

Войтов А.В.,

Бойко И.Г.

Харьковский национальный техниче-  
ский университет сельского хозяйства  
имени П.Василенко,

г. Харьков, Украина

E-mail:K1kavoitov@gmail.com

## ОБОСНОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ГСТ-90.112

УДК 621.891

*Экспериментально обоснованы диагностические признаки, к которым относятся скорость увеличения давления за насосом  $\dot{P}$ , Па/с и скорость увеличения угловой частоты вращения ротора мотора под нагрузкой. Экспериментально, в процессе стендовых испытаний, подтверждено правильность выбора указанных диагностических признаков. Расчет коэффициентов вариации и значений меры точности позволил подтвердить, что для определения технического состояния ГСТ-90,112 в процессе эксплуатации необходимо контролировать: величину максимального давления за насосом во время переходного процесса  $P_{max}$ , когда вал гидромотора заторможен номинальным крутящим моментом; время, когда давление за насосом во время переходного процесса под нагрузкой достигает максимума  $t_{n\ max}$ , с; величину максимальной угловой частоты вращения ротора гидромотора во время переходного процесса  $\omega_{max}$ , 1/с, когда вал гидромотора заторможен номинальным крутящим моментом; время, когда угловая частота вращения ротора гидромотора достигает максимума  $t_{m\ max}$ , с.*

**Ключевые слова:** *гидропривод; диагностика; диагностические признаки; поршневой мотор; поршневой насос; коэффициент подачи насосов; к.п.д. мотора; скорость увеличения угловой частоты вращения ротора мотора; скорость увеличения давления за насосом; переходные процессы*

### Актуальность проблемы

Техническое состояние гидростатических трансмиссий (ГСТ) влияет на производительность сельскохозяйственных машин и расход топлива [1]. Техническое состояние аксиально-поршневых насосов (НП-90,112) и моторов (МП-90,112), во многом определяет производительность машин в целом, т.к. влияет на скорость их движения. ДСТУ 2193-93 определяет предельные значения коэффициента подачи для насоса и общего КПД для мотора, при достижении которых эксплуатация гидропривода должна быть прекращена. Указанные параметры не должны снижаться более чем на 20% от начального состояния [2].

### Анализ публикаций, посвященных данной проблеме

В работе [3] приведен анализ по износу основных элементов ГСТ-90, выявлены закономерности распределения износов и получена математическая модель связи объемного КПД с износами и зазорами в трибосистемах ГСТ. Данный метод получил дальнейшее развитие в работе [5], где по результатам измерения температуры диагностируются отдельные узлы гидронасоса, однако взаимосвязи между температурным режимом и техническим состоянием отдельных узлов не установлено.

В работах [4,5] обосновывается одно из направлений диагностирования гидроприводов - термометрирование, которое позволяет определить техническое состояние по температуре корпуса насоса и мотора во время эксплуатации, где по результатам измерения температуры диагностируются отдельные узлы гидронасоса. Данному подходу посвящены работы [6,7], в которых представлены результаты по исследованию температурного режима и разработана методика графо-аналитического прогнозирования ресурса

гідропривода.

Авторы работы [8,9] разработали методику определения перерасхода топлива при изменении технического состояния гидропривода. На основании полученных исследований делается вывод о необходимости пересмотра граничных значений КПД в процессе эксплуатации.

В работе [10,11] выполнена структурная и параметрическая идентификация объемного гидропривода, как объекта диагностирования. Переходной процесс в насосе и моторе описывается колебательными звеньями второго порядка. На основании передаточных функций получены дифференциальные уравнения переходного процесса. В данной работе приводятся решения дифференциальных уравнений переходного процесса для насоса и мотора.

На основании проведенного математического моделирования были обоснованы диагностические признаки для насосов НП-90,112 и моторов МП-90, 112.

К диагностическим признакам насосов НП-90,112 относятся [12]: время переходного процесса  $t_{н\ пер}$ , с; амплитуда колебания давления  $A_n$ , Па; величина текущего давления на установившемся режиме  $P_{тек}$ , Па; величина максимального давления во время переходного процесса  $P_{max}$ , Па; время, когда давление достигает максимума  $t_{н\ max}$ , с; скорость увеличения давления жидкости за насосом во время переходного процесса под нагрузкой (гидромотор заторможен и развивает номинальный крутящий момент)  $\dot{P}$ , Па/с.

