

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*377.44

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.52

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РУКАВОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАШИН

А. А. Тарбеев, А. И. Павлов

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: PavlovAI@volgatech.net

Приведены результаты исследования рукавов высокого давления (РВД) по определению характера колебаний, возникающих при их динамическом нагружении. Показано, что при определённом давлении нагружения в трубопроводе возникает колебательный процесс, связанный с резонансным состоянием трубопровода. В этой связи в качестве диагностического параметра выбрана частота собственных колебаний трубопровода с жидкостью, установлена зависимость их от циклов динамического нагружения в летний и зимний периоды эксплуатации и подобрана функция частоты распределения отказов, которая использована в методике определения остаточного ресурса РВД.

Ключевые слова: гидропривод; вероятность отказов; диагностирование; нагруженность; частота собственных колебаний; функция распределения.

Введение. Задача определения остаточного ресурса элементов гидропривода является одной из важнейших при эксплуатации лесных машин. Это в полной мере относится к рукавам высокого давления, отказы которых носят внезапный характер и приводят к значительным потерям дорогостоящей рабочей жидкости [1–4]. Опыт эксплуатации в России лесных машин импортного производства показал, что даже для машин с более высокой надёжностью до настоящего времени не решена проблема внезапных отказов РВД. Всё это увеличивает затраты на эксплуатацию машин и снижает их производительность. Диагностике РВД посвящено большое количество публикаций [5–8], однако эта задача не является полностью решённой и их в большинстве случаев снимают с ма-

шин либо с еще недоиспользованным ресурсом, либо оставляют в гидроприводе для дальнейшей эксплуатации, что и приводит к внезапным отказам. В этой связи разработка методики определения остаточного ресурса РВД с использованием диагностических данных является одним из эффективных путей повышения надёжности лесных машин.

Цель работы – повышение эффективности эксплуатации лесных машин за счёт предупреждения отказов и более полного использования ресурса элементов гидропривода.

Объект и методы исследования. Объектом исследований являлись рукава высокого давления, установленные на лесных машинах Форвардер 1910F, которые эксплуатировались в летний и зимний

© Тарбеев А. А., Павлов А. И., 2018.

Для цитирования: Тарбеев А. А., Павлов А. И. Методика определения остаточного ресурса рукавов высокого давления лесных машин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 2 (38). С. 52–60. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.52

периоды в Прилузском районе Республики Коми, приравненном к районам Крайнего Севера. При решении задачи использовались стандартные программы математической статистики, методы математического моделирования, а также основные положения гидродинамики и теоретической гидромеханики.

Результаты. Исходным материалом для определения закона распределения ресурса РВД являлся результат статистических исследований, проведённых в Республике Коми. На базе ООО «Лузалес» был создан опорный пункт по исследованию

надёжности лесных машин финского производства. Под наблюдение были взяты одиннадцать новых машин Форвардер 1910F, объём наработки которых за период 2013–2016 гг. составил в среднем по 2250–2400 мото-часов. За период наблюдений было зафиксировано 562 отказа, из которых 147 отказов приходится на гидропривод (26,2%), причём количество отказов РВД составило 38,3% от отказов по гидроприводу. По результатам статистической обработки отказов РВД (табл. 1) построены эмпирическая и теоретическая функции распределения, которые представлены на рис. 1.

Таблица 1

Статистическая обработка ресурса рукавов высокого давления

Интервал Δt_N мото-час	Частота отказов в интервале n_N	Частотность отказов r_N	Интенсивность отказов λ_N	Интегральная функция распределения		$\frac{P_N^* - F}{F}$
				Эмпирическая $P_N^*(t)$	Теоретическая $F(t)$	
250	3	0,038	0,000152	0,038	0,0179	0,023
500	3	0,038	0,00016	0,076	0,0247	0,026
750	5	0,064	0,00028	0,140	0,0985	0,017
1000	8	0,103	0,00048	0,243	0,1949	0,012
1250	7	0,0897	0,00047	0,330	0,3336	0,00005
1500	8	0,103	0,00061	0,524	0,5000	0,001
1750	14	0,179	0,0013	0,703	0,6664	0,002
2000	16	0,205	0,0021	0,908	0,8051	0,014
2250	15	0,192	0,0043	1,000	0,9015	0,011

