

DOI: 10.15593/24111678/2019.03.10

УДК 656.137

**Р.Ф. Шаихов**

Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь, Россия

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Рассмотрены причины малой наработки на отказ грузовых автомобилей. Проведено исследование распределения отказов по системам автомобиля; установлено, что наибольшее количество приходится на гидравлическую систему навесного оборудования. Возможной причиной этого автор называет сложные условия эксплуатации, так как рассматриваемая техника используется для строительства дорог. Самыми частыми причинами возникновения отказов гидравлической системы являются утечки рабочей жидкости, связанные с негерметичностью пары поршень – цилиндр (внутренние) или цилиндр – крышка, крышка – шток (внешние). Для устранения утечек наиболее востребованы манжеты, уплотнительные кольца и поршни гидроцилиндров. Для более оперативного устранения отказов и, соответственно, снижения продолжительности простоев техники автор предлагает прогнозировать остаточный ресурс гидравлических цилиндров. Благодаря прогнозным значениям появится возможность заранее закупить запасные части и материалы, при этом они не будут длительное время храниться на складе. Представлена методика определения остаточного ресурса, которая заключается в многократном измерении деталей гидроцилиндра в процессе его обслуживания, с целью получения экспериментальной зависимости скорости износа сопряжений. Получение аналогичных зависимостей аналитически является достаточно сложной задачей из-за того, что скорость износа зависит от большого числа факторов: твердости и чистоты обработки поверхностей трения, класса точности и величины начального зазора, материалов, режимов работы навесного оборудования, качества рабочей жидкости, качества ТО и ремонта. Прогнозировать влияние каждого фактора слишком сложно и проблематично из-за случайности их проявления, поэтому скорость износа в различные периоды эксплуатации будет неодинаковой. По указанной методике проведен расчет на примере гидроцилиндра самосвала на базе шасси КамАЗ, дан прогноз его остаточного ресурса.

**Ключевые слова:** надежность, прогноз остаточного ресурса, гидравлическая система, гидроцилиндр.

**R.F. Shaihov**

Perm State Agro-Technological University, Perm, Russian Federation

## **DETERMINATION OF THE RESIDUAL LIFE OF THE PARTS OF ATTACHMENTS TO SPECIAL VEHICLES**

In the article the reasons for the small time between failures of trucks are examined. A study of the distribution of failures in the vehicle systems has been carried out; it has been established that the largest number of failures is in the hydraulic system of attachments. The author believes that the possible reasons for this are difficult operating conditions, because the equipment in question is used for road construction. The most common causes of hydraulic system failures are leakage of working fluid due to non-tightness of the pair of piston-cylinder (internal) or cylinder-cover, cover-rod (external). To eliminate leaks, cuffs, sealing rings and pistons of hydraulic cylinders are most in demand. To more quickly eliminate failures and, accordingly, reduce the downtime of equipment, the author suggests predicting the residual life of hydraulic cylinders. Thanks to the forecast values, it will be possible to purchase spare parts and materials in advance, while they will not be stored for a long time in the warehouse. A method for determining the residual life, which consists in the repeatedly measuring the details of the hydraulic cylinder in the course of its maintenance, is presented in order to obtain an experimental dependence of the wear rate of the joints. Obtaining similar dependencies is analytically quite challenging due to the fact that the wear rate depends on a large number of factors: hardness and cleanliness of friction surfaces, accuracy class and initial clearance, materials, operating modes of attachments, quality of working fluid, quality of maintenance and repair. It is too difficult and problematic to predict the influence of each factor due to the randomness of their manifestation; therefore, the rate of wear during different periods of operation will be unequal. With the use of this method, the calculation was carried out by the example of a dump truck hydraulic cylinder based on the KAMAZ chassis; a forecast of its residual life was given.

**Keywords:** reliability, residual life forecast, hydraulic system, hydraulic cylinder.

В настоящее время в России стоимость транспортных услуг неуклонно растет. Причиной этого является не только высокая стоимость горюче-смазочных материалов, но и большие затраты на техническое обслуживание (ТО) и ремонт. По оценке экспертов, затраты на ТО и ре-

монт отечественного автомобиля составляют 300–500 % от его первоначальной стоимости, что в 3–4 раза выше, чем в развитых странах [1].

