

Андросов П.В.

Студент

Ухтинский государственный технический университет

Россия, Республика Коми, город Ухта

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РВД
ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Анотация

Известно, что в настоящее время существует проблема недостаточно высокой надежности гидроприводов технологического оборудования транспортно-технологических машин, что приводит к дополнительным материальным затратам на эксплуатацию машин. Как правило, показателем для замены РВД служит разрыв трубопровода, приводящий к вытеканию значительного количества рабочей жидкости, так как оператор не успевает вовремя отключить насос, подающий в систему рабочую жидкость. Опыт эксплуатации в нашей стране лесных машин импортного производства показал, что даже эти машины не имеют защиты от вытекания рабочей жидкости при разрыве РВД. Несмотря на более высокое качество производства импортных РВД, даже они не застрахованы от внезапных разрывов, причиной которых является неправильная установка (закручивание рукава), высокая динамика в гидроприводе при оперировании с предметом труда. В этой связи определение остаточного ресурса РВД является одним из средств, снижающих материальные затраты на эксплуатацию машин.

Ключевые слова: рукав высокого давления, рабочая жидкость, технологические машины, гидропривод, надежность, эффективность.

Androsov P.V.

Student

Ukhta State Technical University

Russia, Republic of Komi, city of Ukhta

**RESEARCH OF RELIABILITY OF RVDS OF LOGGING
MACHINERY**

Anotation

It is known that nowadays there is a problem of insufficiently high reliability of hydraulic drives of technological equipment of transportation and technological machines, which leads to additional material costs for the operation of machines. As a rule, the indicator for the replacement of the hoses is the rupture of the pipeline, leading to the leakage of a significant amount of working fluid, because the operator does not have time to disconnect the pump that supplies the system with working fluid. The experience of operation of imported forestry machines in our country has shown that even these machines do not have protection against the escape of working fluid at rupture of VFD. Despite the higher quality of production of imported hoses, even they are not insured against sudden ruptures caused by improper installation (twisting of the hose), high dynamics in the hydraulic drive when operating with the subject of labor. In this connection the determination of residual resource of WFD is one of the means reducing material costs of machine operation.

Key words: high-pressure hose, working fluid, technological machines, hydraulic drive, reliability, efficiency.

Исследования динамических процессов в гидроприводе при оперировании с предметом труда – деревом можно провести в производственных условиях, однако многочисленные дорогостоящие и трудоемкие эксперименты по определению характера изменения диагностического параметра при эксплуатации до предельных значений

потребуется исключение машины из производственного цикла, что приведет к значительному снижению доходов предприятия и увеличению материальных затрат.

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.

Объектом исследований являлись рукава высокого давления, установленные на лесных машинах Форвардер 1910F, которые эксплуатировались в летний и зимний 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 | Частотность отказов r_N | Интенсивность отказов λ_N | Интегральная функция | | $\frac{P_N^* - F}{F}$ |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | | Эмпирическая $P_N^*(t)$ | Теоретическая $F(t)$ | |
| 250 | 3 | 0,038 | 0,000152 | 0,038 | 0,0179 | 0,0N23 |
| 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 |