К диагностическим признакам моторов МП-90,112 относятся [12]: время переходного процесса  $t_{м\ пер}$ , с; амплитуда колебаний угловой частоты вращения ротора мотора  $A_m$ , 1/с; величина текущего значения угловой частоты вращения ротора мотора на установившемся режиме  $\omega_m$ , 1/с; величина максимальной угловой частоты вращения ротора мотора во время переходного процесса  $\omega_{max}$ , 1/с; время, когда угловая частота вращения ротора мотора достигает максимума  $t_{м\ max}$ , с; скорость увеличения угловой частоты вращения ротора мотора во время переходного процесса под нагрузкой (гидромотор заторможен и развивает номинальный крутящий момент)  $\dot{\omega}_m$ , 1/с<sup>2</sup>.

### Цель исследования

Экспериментальным путем обосновать диагностические признаки технического состояния гидростатических приводов ГСТ-90,112.

### Методический подход в проведении исследований

Оценку технического состояния ГСТ-90 и ГСТ-112 бывших в эксплуатации и поступивших в ремонт на предприятие по ремонту, проводили на стенде, типовая гидравлическая схема которого представлена на рис. 1. Выборка комплектов ГСТ-90 составила 43 шт, а выборка комплектов ГСТ-112 составила 19 шт, т.е. для входного контроля были выбраны все комплекты ГСТ, поступившие в ремонт в течение года.

Перед испытаниями насосы и моторы очищались и промывались от внешних загрязнений, устанавливались на стенд и запускались в работу по первому режиму, т.е. без нагрузки на валу мотора. При отсутствии объемной подачи насосом в диапазоне вращения вала насоса  $n_1 = 1500 \pm 50$  об/мин проводили контроль срабатывания клапана давления насоса подпитки 1,5 МПа, а также давления в линиях управления и подпитки, которое при нейтральном положении рычага управления должно составлять 1,2 - 1,5 МПа. При этом давления в корпусе насоса должно быть в пределах 0,25 МПа, а корпус насоса должен быть герметичным.

При наличии подачи насосом  $Q_1$ , рис.1, и вращения вала гидромотора  $n_2$ , переходили ко второму режиму испытаний. Для этого затормаживали вал гидромотора до величины номинального крутящего момента.

После стабилизации частоты вращения ротора гидромотора ( $n_2 = const$ ), производили измерения следующих параметров:

- частоты вращения ротора насоса  $n_1$ , об/мин;
- подачи насоса  $Q_1$ , л/мин;
- давления в напорной магистрали насоса  $P_1$ , МПа;
- расход жидкости перед мотором  $Q_3$ , л/мин;
- частота вращения ротора мотора  $n_2$ , об/мин.