Настолько огромную разницу можно объяснить низким качеством ТО и ремонта, а также продолжительными простоями в ремонте, преимущественно из-за отсутствия запасных частей. Большое количество автотранспортных предприятий (АТП) в России, занимающихся грузовыми перевозками и строительством, используют автомобили на базе шасси КамАЗ. Несмотря на сложную экономическую ситуацию, производство КамАЗов в последние годы увеличивается: так, в 2015 г. произведено 28 тыс., в 2017 г. – 36 тыс., в 2018 г. прогнозируется не менее 40 тыс. единиц [2]. При выполнении строительных работ автомобили эксплуатируются в тяжелых условиях, что закономерно приводит к большему количеству отказов [3]. Учитывая сезонный характер строительных работ, отметим, что любые простои техники в ремонте приводят к значительной потере прибыли предприятия. Уменьшить продолжительность простоев в ремонте можно за счет своевременной покупки необходимых запасных частей.

Целью работы является определение потребности в запасных частях за счет прогнозирования остаточного ресурса деталей навесного оборудования специальных автомобилей.

Исследования проводились на базе предприятия ООО «Лысьвенское дорожно-строительное управление» (ЛДСУ). Предприятие осуществляет строительство и содержание автомобильных дорог на территории Пермского края, а также занимается перевозкой строительных материалов. Парк предприятия состоит из 127 единиц подвижного состава, в том числе грузовых (общего назначения, специализированные и специальные), автобусов, легковых автомобилей и спецтехники. Самой большой группой являются грузовые автомобили, в том числе 30 единиц на базе шасси КамАЗ. Это основной вид транспорта на предприятии, который выполняет комплекс дорожно-строительных работ, поэтому в качестве объекта исследования выбраны автомобили на базе шасси КамАЗ (65115 и 6520).

В результате исследования отказов автомобилей КамАЗ установлено, что наибольшее количество приходится на гидравлический привод навесного оборудования (рисунок).

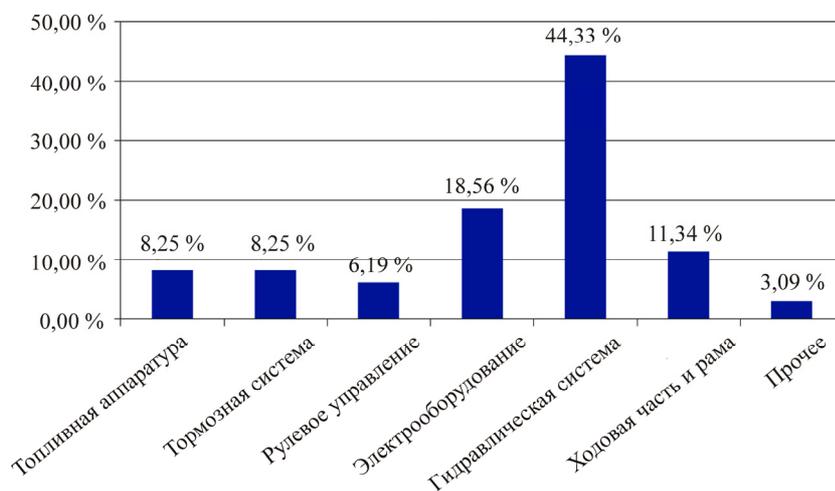


Рис. Диаграмма распределения отказов

Отказы в гидравлической системе привода навесного оборудования проявляются гораздо чаще, чем в других системах, это связано в первую очередь с неблагоприятными условиями эксплуатации при проведении строительных работ. Автомобили эксплуатируются в сезон строительства по бездорожью, в условиях высокой запыленности, нередко перегружаются, иногда в отрыве от производственной базы. Влияние превышения максимальной грузоподъемности исполнительного механизма специального автомобиля на его надежность подробно рассмотрено в работе Д.В. Мальцева [4].

К основным неисправностям гидравлического оборудования относится нарушение герметичности гидроцилиндров. Различают внутренние (через поршень) и внешние (через манжеты) утечки рабочей жидкости. Соответственно, наиболее востребованными запасными частями являются манжеты, уплотнительные кольца и поршни гидроцилиндров.