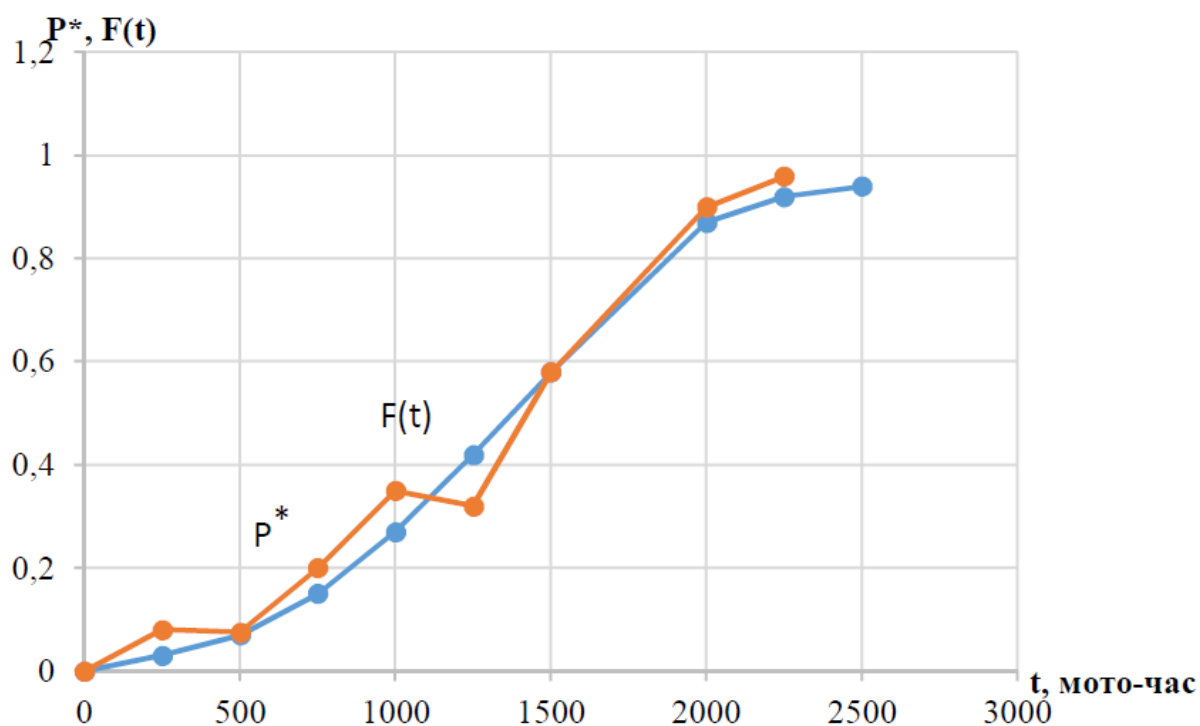


Рис. 1. Эмпирическая P^* и теоретическая $F(t)$ функции распределения отказов РВД



Рис. 2 Внешний вид стенда для исследования РВД



Рис. 3 Пульт управления установкой для исследования РВД

Для определения вероятности отказов РВД и диагностического параметра, характеризующего их техническое состояние, проведены экспериментальные исследования на стенде (рис. 2,3), 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. 4 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.

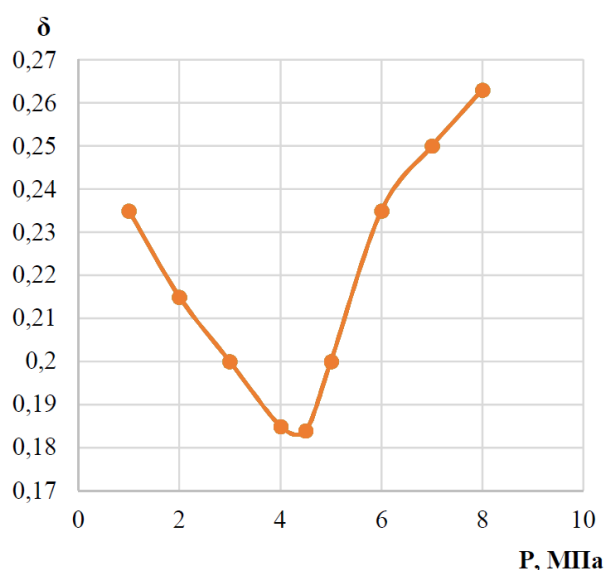


Рис. 4 Зависимость логарифмического декремента колебаний (δ) от давления жидкости в РВД длиной $L = 1,17$ м.

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. 5

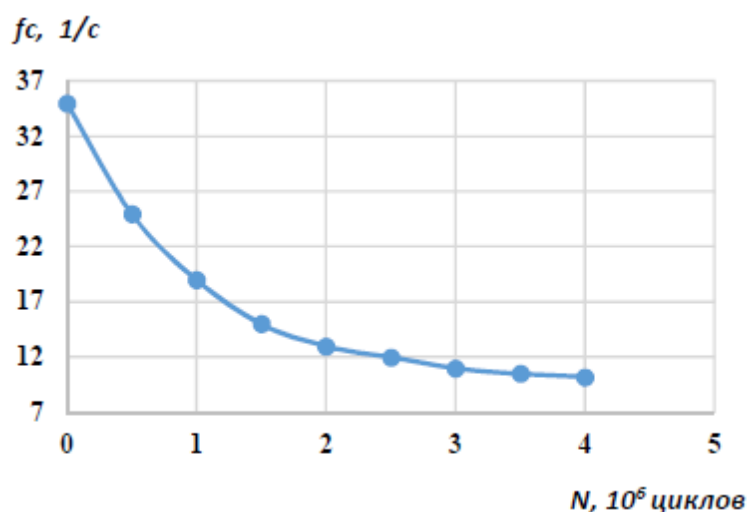


Рис. 5 Зависимость частоты собственных колебаний РВД длиной $l = 1,17$ м от циклов динамического нагружения

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. 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.

