specific costs of operation [3–5].

**Objective.** The objective of the authors is to consider the issue of determining rational frequency of technical maintenance of buses.

**Methods.** The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, scientific description method.

**Results.** The said enterprise is engaged in passenger transportation, the fleet consists of MAZ and LiAZ buses. Three age groups of rolling stock are distinguished: up to 3 years, from 3 to 5 years, over 5 years (Pic. 1). And judging by the data shown, most of the bus fleet cannot be considered «young».

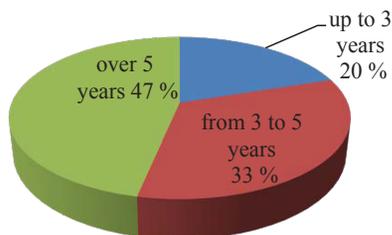
The normative frequency of maintenance of MAZ buses is 10000 km (TM-1) and 30000 km (TM-2) [6], LiAZ- 10000 km (TM-1) and 20000 km (TM-2) [7].

The work of the enterprise is analyzed, the main indicators for each age group are determined, they are presented in Table 1.

From Table 1 it follows that the coefficient of technical readiness of the group of buses aged from 3 to 5 years is lower than those with a service life of more than 5 years, this can be explained by random factors due to a small sample, since the studies were conducted on the basis of only one enterprise. It can also be seen that buses with a service life of up to 3 years carry out most of the transport work for transportation of passengers, however the same group has the greatest amount of time lost for maintenance and repair, which indicates non-optimal periodicity of maintenance. In addition, there is a problem of low technical readiness of buses with a service life of more than 3 years. The coefficient of technical readiness for the second and third groups is much lower than the industry average.

There are several methods for determining the optimal periodicity for maintenance of vehicles: method based on permissible level of failure-free operation, method based on permissible value and regularity of the change in the technical condition parameter, technical and economic method, economic-probabilistic, etc. [8–9].

A large number of scientific publications have been devoted to the search for optimal periodicity of maintenance [10–17]. As a rule, their authors understand under optimum periodicity such a service life at which the costs for maintenance and current repair, referred to the unit of work, are minimal [10]. For our study, the most interesting is the economic-



**Pic. 1.** Age groups of rolling stock at LLC ATP Kama.

Table 1

## Main performance indicators of rolling stock

No.	Service life	Coefficient of technical readiness		Fleet utilization coefficient	Average daily mileage, km	Average number of days in maintenance and repair per year (per unit)
		actual	normative			
1	Up to 3 years	0,89	0,85	0,77	153	43
2	From 3 to 5 years	0,63	0,85	0,58	66	20
3	Over 5 years	0,70	0,85	0,63	85	27

Table 2

## Costs of the enterprise for maintenance and current repair

No.	Service life	Periodicity of TM-1, km	Periodicity of TM-2, km	Specific costs for TM and CR, rub./km	Total annual costs for TM and CR, thous. rub.
1	Up to 3 years	10000	40000	1,40	234,11
2	From 3 to 5 years	8000	32000	2,70	328,16
3	Over 5 years	6000	24000	3,78	825,76
	Total				1387,92

probabilistic method, because it allows us to estimate not only costs, but also failure-free operation at a given risk and a reasonable amount of input data and laborious calculations.

Specifics of the enterprise is passenger transportation, therefore, in order to maintain the fleet of buses in working condition, a preventive maintenance system is used. Periodicity of maintenance and costs of the enterprise for maintenance and current repair for 2016 are presented in Table 2.

One of the optimization criteria is reduction of operating costs, therefore, the specific costs per kilometer of mileage were determined in the calculations.

Specific costs when applying a preventive strategy can be interpreted as a ratio of weighted average cost of one operation to weighted average service hours, taking into account failure of a part of the structural elements of a bus according to the formula [8]:

$$U_1 = C_1 = \frac{cF + dR}{I_p F + I_p R}, \quad (1)$$

where  $d$  – cost of maintenance operation, rub.;

$R$  – probability of failure-free operation;

$F$  – probability of a failure during performance of maintenance with periodicity  $I_p$  and probability of performing a repair operation (elimination of a failure);

$c$  – cost of a failure elimination operation, rub.;

$I_p'$  – average service hours of a failed element with probability  $F$ , km;

$I_p$  – periodicity of technical maintenance, km.

