

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРАКТОРОВ ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

Лебедев А.Т., д.т.н., проф<sup>1</sup>; Лебедева И.А., с.н.с.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко

<sup>2</sup>Харьковский филиал УкрНИИПВТ им. Л. Погорелого

*Модернизация тракторов является составной частью доработки их конструкции, направленной на повышение эксплуатационно-технологических показателей, надежности, экологической безопасности и улучшения условий труда обслуживающего персонала.*

Постановка проблемы. Модернизация тракторов является составной частью доработки их конструкции, направленной на повышение эксплуатационно-технологических показателей, надежности, экологической безопасности и улучшение условий труда обслуживающего персонала. При этом решается актуальная проблема повышения качества тракторов по обеспечению их эксплуатационных свойств требованиям потребителя. В условиях жесткой конкуренции между предприятиями различной формы собственности, производящими трактора, их надежность выходит на первый план и в дальнейшем становится основным аргументом в пользу определенной модели трактора.

Анализ последних достижений и публикаций. Повышение надежности тракторов на стадии проектирования и при модернизации во многом определяется надежностью элементов, являющихся их составной частью. Обычно данный процесс осуществляется по критерию  $K_H^M = f_H^M(\lambda_n, \lambda_o)$  с учетом статистических данных по интенсивности повреждений  $\lambda_n$  и отказов  $\lambda_o$ , полученных по результатам эксплуатации тракторов [1]. При этом в соответствии с действующей нормативной документацией [2] повреждения характеризуют событие, при котором нарушается исправность трактора при сохранении его работоспособности, а отказ-событие, заключающееся в нарушении работоспособности трактора.

Доказано [3, 4], что наиболее эффективным путем создания машин (тракторов) с требуемыми показателями надежности является использование для этих целей этапов проектирования и модернизации, придавая доминирующее значение наиболее значимым элементам по функциональному назначению и безопасности. Для тракторов первостепенным является повышение надежности рулевых управлений, тормозных систем

и т.д. в соответствии с техническим регламентом №1368 [5].

Цель исследования заключается в обосновании методологии модернизации тракторов по критерию надежности его элементов при ограничении стоимости.

Результаты исследований. Цель исследования реализована на примере повышения надежности гидропривода рулевого управления трактора с шарнирно-сочлененной рамой (рис.1). Данный гидропривод можно рассматривать как систему, состоящую из  $n$  последовательно соединенных компонентов: источник питания ИП (объемный насос 2), распределительно-регулирующая аппаратура РР (насос-дозатор Н, обратный гидроклапан 3, делитель потока 6), исполнительный механизм ИМ (гидроцилиндры 5), трубопроводы Тр.

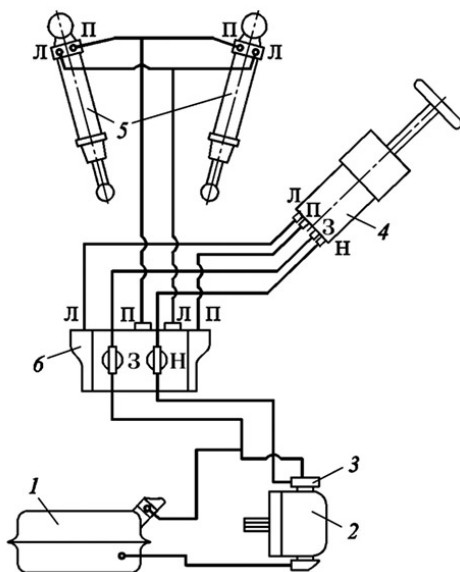


Рис.1. Схема гидрообъемного рулевого управления: 1 - бак; 2 - объемный насос; 3 - предохранительный клапан; 4 - насос-дозатор; 5 - гидравлические силовые каналы; 6 - усилитель потока; Н - нагнетание; З - слив; П - поворот вправо; Л - поворот на лево.

При оценке надежности гидропривода процесс его функционирования может быть описан графом (рис.2,а) переходов из состояния работоспособности  $H_0$  в состояние неработоспособности  $H_1$  вследствие возникновения повреждений и отказов как одной компоненты, так и нескольких одновременно.