Существует большое количество различных методов определения периодичности обслуживания автомобилей. Например, в статье [5] рассматривается установление оптимальной периодичности обслуживания автобусов экономико-вероятностным методом. В рамках данного исследования определить остаточный ресурс деталей можно методом по допустимому значению и закономерности параметра технического состояния. Остаточный ресурс детали можно найти по формуле [6]

$$T_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{н}} - I_{\text{пр}}}{W_{\text{д}}}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{н}}$  – начальный размер детали, мм;  $I_{\text{пр}}$  – предельный размер детали, мм;  $W_{\text{д}}$  – средняя скорость изнашивания детали, мм/1000 км.

Если с определением начальных и предельно допустимых размеров деталей сложностей не возникает (достаточно найти справочные данные), то скорость изнашивания устанавливается только экспериментально. Можно принять допущение о том, что величина износа линейно зависит от наработки деталей, однако это не всегда так. Скорость износа зависит от большого числа факторов: твердости и чистоты обработки поверхностей трения, класса точности и величины начального зазора, материалов, режимов работы навесного оборудования (температурных, силовых, числа и длительности пусковых периодов и холостых режимов работы), качества рабочей жидкости, качества ТО и ремонта.

Прогнозировать влияние каждого фактора слишком сложно и проблематично из-за случайности их проявления, поэтому скорость износа в различные периоды эксплуатации будет неодинаковой. Единственный достоверный способ определения зависимости скорости износа от наработки – экспериментальный, т.е. измерение через равные промежутки времени размеров деталей.

Проблемам расчета и повышения ресурса гидроцилиндров посвящено достаточно большое количество исследований [7–15].

В таблице представлены данные из технических условий на дефектацию гидроцилиндра ЦГ-75.55×2700.22.

Технические условия на дефектацию

Сопрягаемые детали	Размеры деталей, мм		Зазор в сопряжении, мм		
	начальный диаметр, мм	допустимый диаметр, мм	начальный $S_{\text{н}}$ , мм	допустимый $S_{\text{д}}$ , мм	предельный $S_{\text{пр}}$ , мм
Гильза	$75^{+0,03}$	75,15	от 0,06 до 0,09	0,25	0,45
Поршень	$75_{-0,06}^{-0,03}$	74,9			

В ходе исследований проводились измерения пары гильза – поршень гидроцилиндра автомобиля-самосвала КамАЗ. На момент измерения: наработка составила 80 000 км, межремонтный ресурс – 150 000 км, диаметр гильзы – 75,13 мм, диаметр поршня – 74,93 мм.

Средняя скорость изнашивания сопряжения составляет [6]:

$$W_{\text{с}} = \frac{S_{\text{изм}} - S_{\text{н}}}{H_{\text{изм}}}, \quad (2)$$

где  $S_n$  – начальный зазор, мм;  $S_{изм}$  – измеренный зазор, мм;  $H_{изм}$  – наработка на момент измерения, мм/1000 км, тогда

$$W_c = \frac{(75,13 - 74,93) - 0,075}{80\,000} = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ мм/1000 км,}$$

Средний остаточный ресурс сопряжения [6]

$$T_{co} = \frac{S_{др} - S_{изм}}{W_c}, \quad (3)$$

где  $S_{пр}$  – предельный зазор, мм;

$$T_{co} = \frac{0,25 - 0,2}{1,56 \cdot 10^{-3}} = 32 \text{ тыс. км.}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что остаточного ресурса недостаточно до планового ремонта гидроцилиндра.

Полный ресурс сопряжения [6]

$$T_{сп} = \frac{(S_{пр} - S_n) \cdot T_{мр}}{S_{пр} - S_{др}}, \quad (4)$$

где  $S_{др}$  – допустимый зазор, мм;  $T_{мр}$  – межремонтный ресурс, км,

$$T_{сп} = \frac{(0,45 - 0,075) \cdot 150\,000}{0,45 - 0,25} = 281\,250 \text{ км.}$$

Средняя скорость изнашивания гильзы и поршня [6]

$$W_{cc} = \frac{D_{изм}}{H_{изм}}, \quad (5)$$

где  $D_{изм}$  – измеренный диаметр, мм.

$$W_{сгильза} = \frac{75,13 - 75,03}{80\,000} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ мм/1000 км,}$$

$$W_{сспоршень} = \frac{74,97 - 74,93}{80\,000} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм/1000 км.}$$