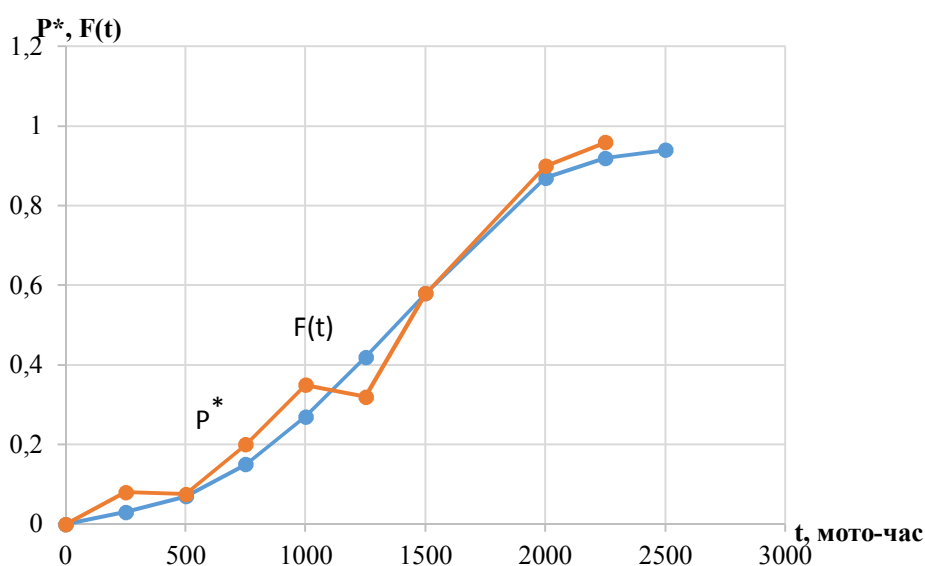


Рис. 1. Эмпирическая P^* и теоретическая $F(t)$ функции распределения отказов РВД



Рис. 2. Внешний вид стенда для исследования РВД

Для определения вероятности отказов РВД и диагностического параметра, характеризующего их техническое состояние, проведены экспериментальные исследования на стенде (рис. 2), представляющем собой исследовательский комплекс «гидравлический перегрузочный манипулятор» СГУ-ГПМ, предназначенный для проведения исследовательских работ по гидравлическому приводу.

Испытаниям подвергались рукава высокого давления различной длины. На

рис. 3 представлена зависимость логарифмического декремента колебаний трубопровода длиной $l = 1,17$ м от давления, на которой наблюдается наличие явно выраженного минимума логарифмического декремента колебаний (δ), что свидетельствует о возможности появления в трубопроводах резонансных колебаний при определённых величинах давления жидкости. В этой связи представляет интерес характер изменения данного параметра при наработке машины [2, 9–11].

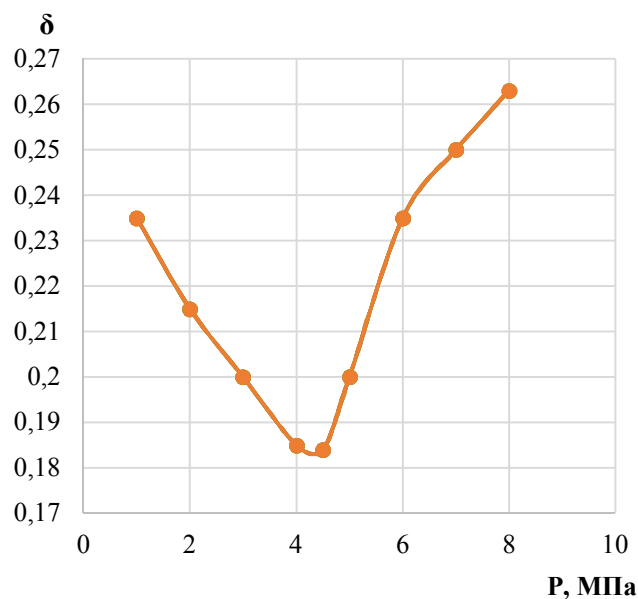


Рис. 3. Зависимость логарифмического декремента колебаний (δ) от давления жидкости в РВД длиной $l = 1,17$ м

Экспериментальными исследованиями доказано, что минимальную величину δ можно определить по значению частоты собственных колебаний трубопровода с жидкостью (f_c). Для определения характера изменения частоты собственных колебаний РВД длиной $l = 1,17$ м от наработки были проведены экспериментальные исследования на динамическом стенде гармонического типа, результаты которых представлены на рис. 4.