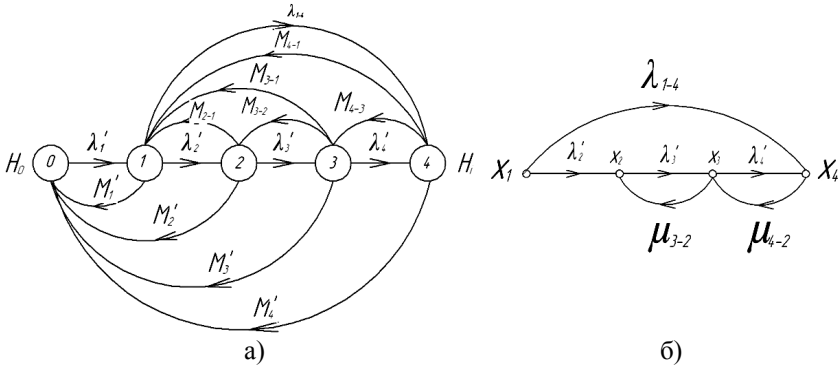


Рис.2. Граф функционирования и ремонта гидропривода рулевого управления трактора: а – при отказе одного или нескольких компонентов одновременно б – при отказе одного компонента, являющегося причиной отказа других компонентов.

В этом случае граф переходов для четырех основных компонент имеет пять состояний: 0 – все компоненты исправны; 1,2,3 – неисправны соответственно одна, две и три компоненты; 4 – все компоненты неисправны. При накоплении повреждений переход гидропривода из состояния работоспособности в каждое последующее осуществляется с интенсивностями  $\lambda_1' = \lambda_1$ ,  $\lambda_2' = \lambda_1' + \lambda_2$ ,  $\lambda_3' = \lambda_2' + \lambda_3$  и  $\lambda_4' = \lambda_3' + \lambda_4$ . Переход системы из состояния неработоспособности в состояние работоспособности при последовательном ремонте компонент характеризуется интенсивностями восстановления  $\mu_1, \mu_{2-1}, \mu_{3-2}, \mu_{4-3}$  и при одновременном ремонте -  $\mu_1' = \mu_1$ ,  $\mu_2' = \mu_1' + \mu_{2-1}$ ;  $\mu_3' = \mu_2' + \mu_{3-2}$ ,  $\mu_4' = \mu_3' + \mu_{4-3}$ .

Наиболее сложным случаем процесса функционирования и ремонта гидропривода является переход системы из промежуточного состояния, например 1 в конечное 4 с интенсивностью  $\lambda_{1-4}$ , что возможно, когда отказ одной компоненты является причиной повреждений и отказов других компонент. Подобный случай возможен, например при отказе обратного гидроклапана, в результате чего в динамическом режиме работы гидроклапана возможны одновременные повреждения и отказы по трубопроводам, уплотнениям объемного насоса, гидроцилиндров и т.д.

В этом случае при возвращении трубопровода путем ремонта в исходное состояние 1 узел 0 графа переходов является источником и граф может быть упрощен до удобного для анализа ориентированного графа  $G(J, V)$  (рис. 2, б)

с заданными непустыми множествами  $J \neq \emptyset$  и  $V \neq \emptyset$ . В графе  $G(J, V)$

каждому элементу  $u$  множества  $V(u \in V)$  поставлена в соответствие при оценке надежности упорядочения пара  $x, \lambda(x \neq \lambda)$  элементов множества  $J$ . Для определения наиболее «надежного» пути по графу  $G(J, V)$  вместо детерминистических оценок дуг  $t_{ij}$  ставится значение интенсивностей отказов  $\lambda_i$  для каждой дуги графа. В этом случае наименее надежным путем будет пусть  $L_{\max}(\lambda)$ , определяемый максимальной суммарной продолжительностью

$$L_{\max}(\lambda) = l_{\max}(\lambda'_1 + \lambda'_2 + \lambda'_3 + \lambda'_4) \quad (1)$$