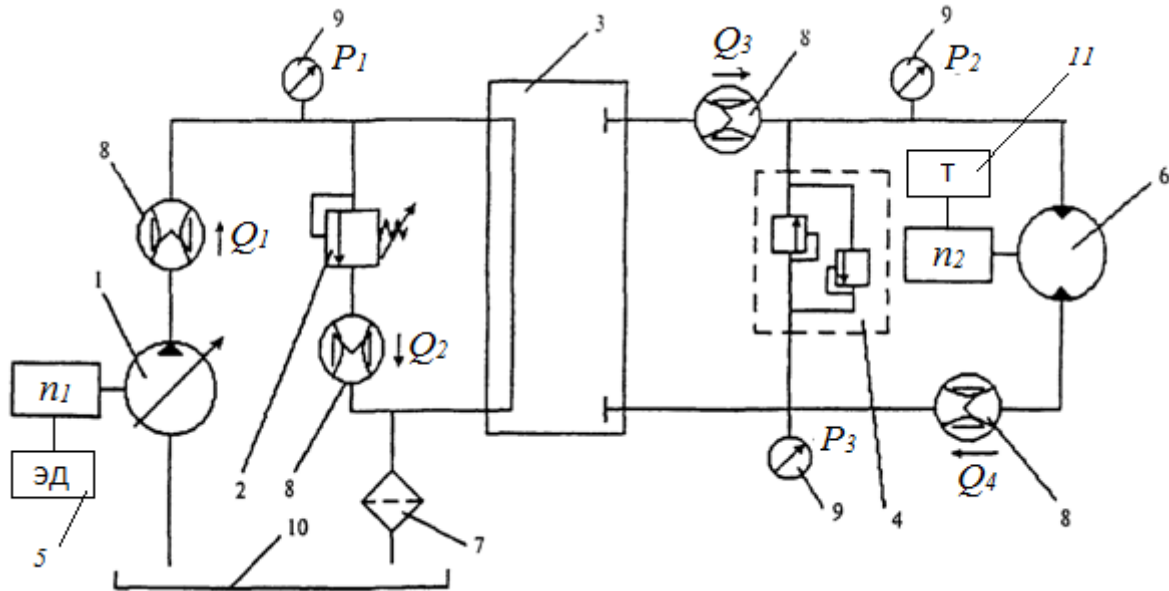


Рис. 1. Типовая гидравлическая схема испытательного стенда

1-насос; 2-клапан; 3-блок распределителей; 4- блок клапанов гидромотора; 5- электрический двигатель; 6-гидромотор; 7 - фильтр; 8- расходомеры; 9- манометры; 10- бак ( $Q_1$  – расход в напорной магистрали насоса;  $Q_2$  – расход на сливе клапана;  $Q_3$ - расход на входе в гидромотор;  $Q_4$ - расход на сливе гидромотора;  $P_1$ - давление в напорной магистрали насоса;  $P_2$  - давление на входе в гидромотор;  $P_3$ - давление на сливе гидромотора;  $n_1$ - частота вращения вала насоса;  $n_2$ - частота вращения вала гидромотора); 11- тормозное устройство.

По полученным значениям рассчитывали коэффициент подачи насоса:

$$\Psi = \frac{1000 \cdot Q_1}{V_n \cdot n_1}, \quad (1)$$

где  $V_n$  – рабочий объем насоса, для НП-90 составляет  $89 \text{ см}^3$ , для НП-112 составляет  $110,8 \text{ см}^3$ ,

и к.п.д. мотора:

$$\eta = \frac{V_m \cdot n_2}{1000 \cdot Q_3}, \quad (2)$$

где  $V_m$  – рабочий объем мотора, для МП-90 составляет  $89 \text{ см}^3$ , для МП-112 составляет  $110,8 \text{ см}^3$ .

Каждый комплект ГСТ проходил испытания по второму режиму не менее трех нагружений с расчетом среднего арифметического значения всех выше перечисленных параметров.

Объем выборки по изменению величин коэффициента подачи насосов и к.п.д. моторов был проверен на соответствие нормальному закону распределения по методике [14]. Среднеквадратическое абсолютное отклонения для  $\Psi$  и  $\eta$  рассчитывалось по формулам (3) и (4), а среднеквадратическое отклонения  $\sigma$  рассчитывалось по формулам (6)

и (7). Соответствие выборки нормальному закону распределения проверяли по выражению (5) [14]. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Среднеквадратическое абсолютное отклонение для коэффициента подачи  $\Psi$ :

$$CAO = \sum_{i=1}^N \frac{|\Psi_i - \Psi_{cp}|}{N}, \quad (3)$$

для к.п.д. мотора:

$$CAO = \sum_{i=1}^N \frac{|\eta_i - \eta_{cp}|}{N}, \quad (4)$$

где  $\Psi_i$  и  $\eta_i$  – текущее значение коэффициента подачи насоса и к.п.д. мотора;

$\Psi_{cp}$  и  $\eta_{cp}$  - среднее значение коэффициента подачи насоса и к.п.д. мотора;

$N$  - количество однотипных ГСТ- объем выборки.