С увеличением наработки наблюдается уменьшение частоты собственных колебаний РВД, при частоте колебаний $f_c = 10,2$ 1/с данный трубопровод вышел из строя.

В Республике Коми, как и в других северных и северо-западных районах Европейской части России, зимний период длится около семи месяцев [1]. В этой связи вероятности отказов РВД необходимо определять с учётом различных периодов эксплуатации лесных машин. Это связано с тем, что рукава высокого давления являются сложными пространственными элементами, подверженными воздействию широкого спектра динамических нагрузок переменного характера. В зимний период эксплуатации резина на

основе каучука СКН, из которой изготовлен внутренний слой РВД, относится к аморфным полимерам и может переходить в вязкотекучее состояние с необратимыми пластическими деформациями [12–19].

Определим вероятности отказов РВД с учётом летнего и зимнего периодов эксплуатации. Пусть имеется диагноз D_i (отказ РВД) и диагностический признак, появляющийся при этом диагнозе – k_j (частота собственных колебаний РВД). Введём обозначения: A – летний период эксплуатации; B – зимний период эксплуатации. Применяя формулу полной вероятности событий, определим вероятность отказа РВД:

$$P(D_i k_j) = P(A) \cdot P(D_i k_j / A) + P(B) \cdot P(D_i k_j / B), \quad (1)$$

где $P(D_i k_j / A)$ и $P(D_i k_j / B)$ – условные вероятности отказа РВД в различные периоды эксплуатации.

Так как события A и B образуют полную группу несовместных событий, то сумма их вероятностей равна единице:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1, \quad P(A) + P(B) = 1. \quad (2)$$

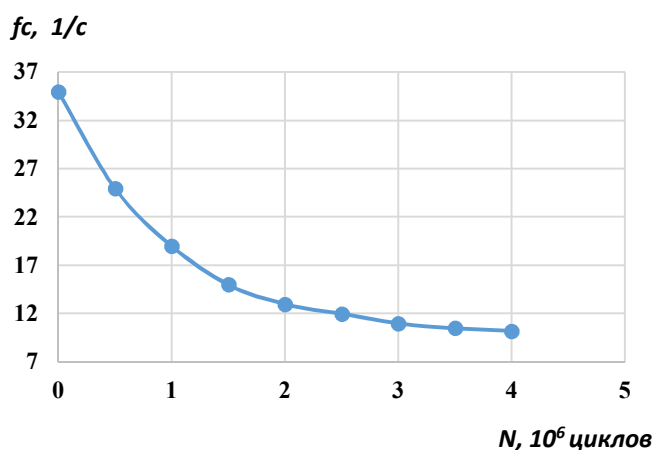


Рис. 4. Зависимость частоты собственных колебаний РВД длиной $l = 1,17$ м от циклов динамического нагружения

Зная периоды летней и зимней эксплуатации для северных районов, можно найти вероятности событий A и B :

$$P(A, B) = \frac{n_N}{n_k}, \quad (3)$$

где n_N – количество месяцев соответствующего периода эксплуатации; n_k – общее количество месяцев в году.

Вероятность летнего периода эксплуатации: $P(A) = 5/12 = 0,417$, вероятность зимнего периода эксплуатации: $P(B) = 7/12 = 0,583$.

Анализ статистических данных (получены при наблюдении машин Форвардер 1910F в Республике Коми) показал, что в зимний период эксплуатации их ресурс приблизительно в 2,5 раза меньше ресурса при эксплуатации летом, получим уравнение вероятности отказа трубопроводов

$$P(D_i k_j)_{ii} = P(A) \cdot P(D_i k_j / A)_{ii} + P(B) \cdot P(D_i k_j / B)_{0,4ii}. \quad (4)$$

Введём следующие допущения, что правомерно ввиду разного ресурса эксплуатации РВД в летний и зимний периоды эксплуатации:

$$\begin{aligned} f_{c(1/ii)} \cdot P(D_i k_j / A)_{ii} &= \\ = f_{c(2/0,4ii)} \cdot P(D_i k_j / B)_{0,4ii}; & \\ f_{c(2/ii)} \cdot P(D_i k_j / B)_{ii} &= \\ = f_{c(1/2,5ii)} \cdot P(D_i k_j / A)_{0,4ii}, & \end{aligned} \quad (5)$$

где $f_{c(1/ii)}$ – собственная частота колебаний РВД с жидкостью при соответствующей наработке в условиях летней эксплуатации; $f_{c(2/ii)}$ – то же при зимней эксплуатации.