По (1) определяется кратчайший путь графа перехода, при котором гидропривод будет наиболее надежен и намечаются конструктивные мероприятия по совершенствованию менее надежных компонент. В этом случае, если рассматривать в качестве ограничивающего фактора стоимость модернизации, то для повышения надежности гидропривода необходимо максимизировать

$$P = F[P_1(C_1), P_2(C_2), P_3(C_3), P_4(C_4)] \quad (2)$$

при ограничении по  $C_i$  стоимости компонент

$$C = \psi[C_1, C_2, C_3, C_4] \quad (3)$$

Очевидно, что распределение стоимости модернизации должно быть пропорционально интенсивности отказов гидропривода в эксплуатации, т.е.  $C_i = f(\lambda_i)$ . В таблице 1 в качестве примера для гидропривода рулевого управления трактора ХТЗ – 17221 приведены показатели оп интенсивности отказов и стоимости в условных единицах отдельных компонент до  $\lambda$ ,  $C$  и после модернизации  $\lambda', C'$ , полученные по материалам наблюдений в рядовой эксплуатации при наработке до 6000 моточасов.

Таблица 1. Основные показатели модернизации гидропривода рулевого управления трактора ХТЗ – 17221

Показатели	По компонентам				По системе
	ИП	РР	ИМ	ТР	
$\lambda$ , 1/ч	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$0,33 \cdot 10^{-3}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$	$0,81 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
$C$ , у.ед.	45	25	20	10	100
$\lambda'$ , 1/ч	$0,56 \cdot 10^{-3}$	$0,39 \cdot 10^{-3}$	$0,50 \cdot 10^{-3}$	$1,30 \cdot 10^{-3}$	$2,75 \cdot 10^{-3}$
$C'$ , у.ед.	48	27	30	15	120
$\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$ , 1/ч	$+0,6 \cdot 10^{-3}$	$-0,06 \cdot 10^{-3}$	$+0,25 \cdot 10^{-3}$	$-0,49 \cdot 10^{-3}$	$+0,3 \cdot 10^{-3}$
$\Delta C = C - C'$ , у.ед.	-3	-2	-10	-5	-20

Модернизация гидропривода рулевого управления трактора ХТЗ-17221 предусматривала по ИП внедрение более совершенной конструкции объемного насоса, по РР – изменение параметров насоса

дозатора и усилителя потока, по ИМ – внедрение гидроцилиндров поворота с улучшенным уплотнением штока, по ТР – замену стальных трубопроводов составными с гибкими резинометаллическими шлангами.

Экспериментами было установлено, что распределение отказов гидропривода рулевого управления как до модернизации, так и после подчиняется экспоненциальному распределению. В этом случае вероятность безотказной работы ( $P = e^{-\lambda t}$ ), где  $\lambda$  - параметр потока отказов  $1/4$ ;  $t$  - время работы гидропривода рулевого управления после модернизации, например за 100 ч непрерывной работы повысилась с  $P=0,740$  до  $P=0,763$ .

Снижение интенсивности отказа на единицу затрат ( $\beta = \frac{\Delta\lambda}{\Delta C}, 1/4$  у.ед.) позволило получить положительный эффект от модернизации по ИП ( $+0,2 \cdot 10^{-3}$ ), ИМ ( $+0,25 \cdot 10^{-3}$ ) и отрицательный – по РР ( $-0,03 \cdot 10^{-3}$ ), по ТР ( $-0,098 \cdot 10^{-3}$ ).

Интенсивность отказов системы в зависимости от затрат на ее модернизацию может быть записана в виде уравнения:

$$\lambda' = \lambda - \beta\gamma(\Delta C) \quad (4)$$

При выборе структуры привода по критерию надежности приращение надежности в зависимости от затрат ( $\Delta C$ ) и надежности системы до модернизации  $P_j$  имеет вид:

$$P_i = P_j + K\psi_i(\Delta C), \quad (5)$$

где  $\psi_i$  - коэффициент пропорциональности.

Для выбора оптимальной структуры гидропривода по критерию надежности целесообразно использовать уравнения приращения надежности

$\Delta P_j$  компонент системы от дополнительных затрат  $\Delta C_j$  [6]

$$\Delta C_j = \frac{\Delta C_{\text{дон}}}{\gamma'} \left[ \frac{(1 - \Delta P_j)}{K_{oi} + \Delta P_j} \ln \frac{1}{1 - \Delta P_j} \right]; \quad (6)$$

$$\gamma' = \sum_{i=1}^n \psi_i \left[ \frac{(1 - \Delta P_j)}{K_{oi} + \Delta P_j} \ln \frac{1}{1 - \Delta P_j} \right], \quad (7)$$

где  $K_{oi} = \frac{P_{oi}}{1 - P_{oi}}$ ;  $P_{oi}$  – надежность компонент до модернизации;

$\Delta C_{\text{доп}}$  допустимые затраты на модернизацию.