Для выборки, имеющей нормальный закон распределения, справедливо выражение:

$$\left| \frac{CAO}{\sigma} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{N}}, \quad (5)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение, определяемое по формуле:

- для коэффициента подачи насоса:

$$\sigma_{\Psi} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Psi_i - \Psi_{cp})^2}, \quad (6)$$

- для к.п.д. мотора:

$$\sigma_{\eta} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\eta_i - \eta_{cp})^2}. \quad (7)$$

Таблица 1

Результаты расчетов по проверке на соответствие выборки нормальному закону распределения насосов и моторов поступивших в ремонт

Агрегат	среднее значение $\Delta\Psi$ , % $\Delta\eta$ , %	CAO	$\sigma$	$\frac{CAO}{\sigma} - 0,7979$	$\frac{0,4}{\sqrt{N}}$
НП-90	22,0	2,04	2,41	0,048	0,061
НП-112	22,43	2,06	2,36	0,074	0,091
МП-90	21,87	2,03	2,37	0,058	0,061
МП-112	22,35	2,05	2,35	0,074	0,091

### Результаты исследований

Анализируя значения, приведенные в таблице 1, можно сделать вывод, что представленные выборки испытаний соответствуют нормальному закону распределения. Коэффициент вариации для всех значений выборки составил 0,16.

Однородность и воспроизводимость значений от испытания к испытанию ГСТ на стенде оценивали по величине критерия Кохрена. Используя данные стендовых испытаний были получены следующие значения критерия Кохрена:

- для коэффициента подачи НП-90,  $G_p=0,011$ ;
- для коэффициента подачи НП-112,  $G_p=0,012$ ;
- для к.п.д. МП-90,  $G_p=0,011$ ;

- для к.п.д. МП-112,  $G_p=0,012$ .

Для количества сравниваемых дисперсий равных 43, для ГСТ-90 и равных 19 для ГСТ-112 и количестве опытов  $N=129$ , для ГСТ-90 и  $N=57$ , для ГСТ-112 соответственно,  $G_{табл}=0,0165$ , при доверительной вероятности  $q=0,90$ .

$$G_p < G_{табл}, \quad (8)$$

где  $G_{табл}$  – табличное значение критерия Кохрена при заданной доверительной вероятности  $q = 0,90$ .

Следовательно, условие (8) выполняется, значения выборки однородны и воспроизводимы.

Количество  $N$  однотипных комплектов ГСТ, которые дают необходимую достоверность и воспроизводимость результатов и являются достаточным для проведения дальнейших стендовых и эксплуатационных испытаний определим согласно таблиц рекомендаций [13].

Для доверительной вероятности  $q=0,90$ , относительной ошибке  $\varepsilon=0,05$  и коэффициенте вариации  $\nu=0,15$  по таблице 5 из [13] определяем количество  $N=13$ .

В дальнейших исследованиях при разработке методике и технологии диагностирования необходимо испытывать не менее 13 комплектов ГСТ для получения достоверной информации.

После выполнения капитального ремонта на ремонтном предприятии были в случайном порядке выбраны по 13 комплектов ГСТ-90 и ГСТ-112, которые устанавливались на стенд для испытаний по методике, изложенной выше.

Объем выборки значений коэффициентов подачи  $\Psi$  и к.п.д.  $\eta$  для насосов и моторов, которые прошли капитальный ремонт на ремонтном предприятии, был проверен на соответствие нормальному закону распределения по изложенной выше методике. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов по проверке на соответствие выборки нормальному закону распределения насосов и моторов после ремонта

Агрегат	среднее значение $\Psi, \eta$	CAO	$\sigma$	$\frac{CAO}{\sigma} - 0,7979$	$\frac{0,4}{\sqrt{N}}$
НП-90	0,92	0,0138	0,0164	0,043	0,064
НП-112	0,92	0,0138	0,0164	0,043	0,064
МП-90	0,94	0,0138	0,0164	0,043	0,064
МП-112	0,94	0,0138	0,0164	0,043	0,064

Сравнение результатов таблице 2 позволяет сделать вывод, что представленные выборки соответствуют нормальному закону распределения.

Однородность и воспроизводимость результатов испытаний насосов и моторов, прошедших ремонт оценивали по величине критерия Кохрена. На основании экспериментальных данных были получены значения критерия Кохрена для коэффициентов подачи насосов и к.п.д. моторов  $G_p=0,0769$ .