Решая совместно уравнения (5), определяем вероятность отказа РВД при их летней и зимней эксплуатации:

$$\begin{aligned} P(D_i k_j / A)_{ii} &= P(D_i k_j)_{ii} / [P(A) + \\ + P(B) \cdot f_{c(1/ii)} / f_{c(2/0,4ii)}]; & \\ P(D_i k_j / B)_{ii} &= P(D_i k_j)_{2,5ii} / [P(B) + \\ + P(A) \cdot f_{c(2/ii)} / f_{c(1/2,5ii)}]. & \end{aligned} \quad (6)$$

Подставляя выведенные вероятности отказа РВД при их летней и зимней эксплуатации (6) в уравнение (1), получим расчётное уравнение отказа РВД на весь период эксплуатации машины:

$$\begin{aligned} P(D_i k_j)_{ii} &= P(A)_{ii} \cdot P(D_i k_j)_{ii} / [P(A) + \\ + P(B) \cdot f_{c(1/ii)} / f_{c(2/0,4ii)}] + & \\ + P(B)_{ii} \cdot P(D_i k_j)_{2,5ii} / [P(B) + & \\ + P(A) \cdot f_{c(2/ii)} / f_{c(1/2,5ii)}]. & \end{aligned} \quad (7)$$

В результате экспериментальных исследований [3, 20, 17] установлено, что в течение всего срока службы лесосечная машина совершает около 573000 рабочих циклов, что соответствует 4000 мото-часам наработки. За каждый рабочий цикл в гидроприводе наблюдается около 12,3 выбросов давления жидкости (изменение давления жидкости в напорной полости гидропривода рукоятки при обработке дерева). Это даёт основание для нахождения соотношения между количеством циклов нагружения трубопроводов при их лабораторном испытании и временем наработки машин в мото-часах.

Подставляя в уравнения (7) значения вероятностей $P(D_i k_j)$ и полученные экспериментально значения частот собственных колебаний РВД длиной $l=1,17$ м при различных условиях эксплуатации, получим вероятности отказов данного трубопровода $P(D_i k_j)_{ii}$ при событиях $P(A)$ и $P(B)$. Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значение вероятностей отказов рукавов высокого давления

Вероятности и частоты	Время t_i мото-час									
	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
$f_c, 1/c$	26,0	19,6	16,3	15	12,7	12	11,4	10,2	10,1	10
$P(D_i k_j / A)_{ii}$	0,0181	0,0438	0,103	0,1989	0,340	0,49	0,629	0,752	0,867	1
$P(D_i k_j / B)_{ii}$	0,08	0,334	0,75	1	–	–	–	–	–	–
$P(D_i k_j)_{ii}$	0,0179	0,0427	0,0985	0,1949	0,3336	0,5	0,6664	0,8051	0,9015	1

По результатам расчётов построены зависимости изменения вероятностей отказов РВД при их эксплуатации летом и зимой (рис. 5).

С помощью этих зависимостей можно прогнозировать остаточный ресурс РВД. Так, например, после диагностирования трубопровода с неизвестной наработкой получено значение его собственной частоты колебаний, равное $f_c = 16c^{-1}$. Для определения его остаточного ресурса проводим

горизонталь через значение $f_c = 16c^{-1}$ до пересечения с кривой $f_c = f(t)$. Через точку пересечения проводим вертикальную линию до кривой $P(D_{ik_j} / A)$ и получаем значение вероятности отказа трубопровода – 0,13, что соответствует его наработке в зимний период 550 мото-часов. Следовательно, остаточный ресурс будет равен $t_{ост} = 1950$ мото-часов. Для определения вероятности отказа РВД в зимний период используется кривая $P(D_{jk_j} / B)_{\text{П}}$.