Уравнение (6) получено методом множителя Лагранжа по (2) с учетом ограничения (3) и позволяет распределить допустимые затраты на модернизацию между компонентами системы. Графически с исполь-

зованием логарифмической бумаги (рис. 3) по методу последовательных приближений решается уравнение (6) и определяется оптимальная структура системы.

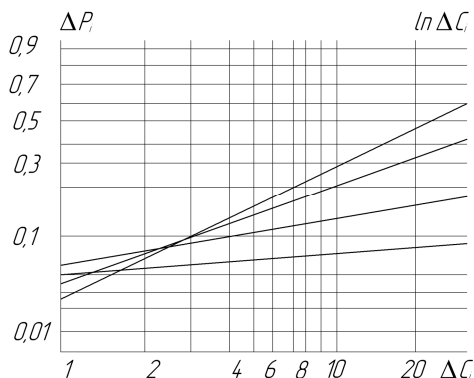


Рис.3. Приращение надежности  $\Delta P_i$  от дополнительных затрат  $\Delta C_i$  на модернизацию гидропривода рулевого управления трактора.

В таблице 2 приведены оптимальные показатели надежности  $\Delta P_i$  от дополнительных затрат  $\Delta C_i$  на модернизацию гидропривода рулевого управления трактора ХТЗ – 17221

Таблица 2. Приращение надежности гидропривода рулевого управления трактора ХТЗ – 17221 от дополнительных затрат

Показатели	По компонентам				По системе
	ИП	РР	ИМ	Тр	
$P_{oi}$	0,88	0,97	0,93	0,92	0,74
$\Delta C_i$	3	0	6	12	20
$\Delta P_i$	0,10	0	0,06	0,07	0,78

Анализ таблицы 2 показывает, что при модернизации гидропривода рулевого управления трактора ХТЗ - 17221 необходимо основные затраты вложить на совершенствование конструкции трубопроводов и распределительно-регулирующей аппаратуры, не подвергая конструктивной доработке источник питания и исполнительный механизм.

**Выводы.** Обоснованная методология модернизации трактора базируется на пропорциональном распределении стоимости модернизации агрегатов трактора приемлема для оценки надежности различных его систем. На примере гидропривода рулевого управления трактора показано, что при его модернизации необходимо основные затраты вложить в совершенствование конструкции трубопроводов и распределительно-регулирующей

руючої апаратури (насос-дозатор, делитель потока), не подвергая конструктивной доработке источник питания (объемный насос) и исполнительный механизм (гидроцилиндры).

### **Список использованных источников**

1. Прогнозирование надежности тракторов/ В., Анилович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко, Н.Ш. Чернявский; Под общ. ред. В.Я. Аниловича. – М.: Машиностроение. 1986. – 244 с.
2. ГОСТ 27.00.–89. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 01.07.90.– 30с. – Харьков: ХНАДУ 2004. – 249 с.
3. Хазов Б.Ф. Дидусев Б.А. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
4. Ксеневиц И.П. Обеспечение надежности сложных технических систем на стадии проектирования// Тракторы и сельхозмашины. –2009. – №1 – с.36-42
5. Постанова КМУ Про затвердження Технічного регламенту щодо складових частин і характеристик колісних сільськогосподарських ті лісогосподарських тракторів від 28.12.2011 № 1368
6. Епифанов А.Д. Надежность систем управления. – М.: Машиностроение, 1975. – 180с.

### **Анотація**

#### **МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРАКТОРІВ ЗА КРИТЕРІЄМ НАДІЙНОСТІ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ**

**Лебедєв А.Т., Лебедєва І.А.**

*Модернізація тракторів є складовою частиною доопрацювання їх конструкції, спрямованої на підвищення експлуатаційно-технологічних показників, надійності, екологічної безпеки та поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу.*

### **Abstract**

#### **MODERNIZATION OF TRACTORS IN HIS ELEMENT RELIABILITY CRITERIA**

**A. Lebedev, I. Lebedeva**

*Modernization of tractors is part of their design improvements aimed at improving the operational and technological indicators, reliability, environmental safety and improvement of working conditions attendants.*