Для количества сравниваемых дисперсий равных 13 и количества опытов  $N=39$ , табличное значение  $G_{табл}=0,0816$ , при доверительной вероятности  $q=0,9$ .

Следовательно, условие (8) выполняется, значения выборки однородны и воспроизводимы.

Во время стендовых испытаний по второму режиму с трехкратным нагружением

и выходом на установившийся режим регистрировали все перечисленные выше параметры. Характер изменения диагностических признаков в процессе эксперимента для насосов НП-90 представлены на рис. 2, а для насосов НП-112, на рис.3.

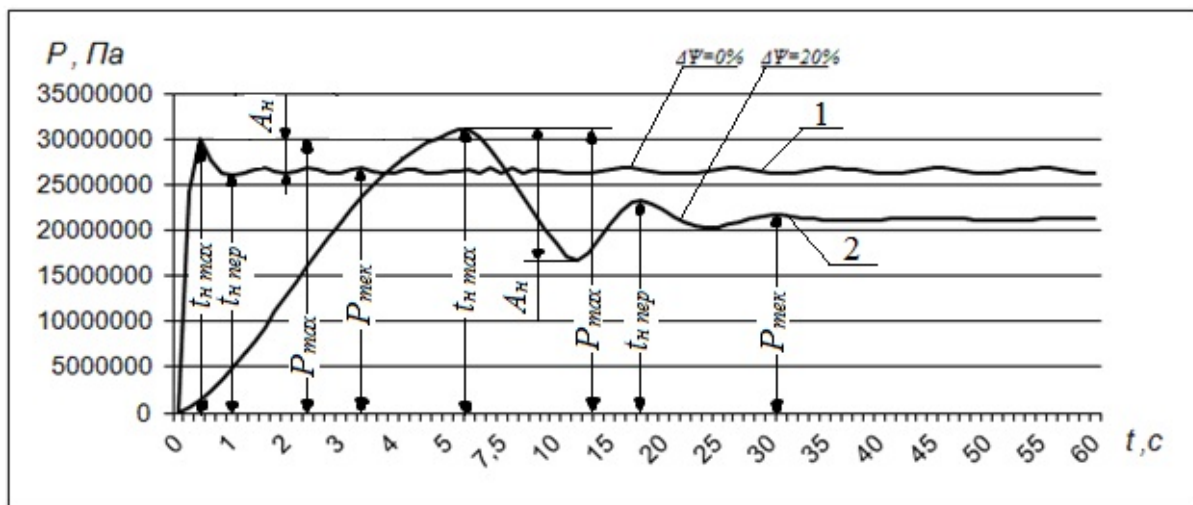


Рис. 2. Характер изменения диагностических признаков насоса НП-90 для различных значений уменьшения коэффициента подачи  $\Delta\Psi$ , %: 1 – после ремонта; 2 – поступившие в ремонт

