

УДК 658.581:630\*36

**В.Н. Шиловский, Г.Ю. Гольштейн**

Петрозаводский государственный университет

Шиловский Вениамин Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1970 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет более 180 печатных трудов в области надежности и ремонта лесных машин.  
Тел.: (8142) 71-10-56



Гольштейн Григорий Юрьевич родился в 1983 г., окончил в 2007 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант ПетрГУ. Имеет 3 печатные работы в области организации и ремонта лесозаготовительных машин.  
E-mail: grigory@psu.karelia.ru



### **ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОТКАЗА ГИДРОСИСТЕМЫ МАНИПУЛЯТОРА БЕСЧОКЕРНОГО ТРАКТОРА**

Предложены методические подходы, математические модели по экономическому обоснованию критериев параметрических отказов, периодичности диагностики сопряжений лесозаготовительных машин.

*Ключевые слова:* параметрический отказ, экономический критерий, периодичность диагностики.

Отказы деталей и сопряжений машин и оборудования, как известно [3], делят на функциональные, при которых прекращается выполнение функций рассматриваемым элементом или объектом (например, поломка зубьев шестерни гидронасоса), и параметрические, при которых некоторые параметры объекта изменяются в недопустимых пределах (например, падение производительности трактора или потеря точности станка).

В проанализированной нами технической и нормативно-справочной литературе не представлены ни качественные, ни количественные критерии параметрического отказа гидросистемы какой-либо лесозаготовительной машины (ЛЗМ), вызванного предельным износом одного или нескольких гидроагрегатов одновременно. Отсутствуют как частные зависимости скорости и грузоподъемности манипуляторов от производительности гидронасоса и усилий, развиваемых каждым цилиндром его гидропривода, так и интегрированные математические модели зависимости производительности манипулятора от состояния параметров (развиваемое давление в гидроприводе, скорость, масса перемещаемого груза и т. п.) гидроагрегатов и гидроцилиндров всего гидропривода. Нет обоснованных данных о влиянии производительности манипулятора на производительность ЛЗМ и, следовательно, о пороге себестоимости единицы производимой продукции, который не должен быть ниже доходной ставки.

Цель нашей статьи – определить возможность повышения экономической эффективности использования ЛЗМ при своевременном выявлении и предупреждении параметрических отказов гидропривода. Задачей исследования является разработка методических положений о технико-экономическом обосновании качественного критерия параметрического отказа гидропривода манипулятора трактора для бесчokerной трелевки леса, а также о периодичности проверок его технического состояния. Эти положения разрабатываются впервые и, безусловно, актуальны для лесозаготовительных предприятий, работающих в рыночных условиях. Статья носит методический постановочный характер, экспериментальная проверка, окончательные результаты и выводы будут представлены в дальнейшем.

Рассмотрим влияние снижения производительности гидроманипулятора трелевочного трактора на экономическую эффективность его работы. Техническую производительность  $P_T$  найдем по формуле [4]

$$P_T = \frac{3600Q}{T_p}, \quad (1)$$

где  $Q$  – объем пачки деревьев, которую можно погрузить в зажимной коник за рейс, м<sup>3</sup>;

$T_p$  – продолжительность работы гидроманипулятора за период набора пачки, с.

Расчетную себестоимость ( $C_p$ ) 1 м<sup>3</sup> древесины, перемещаемой гидроманипулятором, а затем трелеваемой трактором, определим по формуле

$$C_p = \frac{1}{P_T} \left( C_{\text{пер}} + \frac{C_{\text{пост}} T_p}{3600} \right), \quad (2)$$

где  $C_{\text{пер}}$ ,  $C_{\text{пост}}$  – соответственно переменные и постоянные расходы, приходящиеся на 1 ч эксплуатации гидропривода.

Для достижения рентабельной работы гидроманипулятора, а значит, трактора в целом, нельзя допускать, чтобы себестоимость превышала доходную ставку ( $C_d$ ), т. е.  $C_d \geq C_p$ . Располагая показателями работы гидроманипулятора, можно установить зависимость себестоимости единицы продукции от износа гидроагрегатов через изменение параметров их технической характеристики (производительность гидронасоса; усилие, развиваемое гидроцилиндром, и т. п.).

На условном примере рассчитаем себестоимость 1 м<sup>3</sup> древесины в зависимости от снижения часовой производительности гидроманипулятора. Для гусеничного трелевочного трактора типа ТБ-1М примем данные, характеризующие параметры набора гидроманипулятором пачки деревьев за комли:  $Q = 8 \text{ м}^3$ ;  $T_p = 864 \text{ с}$ ;  $C_{\text{пер}} = 204 \text{ р./ч}$ ;  $C_{\text{пост}} = 124 \text{ р./ч}$ ;  $C_d = 8,5 \text{ р./ч}$ . Тогда техническая производительность гидроманипулятора трелевочного трактора

$$P_T = \frac{3600 \cdot 8}{864} = 33,33 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