The probability of failure-free operation under the exponential law is expressed by the formula [8]:

$$R(x) = \exp^{-\lambda x}, \quad (2)$$

where  $\lambda$  – failure intensity.

The use of the exponential law in calculations is due to greater accuracy in comparison with the normal distribution law. The exponential law describes reliability of a product in the period of its normal operation, when gradual failures are not yet manifested and reliability is characterized only by sudden failures.

The failure intensity is a constant value and is determined by the formula [8]:

$$\lambda = \frac{1}{T_0}, \quad (3)$$

where  $T_0$  – average service hours to a failure, km.

Probability of a failure during maintenance [8]:

$$F = 1 - R. \quad (4)$$

The results of the calculations are shown in Pic. 2–4.

The type of graphs can be explained as follows: maintenance costs depend little on the mileage and it can be assumed that they are a fixed value. The more frequent is maintenance, the higher is the unit cost of maintenance and the less are repair costs, since the probability of failure is reduced. If maintenance is carried out rarely, then the unit costs for repairs increase.

All the obtained graphs have minima that correspond to the optimum values of TM periodicity, but these values are substantially less than the values of the normative periodicity of maintenance of MAZ and LiAZ buses given above. It is advisable to adjust the obtained optimum values of the periodicity of TM to reduce the probability of failures.

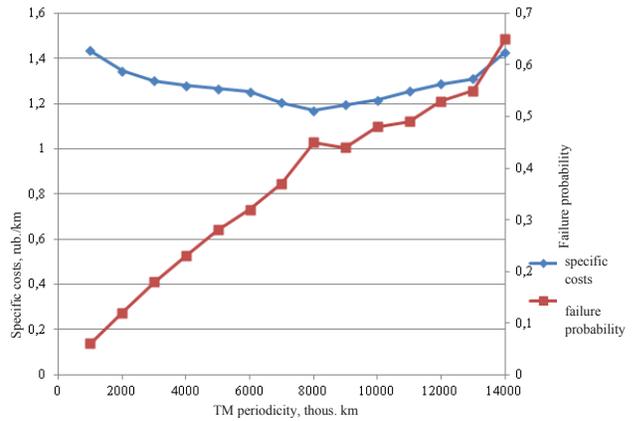
Thus, for transport with a service life of up to 3 years it is recommended to carry out TM-1 with a periodicity of 8000 km, the specific costs will be minimal and amount to 1 170 rub./km, with the probability of failure – 0,45. Given the specifics of the enterprise – passenger transportation, the periodicity will be optimal not with minimal costs, but with a lower probability of failures at rational costs. Therefore it is reasonable to carry out maintenance with a frequency of 5000 km, the costs will increase to 1,265 rub./km, i. e. by 8 %, while the probability of a failure will decrease to 0,23 or almost by 2 times.

For a group with a service life from 3 to 5 years, the minimum costs will be at a maintenance period of 6000 km and will be 1,754 rub./km, with a probability of failure – 0,53. However, if the maintenance is carried out at a frequency of 4000 km, the costs will increase to 2,143 rub./km, i. e. by 22 %, while the probability of a failure will decrease to 0,30 or 43,4 %.

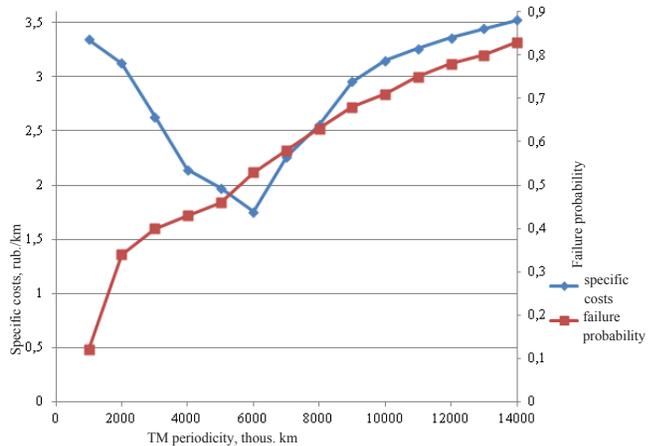
For a group with a service life of more than 5 years, the minimum costs will be at a maintenance period of 4000 km and will be 2,898 rub./km, with a probability of a failure – 0,49. However, if the maintenance is