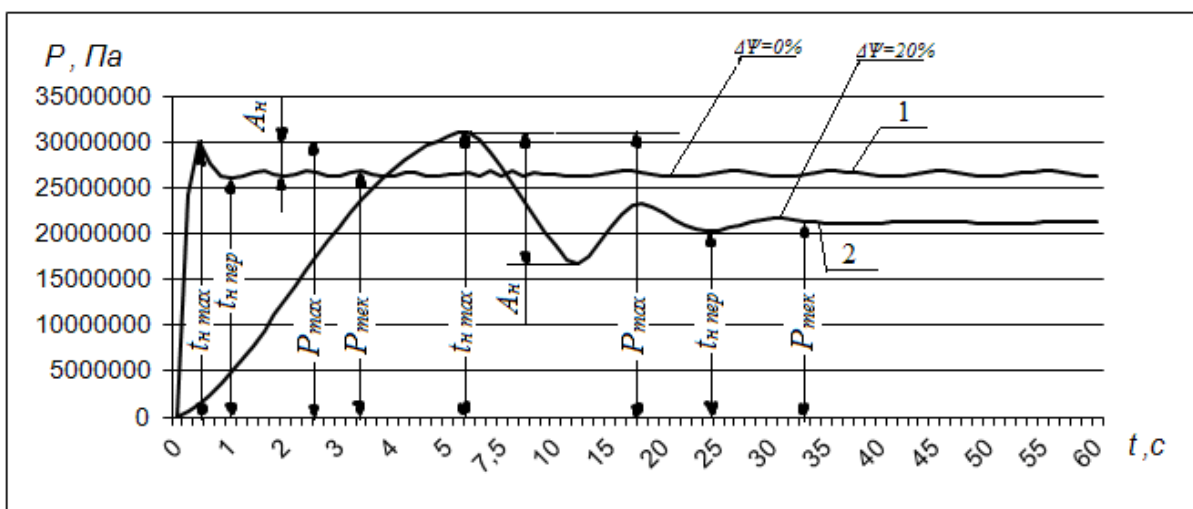


Рис. 3. Характер изменения диагностических признаков насоса НП-112 для различных значений уменьшения коэффициента подачи  $\Delta\Psi$ , %: 1 – после ремонта; 2 – поступившие в ремонт

Аналогичные кривые изменения диагностических признаков во время переходного процесса для моторов МП-90 представлены на рис.4, а для МП-112, на рис.5.

Первая кривая соответствует насосам и моторам, которые прошли капитальный ремонт, следовательно,  $\Delta\Psi=0$  и  $\Delta\eta=0$ . Вторая кривая соответствует насосам и моторам снятых с эксплуатации и поступившим в ремонт, следовательно  $\Delta\Psi=20\%$  и  $\Delta\eta=20\%$ .

Необходимо отметить, что на графиках 2-5 приведены среднестатистические характеристики, которые получены при испытаниях 13 комплектов насосов и моторов.

Полученные экспериментальные значения диагностических признаков позволили рассчитать:

- среднее значения контролируемых параметров;
- среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра;
- коэффициент вариации контролируемого параметра;
- мера точности контролируемого параметра, формула (9).

$$M_T = \frac{1}{\sigma\sqrt{2}}, \quad (9)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение измеряемого диагностического признака.

Таблица 3

Статистические характеристики диагностических признаков НП-90,112 поступивших в ремонт

N n/n	Диагностический признак	Среднее значение, $\bar{x}$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$	Коэффициент вариации, $v$	Мера точности $M_T$
1	$t_{н\ пер}, c$	27,4	6,02	0,22	0,117
2	$A_n, МПа$	14,5	4,93	0,34	0,143
3	$P_{тек}, МПа$	21	3,78	0,18	0,187
4	$P_{max}, МПа$	32	2,88	0,09	0,246
5	$t_{н\ max}, c$	5,4	0,648	0,12	1,09
6	$\dot{P}, МПа/c$	5,92	-	-	-

Для насосов НП-90,112 поступивших в ремонт результаты расчетов представлены в таблице 3, а прошедших ремонт в таблице 4.

Для моторов МП-90,112 поступивших в ремонт результаты расчетов представлены в таблице 5, прошедших ремонт в таблице 6.