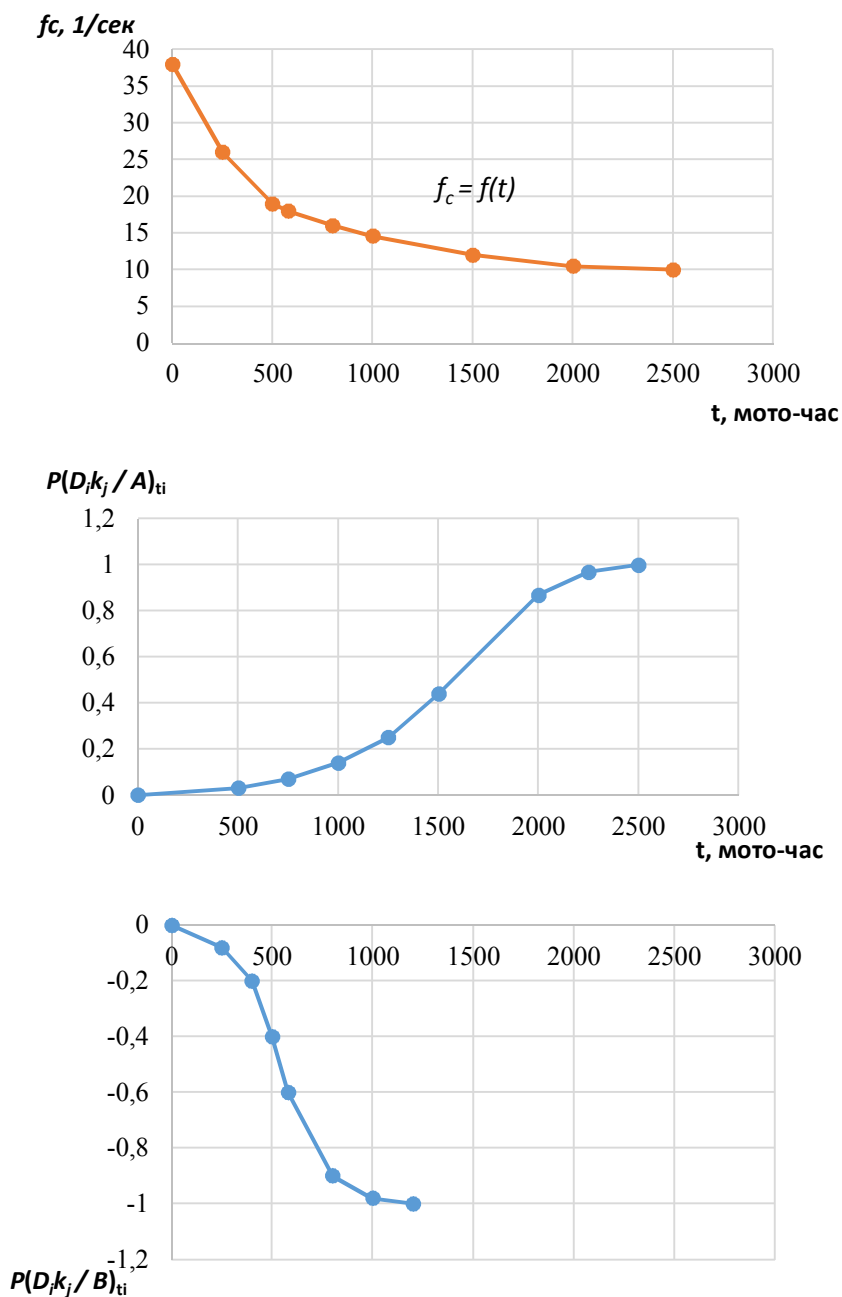


Рис. 5. Вероятность отказа РВД длиной $l = 1,17$ м

Выводы

1. Для повышения эффективности эксплуатации лесных машин необходимо разработать систему предупреждения отказов элементов технологического оборудования, которые приводят к простоям машин и дополнительным затратам материальных средств, не предусмотренных системой их эксплуатации. В частности, выход из строя рукавов высокого давления, как правило, приводит не только к простоям, но и к потерям дорогостоящей рабочей жидкости. В этой связи в качестве средства предупреждения отказов может быть предложена методика определения остаточного ресурса РВД, позволяющая предупредить внезапный выход их из строя и возможность более полного использования их ресурса.