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:

$$P(D_i k_i) = P(A) * P\left(\frac{D_i k_i}{A}\right) + P(B) * P\left(\frac{D_i k_i}{B}\right), (1)$$

где $P(D_i k_i/A)$ и $P(D_i k_i/B)$ – 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:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1,$$

$$P(A) + P(B) = 1 (2)$$

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

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

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

$$P(D_i k_j)_{ti} = P(A) \cdot P\left(\frac{D_i k_j}{A}\right)_{ti} + P(B) \cdot P\left(\frac{D_i k_j}{B}\right)_{0,4ti}, (4)$$

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

$$f_{c\left(\frac{1}{ti}\right)} \cdot P\left(\frac{D_i k_j}{A}\right)_{ti} = f_{c\left(\frac{2}{0.4ti}\right)} \cdot P\left(\frac{D_i k_j}{B}\right)_{0.4ti} ;$$

$$f_{c\left(\frac{2}{ti}\right)} \cdot P\left(\frac{D_i k_j}{B}\right)_{ti} = f_{c\left(\frac{1}{2.5ti}\right)} \cdot P\left(\frac{D_i k_j}{A}\right)_{0.4ti} \quad (5)$$

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

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

$$P\left(\frac{D_i k_j}{A}\right)_{ti} = \frac{P(D_i k_j)_{ti}}{\left[P(A) + P(B) \cdot \frac{f_{c\left(\frac{1}{ti}\right)}}{f_{c\left(\frac{2}{0.4ti}\right)}} \right]} ; \quad (6)$$

$$P\left(\frac{D_i k_j}{B}\right)_{ti} = \frac{P(D_i k_j)_{2.5ti}}{\left[P(B) + P(A) \cdot \frac{f_{c\left(\frac{2}{ti}\right)}}{f_{c\left(\frac{1}{2.5ti}\right)}} \right]}$$

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:

$$P(D_i k_j)_{ti} = P(A)_{ti} \cdot \frac{P(D_i k_j)_{ti}}{\left[P(A) + P(B) \cdot \frac{f_{c\left(\frac{1}{ti}\right)}}{f_{c\left(\frac{2}{0.4ti}\right)}} \right]} + P(B)_{ti} \cdot \frac{P(D_i k_j)_{2.5ti}}{\left[P(B) + P(A) \cdot \frac{f_{c\left(\frac{2}{ti}\right)}}{f_{c\left(\frac{1}{2.5ti}\right)}} \right]} , \quad (7)$$

В результате экспериментальных исследований установлено, что в течение всего срока службы лесосечная машина совершает около 573000 рабочих циклов, что соответствует 4000 моточасам наработки. За каждый рабочий цикл в гидроприводе наблюдается около 12,3 выбросов давления жидкости (изменение давления жидкости в напорной полости гидропривода рукояти при обработке дерева). Это даёт основание для нахождения

соотношения между количеством циклов нагружения трубопроводов при их лабораторном испытании и временем наработки машин в моточасах.

Подставляя в уравнения (7) значения вероятностей $P(D_{ikj})$ и полученные экспериментально значения частот собственных колебаний РВД длиной $l=1,17$ м при различных условиях эксплуатации, получим вероятности отказов данного трубопровода $P(D_{ikj})t_i$ 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 |
| $P(D_{ikj}/A)t_i$ | 0,0181 | 0,0438 | 0,103 | 0,1989 | 0,340 | 0,49 | 0,629 | 0,752 | 0,867 | 1 |
| $P(D_{ikj}/B)t_i$ | 0,08 | 0,334 | 0,75 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| $P(D_{ikj})t_i$ | 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. 6).

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 $P(D_{ikj}/A)$ 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 $P(D_{IKJ}/B)t_i$.