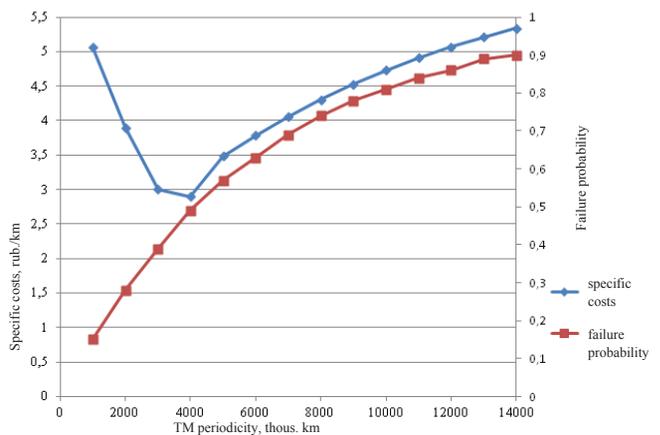
**Pic. 2. Specific costs for maintenance and repair and the probability of failure of buses with the service life of up to 3 years at different intervals of maintenance.**



**Pic. 3. Specific costs for maintenance and repair and the probability of failure of buses with the service life from 3 to 5 years at different intervals of maintenance.**



**Pic. 4. Specific costs for maintenance and repair and the probability of failure of buses with the service life of more than 5 years at different intervals of maintenance.**



carried out at a frequency of 3000 km, the costs will increase to 3,002 rub./km, i. e. by 3,5 %, while the probability of a failure will decrease to 0,39 or 25,6 %.

Adjustment of standards for maintenance intervals focusing on their reduction will lead to an increase in specific costs for maintenance, but at the same time, the probability of a failure will significantly decrease, and as a consequence, the specific costs for repair will decrease, thereby achieving economic benefits. Of course, it is difficult to call the accepted probability of failures from 0,23 to 0,39 satisfactory, nevertheless maintaining the probability of a failure at the level of 0,1–0,15 (which corresponds to the coefficient of technical readiness at the level of the industry average) will lead to an increase in specific costs

by approximately 2 times, and the optimal frequency will be 2000–2500 km.

Table 3 shows the results of calculations at the new optimum values of maintenance intervals. The total annual costs of the enterprise for maintenance and current repair will decrease in this case by 259,58 thousand rubles or by 18,7 %.

#### Conclusions.

1. The task of finding an optimal value of periodicity of carrying out maintenance and current repair of rolling stock is topical and multifactorial.

2. The optimal periodicity of maintenance for the fleet of the motor transport enterprise was determined. For buses of the first group it will be 8000 km, for the second group – 6000 km, for the third one – 4000 km. The obtained values of periodicity can significantly

**Costs of the enterprise for maintenance and current repair  
at the optimum periodicity of maintenance**

No.	Service life	Optimal periodicity of TM-1, km	Optimal periodicity of TM-2, km	Specific costs for TM and CR, rub./km	Total annual costs for TM and CR, thous. rub.
1	Up to 3 years	8000	32000	1,265	234,11
2	From 3 to 5 years	6000	24000	2,143	328,16
3	Over 5 years	4000	16000	3,002	825,76
	Total				1128,34

reduce the probability of failure, which is very important for transportation of passengers, with a slight increase in specific costs for maintenance and current repair.

3. Using the proposed methodology will increase the coefficient of technical readiness at the enterprise and reduce the total annual costs for maintenance and current repair by 259,58 thousand rubles or by 18,7%.

## REFERENCES

1. Verevkin, N. I., Chernyaev, I. O., Lavrentiev, E. V. Technological design of motor transport enterprises as a means of improving road safety [Tehnologicheskoe proektirovanie avtotransportnykh predpriyatij kak sredstvo povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya]. *Transport RF*, 2015, Iss. 1, pp. 52–55.

2. Regulation on technical maintenance and repair of the fleet of motor transport [Polozhenie o tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte podvizhnogo sostava avtomobilnoy transporta]. Moscow, Transport publ., 1988, 115 p.

3. Pestrikov, S. A. On the issue of profitability of enterprises of the motor transport industry [K voprosu o rentabelnosti predpriyatij avtotransportnoi otrasli]. *Modernization and scientific research in the transport sector: Proceedings of the international scientific-practical conference*. Perm, Publishing house of Perm National Research Polytechnical University, 2014, pp. 173–176.

4. Pestrikov, S. A. Financial and economic consistency of organizations of the motor transport sphere [Finansovo-ekonomicheskaya sostoyatel'nost' organizatsii avtotransportnoi sfery]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*, 2014, Iss. 1, pp. 141–150.