2. Экспериментальные исследования РВД показали, что для определения их остаточного ресурса в качестве диагностического параметра можно использо-

вать частоту собственных колебаний трубопровода с жидкостью, которая может быть определена с использованием разработанных средств диагностирования. Причём изменение данной частоты колебаний в зависимости от наработки РВД до предельного состояния должно быть определено для однотипных рукавов разного диаметра и длины.

3. Полученные экспериментально зависимости частоты собственных колебаний РВД от циклов нагружения и эмпирические зависимости функции распределения отказов позволяют разработать методику прогнозирования их остаточного ресурса при эксплуатации лесных машин в летний и зимний периоды. Результатами исследований доказано, что при эксплуатации машин в условиях отрицательных температур наблюдается уменьшение ресурса РВД, что связано с особенностями свойств резины, из которой изготовлены рукава.

Список литературы

1. Павлов А.И., Тарбеев А.А., Вдовин С.Л. Надежность, диагностика и защита гидроприводов транспортно-технологических машин / под общ. ред. проф. А.И. Павлова. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2017. 376 с.
2. Никитин О.Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 312 с.
3. Лоценов П.Ю. Оценка эксплуатационной надежности гидроприводов лесных машин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2012. № 2. С.120-122.
4. Вдовин С.Л., Охотников А.В. Повышение экономичности и экологичности приводов лесных машин // Интеграл: научно-практический межотраслевой журнал. 2013. № 3 (71). С. 72.
5. Review of methods for monitoring the state of hydraulic drive elements / A.R. Kruk, A.L. Egorov, V.A. Kostyrchenko et al. // Fundamental research. 2016. No. 2-2. P. 267-270.
6. Дроздовский Г.П., Шоль Н.Р., Юсехан В.И. Обоснование направления проектирования структуры гидросистемы управления оборудованием лесных машин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2010. № 5. С. 86-90.
7. Sanders R.E. Accidents involving compressors, hoses, and pumps, Chemical Process Safety, fourth ed., Butterworth-Heinemann. Oxford, 2015. P. 102-103.
8. Reliability test and evaluation for hydraulic hose assembly / D. Chen, S. Li, C.Yao et al. // China Mechanical Engineering. 2015. No 26 (14). Pp. 1944-1952.
9. Reliability and life study of hydraulic solenoid valve / S.V. Angadia, R.L Jacksona., Choea Song-yul et al. // Engineering Failure Analysis. No 16(3), 2009. Pp. 944-963.
10. Robillard J.M., Jorgensen C.K. Forestry machines with transverse engine and hydraulic system installation // USA patent 8579069, 2013.
11. Kim H.-E., Kang B.-S., Cho Y.-H. Study on Acceleration Factor Model with Accelerated Stress Interactions // In Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers. 2012. No 36 (7). P. 237-245.
12. Westerberg S., Shiriaev A. Virtual environment-based teleoperation of forestry machines: Designing future interaction methods // Journal of Human-Robot Interaction. 2013. No 2 (3). P. 84-110.
13. Тен М.С., Стрельников А.Н. Диагностика гидропривода по наличию механических примесей в рабочей жидкости // Авиамашиностроение и транспорт Сибири. Сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2016. С. 395-398.
14. Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives / T.M. Bashta, S.S. Rudnev, B.B. Nekrasov et al. M.: Publishing House Alliance, 2010. 423 p.
15. Упреждающее обслуживание гидравлических систем летательных аппаратов / А.М. Гареев, Ю.П. Злобина, И.А. Попельнюк и др. // Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. 168 с.
16. Волков В.Н., Бурмистров В.А., Тимохова О.М. Показатели надежности гидропривода //

Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. С. 121-128.

17. Диагностика технических устройств. Монография / Г.А. Бигус, Ю.Ф. Даниев, Н.А. Быстрова и др. М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 624 с.

18. Gerike B.L., Gerike P.B., Esharkin P.V. Analysis of modern methods of vibration diagnostics of complex

systems // New technologies, materials and innovations in production: Works of the International School-Seminar. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2009. P. 74-79.

19. Васильченко В.А., Соболев В.О. Диагностика технического состояния гидроприводов мобильных машин // Строительно-дорожные машины. 2008. № 8. 324 с.