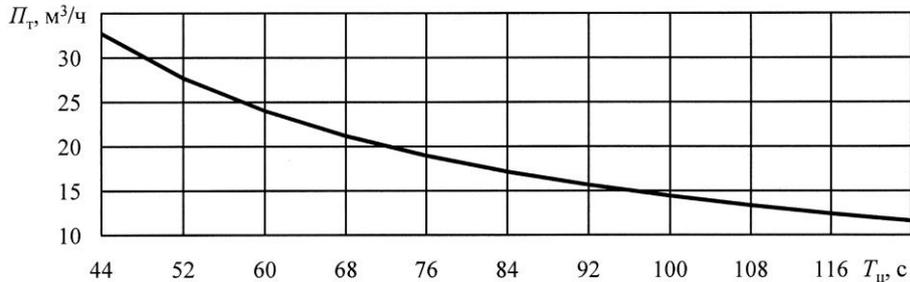


Рис. 1. Зависимость условной технической производительности гидроманипулятора от времени цикла его работы

Зависимость условной технической производительности от времени цикла работы гидроманипулятора  $T_{ц}$  приведена на рис. 1.

Расчетная себестоимость  $1 \text{ м}^3$  древесины, перемещаемой гидроманипулятором с технически исправным гидроприводом,

$$C_p = \frac{1}{33,33} \left( 204 + \frac{124 \cdot 864}{3600} \right) = 7,03 \text{ р./м}^3.$$

Зависимость расчетной себестоимости от производительности гидроманипулятора представлена на рис. 2. В рассмотренном условном примере производительность гидроманипулятора не должна быть ниже  $28 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Приведенный пример показывает, что при расчетах необходимо знать реальные характеристики параметрических отказов гидроагрегатов.

Проверка фактического технического состояния объекта, как правило, сопряжена с затратами и выведением его на некоторое время из эксплуатации. Частые проверки приводят к увеличению затрат на их проведение и, самое главное, уменьшению коэффициента технической готовности и использования лесозаготовительной машины. Редкие проверки создают определенную вероятность эксплуатации оборудования и машины за пределами допустимого уровня снижения производительности. Таким образом, налицо противоречивость факторов, воздействующих на эффективность эксплуатации лесозаготовительной машины и в значительной степени определяющих стратегии и способы проверки технического состояния изучаемых объектов.

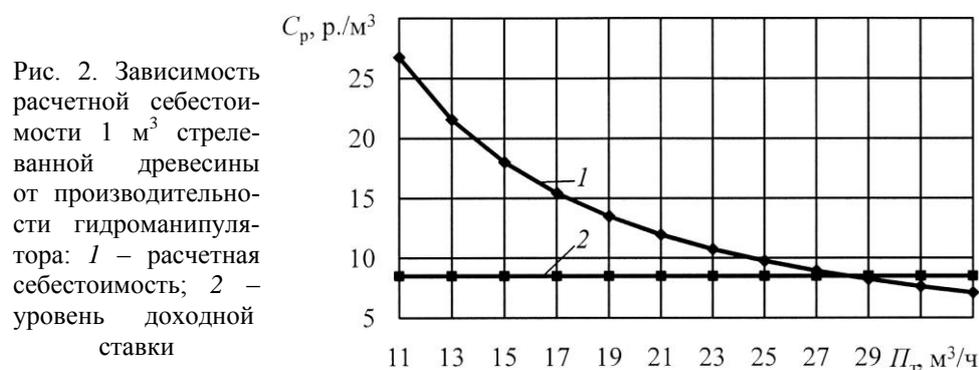


Рис. 2. Зависимость расчетной себестоимости  $1 \text{ м}^3$  стрелованной древесины от производительности гидроманипулятора: 1 – расчетная себестоимость; 2 – уровень доходной ставки

Рассмотрим концепцию планирования проверок на основе баланса их стоимости и потерь от необнаруженных неисправностей системы. Будем считать, что каждая проверка имеет фиксированную стоимость  $C_1$ , а пребывание системы в неисправном состоянии в течение 1 ч обходится в  $C_2$ , р./ч. Тогда отказ (снижение технических показателей ниже допустимых), возникающий в любой момент между некоторыми  $k$ -й и  $(k+1)$ -й проверками, вызывает эксплуатационные потери, которые в среднем равны  $\int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - x)\} dF(x)$ , где  $F(x)$  – распределение времени до первого параметрического отказа системы.

Параметрический отказ может возникнуть после любой по счету проверки, поэтому полные ожидаемые потери ( $M[\Pi_3]$ ) от эксплуатации машины после его возникновения можно определить по выражению

$$M[\Pi_3] = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - x)\} dF(x). \quad (3)$$

Организация проверок через постоянный период времени определяет так называемую периодическую стратегию, с переменным интервалом – последовательную [1]. В начале эксплуатации может быть выбрана периодическая стратегия. С течением времени, когда состояние сопряжений приближается к предельному по экономическому критерию, периодичность проверок должна изменяться, т. е. сокращаться периоды между ними, чтобы не пропустить возникновение параметрического или аварийного отказа. На конечном интервале времени  $T$  нужно так спланировать число проверок и интервалы между ними, чтобы достигался минимум возможных потерь вида (3) при любом, даже неизвестном распределении  $F(t)$ .