МП – 90

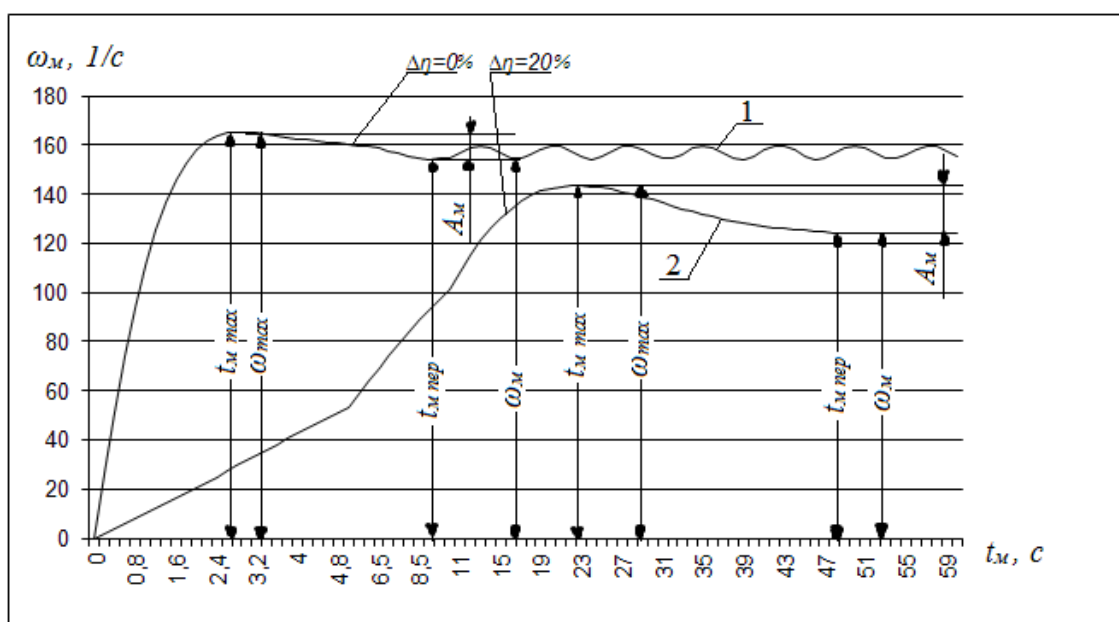


Рис. 4. Характер изменения диагностических признаков мотора МП-90 для различных значений уменьшения к.п.д.  $\Delta\eta$ , %: 1 – после ремонта; 2 – поступившие в ремонт

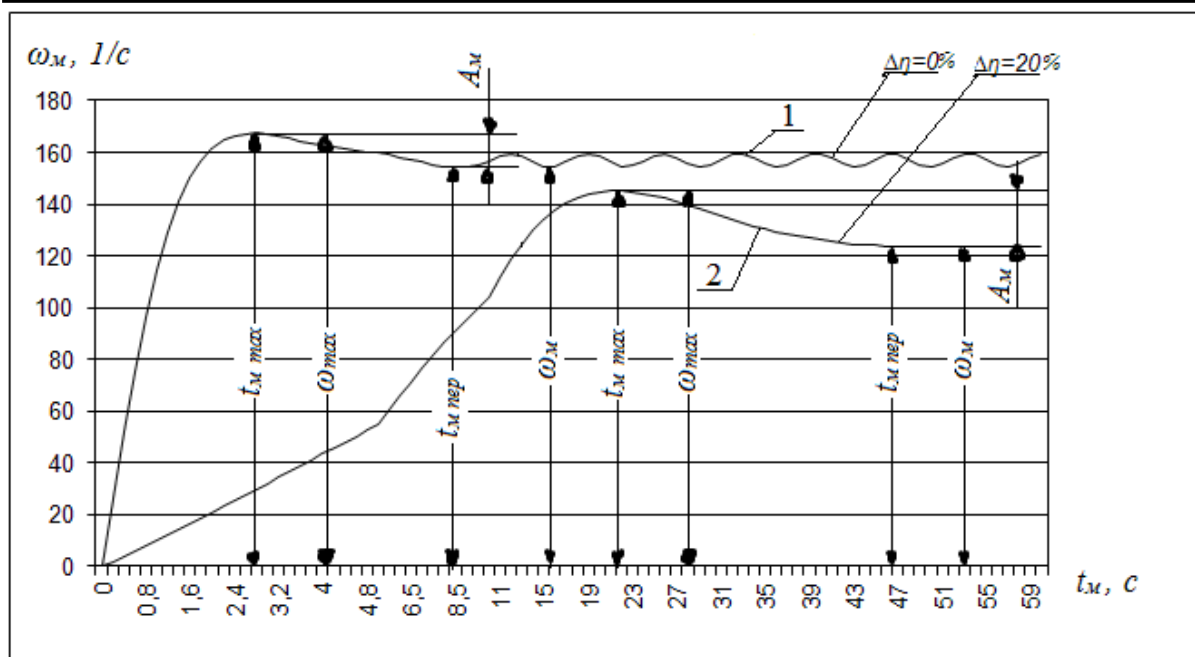


Рис. 5. Характер изменения диагностических признаков мотора МП-112 для различных значений уменьшения к.п.д.  $\Delta\eta$ , %: 1 – после ремонта; 2 – поступившие в ремонт

Таблица 4

Статистические характеристики диагностических признаков НП-90,112 прошедших капитальный ремонт