Статья поступила в редакцию 21.05.18.

Информация об авторах

ТАРБЕЕВ Анатолий Александрович – аспирант кафедры транспортно-технологических машин, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – проблемы надёжности гидроприводов лесных машин.

ПАВЛОВ Александр Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортно-технологических машин, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – проблемы надёжности гидроприводов лесных машин. Автор 150 публикаций.

UDC 630*377.44

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.52

A METHOD TO DEFINE THE REMAINING LIFE TIME OF HIGH-PRESSURE HOSE OF FOREST MACHINES

A. A. Tarbeev, A. I. Pavlov

Volga State University of Technology,

3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

E-mail: PavlovAI@volgatech.net

Keywords: *hydraulic drive; probability of failure; diagnosis; load; free frequency; distribution function.*

ABSTRACT

Introduction. *Definition of remaining life time of high-pressure hose, the fault of which is of sudden nature, is one of the topical technical problem, intended to improve the reliability of performance of hydraulic drive of forest machines. This problem is not solved to the full and it is required to improve the diagnostic technique of current condition of high-pressure hose. The goal of the research is to improve the efficiency of forest machines operation due to failure prediction and full employment of resources of the parts of hydraulic drive. High-pressure hoses of forest machines (Forwarder 1910F, Finnish production), exploited in summer and winter in Priluzhskiy district of the Komi Republic were chosen to be the object of the research. Results.* *The experimental researches to define the mode of vibration, arising when their dynamic loading, were carried out. It was demonstrated that the oscillating process coming from the resonance state of a pipeline arose under certain pressure of loading in the pipeline. In this regard, free frequency of pipeline with liquid was chosen as a testing parameter, dependence on the cycles of dynamic loading was determined, frequency function of failure distribution was found, a method to define probability of failure of the parts of hydraulic drive was offered. The method allows to determine the remaining life time of the parts of hydraulic drive. Free frequency of pipeline with liquid was taken as a testing parameter, describing technical condition of high-pressure hose. Conclusion.* *The formula of probability of failure of pipeline in summer and winter was derived. It was shown that loss of life of high-pressure hose at low temperatures is explained with the peculiarities of rubber properties it is made of.*

REFERENCES

1. Pavlov A.I., Tarbeev A.A., Vdovin S.L. Nadezhnost, diagnostika i zashchita gidroprivodov transportno-tekhnologicheskikh mashin; pod obshch. red. prof. A.I. Pavlova. [Reliability, Diagnostics and Protection of Hydraulic Drives of Transport and Technological Machines; under the general editorship of prof. A.I. Pavlov]. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet, 2017. 376 p. (In Russ.).

2. Nikitin O.F. Nadezhnost, diagnostika i ekspluatatsiya gidroprivoda mobilnykh obektov [Reliability, Diagnostics, and Exploitation of Hydraulic Drives of Mobile Facilities]. Moscow: Izd-vo MG TU im. N.E. Bauman, 2007. 312 p. (In Russ.).