5. Pestrikov, S. A., Pugin, K. G. Actual issues of innovative activity of the transport industry [Aktualnye voprosy innovatsionnoy aktivnosti transportnoi otrasli]. *Transport of Russia: problems and prospects-2014: Proceedings of the international scientific and practical conference*. St. Petersburg, 2014, pp. 93–97.

6. Operating manual 103003–0000020 RE. Buses MAZ-103, MAZ-107 [Rukovodstvo po ekspluatatsii 103003–0000020 RE. Avtobusy MAZ-103, MAZ-107]. Minsk, 2016, 164 p.

7. Manual for operation and maintenance of LiAZ-529222 bus [Rukovodstvo po ekspluatatsii i tekhnicheskoy obsluzhivaniyu avtobusa LiAZ-529222]. Moscow, Transport publ., 2011, 130 p.

8. Dmitrenko, V. M., Gorbunov, A. A. Foundations of working capacity of technical systems: study guide [Osnovy

rabotosposobnosti tekhnicheskikh sistem: Uchebnoe posobie]. Perm: Publishing house of Perm National Research Polytechnical University, 2015, 142 p.

9. Kuzmin, N. A. Technical exploitation of cars: rationing and management: study guide [Tehnicheskaya ekspluatatsiya avtomobilei: normirovanie i upravlenie: Uchebnoe posobie]. Moscow, Forum, 2011 publ., 224 p.

10. Yushkov, A. N., Eremeeva, L. E. Mathematical modeling of the processes of technical operation of hydraulic systems [Matematicheskoe modelirovanie protsessov tekhnicheskoy ekspluatatsii gidravlicheskikh sistem]. *Vestnik KrasGAU*, 2009, Iss. 10, pp. 11–15.

11. Yushkov, A. N. Increase of efficiency of hydraulic drive of forest machines [Povyshenie effektivnosti raboty gidroprivoda lesnykh mashin]. Syktyvkar, SLI publ., 2011, 108 p.

12. Dats, F. A. Choice of the optimal periodicity of maintenance and repair of logging machines of John Deere in the conditions of Vologda region [Vybor optimalnoi periodichnosti tekhnicheskoy obsluzhivaniya i remonta lesozagotovitelnykh mashin firmy John Deere v usloviyakh Vologodskoy oblasti]. *Lesnoy Vestnik*, 2010, Iss. 6, pp. 124–129.

13. Malkin, V. S. Determination of the optimal periodicity of diagnostics [Opredelenie optimalnoi periodichnosti diagnostirovaniya]. *Vektor nauki TGU*, 2012, Iss. 4, pp. 181–183.

14. Burmistrov, V. A. Adjustment of maintenance modes of trucks [Korrektirovanie rezhimov tekhnicheskoy obsluzhivaniya gruzovykh avtomobilei]. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya*, 2014, Iss. 1, p. 184.

15. Borisov, G. V., Erofeeva, L. N. Refinement of technical and economic method for determining the optimum periodicity of vehicle maintenance [Utochnenie tekhniko-ekonomicheskogo metoda opredeleniya optimalnoi periodichnosti tekhnicheskoy obsluzhivaniya avtomobilei]. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva*, 2013, Iss. 4, pp. 37–43.

16. Kirillov, G. A., Kashin, Ya. M., Rudenko, V. G. Choice of the optimal periodicity of maintenance and repair from the minimum cost of works [Vybor optimalnoi periodichnosti tekhnicheskoy obsluzhivaniya i remonta iz usloviya minimalnoi stoimosti rabot]. *Collection of scientific articles of 4<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference*. Krasnodar, Publishing House – South, 2014, pp. 215–218.

17. Dyakov, I. F. Neural technology as a tool for choosing the optimal periodicity of ATS maintenance [Neironnaya tehnologiya kak instrument vybora optimalnoi periodichnosti obsluzhivaniya ATS]. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 2014, Iss. 11, pp. 26–30.

Information about the authors:

**Maltsev, Dmitry V.** – Ph.D. (Eng), associate professor of the department of Cars and Technological Machines of Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, mdv@pstu.ru.

**Pestrikov, Sergey A.** – Ph.D. (Economics), associate professor of the department of Cars and Technological Machines of Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, +7(342)2–391–026.

Article received 15.02.2018, revised 10.04.2018, accepted 11.04.2018.