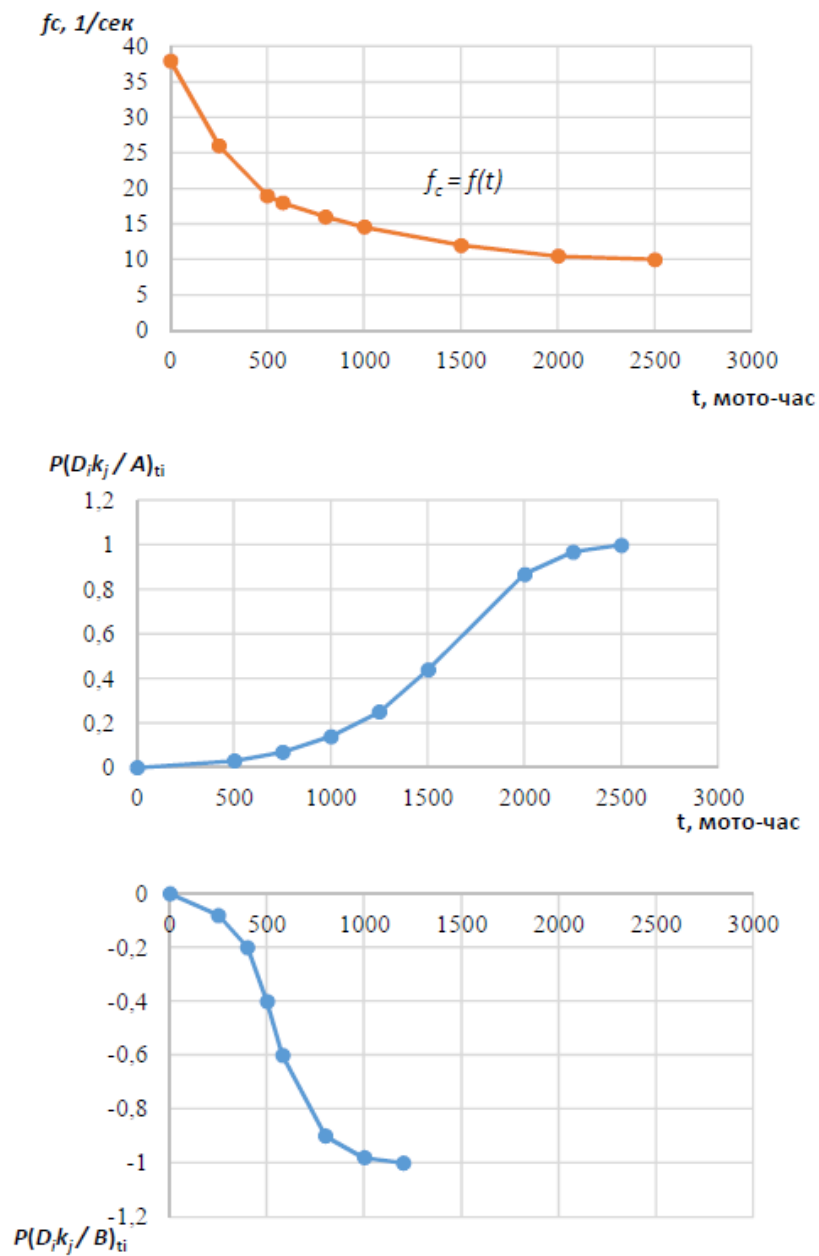


Рис. 6. Вероятность отказа РВД длиной $L = 1,17$ м

Выводы

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.

Использованные источники:

1. А. А. Тарбеев, А. И. Павлов Методика определения остаточного ресурса рукавов высокого давления лесных машин//Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Йошкар-Ола, 2018; N 2(38). - С. 52-60;

2. Дроздовский Г.П., Юсенхан В.И. Обеспечение функциональной надежности элементов гидропривода оборудования лесных машин их тестовым диагностированием//Актуальные проблемы лесного комплекса. Г.П.Дроздовский Г.П., В.И.Юсенхан–Ухта: УГТУ.

3. Дроздовский Г.П., Шоль Н.Р. Исследование процессов старения рукавов высокого давления гидропривода управления оборудованием лесозаготовительных машин//Актуальные проблемы лесного комплекса. Г.П.Дроздовский , Н.Р.Шоль . –Ухта: УГТУ, 2005. №11.