3. Loshchenov P.Yu. Otsenka ekspluatatsionnoy nadezhnosti gidroprivodov lesnykh mashin [An Assessment of Use Reliability of Hydraulic Drives of Forest Machines]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Vestnik of Moscow State Forest University – Forest Vestnik]. 2012. No 2. Pp.120-122. (In Russ.).
4. Vdovin S.L., Okhotnikov A.V. Povyschenie ekonomichnosti i ekologichnosti privodov lesnykh mashin [Improvement of Efficiency and Environmental Friendliness of Forest Machines Drives]. *Integral: nauchno-prakticheskiy mezhotraslevoy zhurnal* [Integral: Scientific-practical Interbranch Journal]. 2013. No 3 (71). Pp. 72. (In Russ.).
5. Kruk A.R., Egorov A.L., Kostyrchenko V.A. et al. Review of methods for monitoring the state of hydraulic drive elements. *Fundamental research*. 2016. No 2-2. P. 267-270.
6. Drozdovskiy G.P., Shol N.R., Yusenhan V.I. Obosnovanie napravleniya proektirovaniya struktury gidrosistemy upravleniya oborudovaniem lesnykh mashin [Grounding of the Design of the Structure of Pilot Hydraulic System for Forest Machines Equipment]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Vestnik of Moscow State Forest University – Forest Vestnik]. 2010. No 5. Pp. 86-90. (In Russ.).
7. Sanders R.E. Accidents involving compressors, hoses, and pumps, *Chemical Process Safety*, fourth ed., Butterworth-Heinemann. Oxford, 2015. P. 102-103.
8. Chen D., Li S., Yao C. et al. Reliability test and evaluation for hydraulic hose assembly. *China Mechanical Engineering*. 2015. No 26 (14). Pp. 1944-1952.
9. Angadia S.V., Jackson R.L., Choea Songyul et al. Reliability and life study of hydraulic solenoid valve. *Engineering Failure Analysis*. No 16(3), 2009. Pp. 944-963.
10. Robillard J.M., Jorgensen C.K. Forestry machines with transverse engine and hydraulic system installation. USA patent 8579069, 2013.
11. Kim H.-E., Kang B.-S., Cho Y.-H. Study on Acceleration Factor Nodel with Asselerated Stress Interactions. *In Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*. 2012. No 36 (7). P. 237-245.
12. Westerberg S., Shiriaev A. Virtual environment-based teleoperation of forestry machines: Designing future interaction methods. *Journal of Human-Robot Interaction*. 2013. No 2 (3). P. 84-110.
13. Ten M.S., Strelnikov A.N. Diagnostika gidroprivoda po nalichiu mekhanicheskikh primesey v rabochey zhidkosti [Diagnostics of Hydraulic Drives for the Presence of Mechanical Impurities in the Power Fluid]. *Aviamashinostroenie i transport Sibiri. Sbornik statey VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Avia-Engineering and Transport in Siberia. Collected papers of VII All-Russian Research and Practical conference]. 2016. Pp. 395-398. (In Russ.).
14. Rylyakin E.G., Voloshin A.I. Ekspluatatsionnye issledovaniya gidroprivoda, osnashchennogo sistemoy termoregulirovaniya rabochey zhidkosti [Operational Research of a Hydraulic Drive Completed with a Temperature-Control System of Power Fluid]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist]. 2015. Pp. 192-195. (In Russ.).
15. Gareev A.M., Zlobina Yu.P., Popelnuk I.A. et al. *Uprezhdaushchee obsluzhivanie gidravlicheskikh sistem letatelnykh apparatov* [Feedforward Attendance of Fluid Systems of Flying Machines.]. Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN, 2014. 168 p. (In Russ.).
16. Volkov V.N., Burmistrov V.A., Timikhova O.M. Pokazateli nadezhnosti gidroprivoda [The Reliability Indicator for Hydraulic Drive]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Current Problems of Science and Education]. 2014. No 4. Pp. 121-128. (In Russ.).
17. Bigus G.A., Daniev Yu.F., Bystrova N.A. et al. *Diagnostika tekhnicheskikh ustroystv: monografiya* [Diagnostics of Technical Equipment: monograph.]. MVTU im. N.E. Bauman [Bauman Moscow State Technical University]. 2014. 624 p. (In Russ.).
18. Gerike B.L., Gerike P.B., Esherkin P.V. Analysis of modern methods of vibration diagnostics of complex systems. *New technologies, materials and innovations in production: Works of the International School-Seminar*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2009. Pp. 74-79.
19. Vasilchenko V.A., Sobolev V.O. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya gidroprivodov mobilnykh mashin [Diagnostics of Technical Equipment of Hydraulic Drive of Mobile Machines]. *Stroitelno-dorozhnye mashiny* [Road Construction Machines]. 2008. No 8. 324 p. (In Russ.).

The article was received 21.05.18.

For citation: Tarbeev A. A., Pavlov A. I. A Method to Define the Remaining Life Time of High-Pressure Hose of Forest Machines. *Vestnik of Volga State University of Technology*. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2018. No 2(38). Pp. 52–60. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.2.52

Information about the authors

TARBEEV Anatoliy Aleksandrovich – Postgraduate student at the Chair of Transport and Technological Machines, Volga State University of Technology. Research interests – problems of reliability of hydraulic drives of forest machines.

PAVLOV Aleksandr Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Chair of Transport and Technological Machines, Volga State University of Technology. Research interests – problems of reliability of hydraulic drives of forest machines. The author of 150 publications.