Оптимальная периодичность ремонта сопряжения гильза – поршень определяется по более интенсивному износу гильзы и может быть рассчитана по формуле

$$L_{опт} = \frac{I_{пр} - I_n}{W_d}, \quad (6)$$

$$L_{опт} = \frac{75,15 - 75,03}{1,25 \cdot 10^{-3}} = 96 \text{ тыс. км.}$$

В результате исследования получены следующие выводы:

1. При эксплуатации специальных автомобилей в условиях строительства дорог большая часть отказов приходится на гидравлическую систему привода навесного оборудования.
2. Наиболее частой причиной отказов является нарушение герметичности (внутренней или наружной) гидроцилиндров.
3. Для сопряжения гильза – поршень получены данные о фактическом ресурсе, он составляет 112 тыс. км, при межремонтном интервале – 150 тыс. км.

4. Оптимальная периодичность ремонта сопряжения составляет 96 тыс. км, для предотвращения наступления отказов и снижения времени простоя в ремонте необходимо к данной наработке подготовить запасные части.

### Список литературы

1. Асоян А.Р. Научные основы повышения долговечности автомобильных двигателей совершенствованием методов оценки технического состояния и технологий восстановления их основных элементов: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.22.10. – Волгоград, 2012 – 40 с.
2. КамАЗ. Итоги 2017. Ожидания 2018: сайт. – URL: <https://st-kt.ru/articles/kamaz-itogi-2017-ozhidaniya-2018> (дата обращения: 20.11.2018).
3. Мальцев Д.В. Анализ причин малой наработки на отказ турбокомпрессоров при эксплуатации в условиях карьеров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика / Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г.Ф. Морозова. – Воронеж, 2016. – Т. 4, № 5–4 (25–4). – С. 267–271.
4. Мальцев Д.В. Совершенствование организации перевозочного процесса твердых бытовых отходов автомобильным транспортом: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Орел, 2016. – 142 с.
5. Мальцев Д.В., Пестриков С.А. Определение оптимальной периодичности технического обслуживания автобусов // Мир транспорта. – 2018. – № 2 (75). – С. 96–105.
6. Селиванов А.И., Артемьев Ю.Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1978. – 248 с.
7. Кобзов Д.Ю., Кобзов А.Ю., Лханаг Дорлигсурэнгийн. Несущая способность и ресурс гидроцилиндров машин // Системы. Методы. Технологии. – 2009. – № 2. – С. 24–28.
8. Лобов Н.В., Мальцев Д.В., Генсон Е.М. Положение манипулятора мусоровоза и степень его нагруженности // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 10. – С. 18–20.
9. Лобов Н.В., Мальцев Д.В., Генсон Е.М. Результаты исследования физической модели гидросистемы мусоровоза // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 5. – С. 2–5.
10. Величко С.А. Прогнозирование среднего ресурса гидроцилиндров, отремонтированных с восстановлением деталей электроискровым методом // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – С. 114–121.
11. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин на прочность и надежность / под ред. П.М. Волкова, М.М. Тененбаума. – М.: Машиностроение, 1977. – 310 с.
12. Острейковский В.А. Теория надежности: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
13. Лобов Н.В., Мальцев Д.В., Генсон Е.М. Определение массы твердых бытовых отходов, загружаемых коммунальным транспортом в местах сбора с использованием средств спутниковой навигации // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 2. – С. 45–48.
14. Аналитическое обоснование возможности определения массы твердых бытовых отходов, загружаемых коммунальным транспортом в местах сбора / Н.В. Лобов, Р.Н. Хмелев, Д.В. Мальцев, Е.М. Генсон // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 7. – С. 6–8.
15. Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытаний опытных образцов. – М.: Машиностроение, 2003. – 320 с.

### References

1. Asoian A.R. Nauchnye osnovy povysheniia dolgovечnosti avtomobil'nykh dvigatelei sovershenstvovaniem metodov otsenki tekhnicheskogo sostoianiia i tekhnologii vosstanovleniia ikh osnovnykh elementov [Scientific basis for improving the durability of automotive engines by improving the methods of assessing the technical condition and technologies for restoring their basic elements] Abstract of Ph. D. thesis. Volgograd, 2012, 40 p.
2. KAMAZ. Itogi 2017. Ozhidaniia 2018, available at: <https://st-kt.ru/articles/kamaz-itogi-2017-ozhidaniya-2018> (accessed 20 November 2018).