При организации проверок через постоянный интервал  $\tau$  полные ожидаемые эксплуатационные потери найдем по выражению

$$M[\Pi_3] = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{k\tau}^{(k+1)\tau} \{C_1(k+1) + C_2[(k+1)\tau - x]\} dF(x). \quad (4)$$

При неизвестном законе распределения  $F(t)$  могут быть предложены последовательно периодические стратегии проверок с периодом  $T$ , имеющим конечное значение. В этом случае нетрудно представить эксплуатационные потери, обусловленные неисправностью, возникающей между  $k$ -й и  $(k+1)$ -й проверками ( $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ). Если обозначить через  $\omega$  случайный момент параметрического отказа системы, то при различных условиях его возникновения во времени потери будут равны:

$$Q(\omega) = \begin{cases} C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - \omega), & \text{если } t_k < \omega \leq t_{k+1} (k = 0, 1, \dots, n-1); \\ C_1n + C_2(T - \omega), & \text{если } t_n < \omega \leq T; \\ C_1n, & \text{если } \omega > T. \end{cases} \quad (5)$$

Поскольку параметрический отказ системы может возникнуть в любой момент времени в заданном интервале или вообще не возникнуть за время  $(0, T)$ , то полные ожидаемые потери  $(M[\Pi_3(T)])$  за это время составят:

$$M[\Pi_3(T)] = \sum_{k=0}^{n-1} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - x)\} dF(x) + \int \{C_1 n + C_2(T - x)\} dF(x) + C_1 n \int_T^{\infty} dF(x). \quad (6)$$

При неизвестном распределении момента появления неисправности  $F(t)$  планирование проверок можно формулировать на основе известного минимаксного критерия  $\min_{\{t_k\}n} \max F(t) M[\Pi_3(T)]$  ( $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ). Значения  $(M[\Pi_3(T)])$  вычисляются по выражению (6), а максимум берут по всем возможным распределениям  $F(t)$ .

Минимаксная стратегия проверок сводится к выводу числа проверок  $n$  как наибольшего целого числа, удовлетворяющего неравенству

$$C_1 n^2 + C_1 n + 2(C_1 - C_2 T) \leq 0. \quad (7)$$

Моменты последовательных проверок  $t_k$  определяют по выражению [2]

$$t_k = k \left[ \frac{T}{n+1} + \frac{C_1}{2C_2} \left( \frac{n(n+3)}{n+1} - (k+1) \right) \right]. \quad (8)$$

Согласно работе [5] диагностику гидроагрегатов гидросистемы привода технологического оборудования ЛЗМ целесообразно проводить передвижными средствами технического сервиса.

#### Выводы

1. Предложена методика определения состояния параметрического отказа гидропривода технологического оборудования ЛЗМ по экономическому критерию, при котором себестоимость  $1 \text{ м}^3$  заготовленной древесины превышает доходную ставку.

2. Для определения момента возникновения параметрического отказа предложена концепция планирования проверок на основе баланса стоимости проверок и потерь от необнаруженных неисправностей объекта с описанием периодических и последовательно-периодических проверок.

3. Предложенные методические положения в условиях конкурентных рыночных отношений могут быть востребованы и использованы для повышения экономической эффективности эксплуатации ЛЗМ применительно к конкретным условиям конкретной машины, что показано на условном примере – числовом эксперименте.

4. Разработанные методические положения имеют как научное, так и практическое значение и могут быть использованы при подготовке менеджеров технического сервиса лесозаготовительных машин.

5. Работы по проведению теоретических и экспериментальных исследований параметрических отказов как части системы технического обслуживания и ремонта машин по их фактическому техническому состоянию требуют продолжения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перроте, А.И.* О режиме оптимальной профилактики систем длительного пользования [Текст] / А.И. Перроте // Автоматика. – 1961. – № 3.
2. *Райкин, А.Л.* Элементы теории надежности для проектирования технических систем [Текст] / А.Л. Райкин. – М.: Сов. радио, 1967. – 265 с.
3. *Решетов, Д.Н.* Надежность машин [Текст]: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высш. шк., 1988. – 238 с.
4. *Швед, А.И.* Трелевочные тракторы [Текст] / А.И. Швед. – Челябинск, 2003. – 267 с.
5. *Шиловский, В.Н.* Теоретические основы и стратегии организации маркетинга и менеджмента технического сервиса территориально распределенных машин и оборудования [Текст]: монография / В.Н. Шиловский. – Петрозаводск, 2001. – 324 с.

Поступила 15.01.08

*V.N. Shilovsky, G.Yu. Golschtein*  
Petrozavodsk State University

### **On Investigation of Parametric Failure of Hydraulic System for Chokerless Tractor Manipulator**

Methodical approaches, mathematical models on economic substantiation of parametric failures criteria, diagnostics frequency of logging machines conjugation are offered.

Keywords: parametric failure, economic criterion, diagnostics frequency.

---