3. Mal'tsev D.V. Analiz prichin maloi narabotki na otkaz turbokompressorov pri ekspluatatsii v usloviakh kar'erov [Analysis of the reasons for the small time between failures of turbocompressors during operation in quarries]. *Aktual'nye napravleniia nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriia i praktika*, 2016, t.4, no. 5-4 (25-4), pp. 267-271.
4. Mal'tsev D.V. Sovershenstvovanie organizatsii perevoznogo protsessa tverdykh bytovykh otkhodov avtomobil'nym transportom [Improving the organization of transportation process by motor transport of municipal solid waste]. Ph. D. thesis. Orel, 2016, 142 p.
5. Mal'tsev D.V., Pestrikov S.A. Opredelenie optimal'noi periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniia avtobusov [Determination of the optimal frequency of bus maintenance]. *Mir transporta*, 2018, no. 2 (75), pp. 96-105.
6. Selivanov A.I., Artem'ev Iu.N. Teoreticheskie osnovy remonta i nadezhnosti sel'skokhoziaistvennoi tekhniki [Theoretical bases of repair and reliability of agricultural machinery]. Moscow, Izdatelstvo "Kolos", 1978, 248 p.
7. Kobzov D.Iu., Kobzov A.Iu., Lkhanag D. Nesushchaia sposobnost' i resurs gidrotsilindrov mashin [Bearing capacity and service life of machine cylinders]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2009, no. 2, pp. 24-28.
8. Lobov N.V., Mal'tsev D.V., Genson E.M. Polozhenie manipuliatora musorovoza i stepen' ego nagruzhenosti [The position of the garbage truck and the degree of its loading]. *Avtomobil'naia promyshlennost'*, 2014, no. 10, pp. 18-20.
9. Lobov N.V., Mal'tsev D.V., Genson E.M. Rezul'taty issledovaniia fizicheskoi modeli gidrosistemy musorovoza [The results of the study of the physical model of the garbage truck hydraulic system]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2014, no. 5, pp. 2-5.
10. Velichko S.A. Prognozirovaniie srednego resursa gidrotsilindrov, otremonirovannykh s vosstanovleniem detalei elektroiskrovym metodom [Prediction of the average life of hydraulic cylinders repaired with the restoration of parts by the electric spark method]. *Trudy GOSNITI*, 2015, vol. 120, pp. 114-121.
11. Osnovy teorii i rascheta sel'skokhoziaistvennykh mashin na prochnost' i nadezhnost' [Fundamentals of the theory and calculation of agricultural machines for durability and reliability]. Ed. P.M. Volkova, M.M. Tenenbauma. Moscow, Mashinostroenie, 1977, 310 p.
12. Ostreikovskii V.A. Teoriia nadezhnosti: uchebnik dlia vuzov [Reliability Theory: A Textbook for High Schools]. Moscow, Vysshaya shkola, 2003, 463 p.
13. Lobov N.V., Mal'tsev D.V., Genson E.M. Opredelenie massy tverdykh bytovykh otkhodov, zagruzhaemykh kommunal'nym transportom v mestakh sbora s ispol'zovaniem sredstv sputnikovoi navigatsii [Determination of the mass of municipal solid waste loaded by public transport at collection sites using satellite navigation means]. *Avtotransportnoe predpriiatie*, 2012, no. 2, pp. 45-48.
14. Lobov N.V., Khmelev R.N., Mal'tsev D.V., Genson E.M. Analiticheskoe obosnovanie vozmozhnosti opredeleniia massy tverdykh bytovykh otkhodov, zagruzhaemykh kommunal'nym transportom v mestakh sbora [Analytical substantiation of the possibility of determining the mass of municipal solid waste loaded by public transport at the collection sites]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2012, no. 7, pp. 6-8.
15. Trukhanov V.M. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem tipa podviznykh ustanovok na etape proektirovaniia i ispytaniy opytnykh obraztsov [Reliability of technical systems such as mobile units at the stage of designing and testing prototypes]. Moscow, Mashinostroenie, 2003, 320 p.

Получено 09.07.2019

#### Об авторе

**Шанхов Ринат Фидарисович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис и ремонт машин» Пермского государственного аграрно-технологического университета (614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23, e-mail: shr84@list.ru).

#### About the author

**Rinat F. Shaihov** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Service and Repair of Cars, Perm State Agro-Technological University (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: shr84@list.ru).