N п/н	Диагностический признак	Среднее значение, $\bar{x}$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$	Коэффициент вариации, $v$	Мера точности $M_T$
1	$t_{н\ пер}$ , с	1,2	0,24	0,20	2,95
2	$A_n$ , МПа	5,1	1,63	0,32	0,436
3	$P_{тек}$ , МПа	26,5	4,5	0,17	0,157
4	$P_{max}$ , МПа	32	1,6	0,05	0,444
5	$t_{н\ max}$ , с	0,46	0,055	0,12	12,98
6	$\dot{P}$ , МПа/с	69,5	-	-	-

Таблица 5

Статистические характеристики диагностических признаков МП-90,112 поступивших в ремонт

N п/н	Диагностический признак	Среднее значение, $\bar{x}$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$	Коэффициент вариации, $v$	Мера точности $M_T$
1	$t_{м\ пер}$ , с	46,6	11,65	0,25	0,060
2	$A_m$ , 1/c	15,6	9,04	0,58	0,078
3	$\omega_m$ , 1/c	122,4	24,48	0,20	0,028
4	$\omega_{max}$ , 1/c	142,7	8,56	0,06	0,082
5	$t_{м\ max}$ , с	22,3	1,57	0,07	0,452
6	$\dot{\omega}_m$ , 1/c <sup>2</sup>	6,48	-	-	-



Таблица 6

Статистические характеристики диагностических признаков МП-90,112 прошедших капитальный ремонт

$N$ $n/n$	Диагностический признак	Среднее значение, $\bar{x}$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$	Коэффициент вариации, $v$	Мера точности $M_T$
1	$t_{м пер}, c$	4,8	0,96	0,20	0,74
2	$A_m, 1/c$	12,1	5,56	0,46	0,127
3	$\omega_m, 1/c$	159,3	27,08	0,17	0,026
4	$\omega_{max}, 1/c$	164,4	11,5	0,07	0,061
5	$t_{м max}, c$	2,6	0,16	0,06	4,54
6	$\dot{\omega}_m, 1/c^2$	63,2	-	-	-

Анализ значений статистических характеристик, рассчитанных по результатам испытаний насосов НП-90,112, позволяет сделать вывод, что минимальные значения коэффициента вариации для насосов, поступивших в ремонт имеют два диагностических признака (таблица 3): величина максимального давления во время переходного процесса  $P_{max}$  и время, когда давления достигает максимума  $t_{н max}$ . Коэффициент вариации для указанных выше параметров составляет 0,09 и 0,12 соответственно. Данным диагностическим признакам также соответствуют максимальные значения меры точности, 0,246 и 1,09. Это подтверждает правильность теоретических выводов [12] по обоснованию диагностических признаков. Частное выбранных параметров:

$$\dot{P} = P_{max}/t_{н max}, 1/c, \quad (10)$$

обеспечит оценку снижения коэффициента подачи насосов в эксплуатации с минимальными коэффициентами вариации и максимальной точности измерений.

Данный вывод не совпадает с результатами испытаний насосов, прошедших капитальный ремонт, т.е. насосов у которых коэффициент подачи имеет номинальное значения, т.е.  $\Delta\Psi=0$ , таблица 4. На второе место по значимости вместо  $t_{н max}$  выходит параметр  $t_{н пер}$ , но при этом минимальные значения коэффициентов вариации остаются у  $P_{max}$  и  $t_{н max}$ . Учитывая то, что диагностические признаки разрабатываются для диагностирования насосов в эксплуатации при  $\Delta\Psi>0$ , выбирается параметр  $\dot{P}$ , формула (10).

Анализ значений статических характеристик, рассчитанных по результатам испытаний моторов МП-90,112 (таблицы 5 и 6), позволяет сделать следующие выводы.

Минимальные значения коэффициентов вариации соответствуют максимальной угловой частоте вращения ротора мотора во время переходного процесса  $\omega_{max}$  и времени, когда угловая частота вращения ротора мотора достигает максимума  $t_{м max}$ . Данным диагностическим признакам соответствуют и максимальные значения меры точности, таблица 5. Это подтверждает правильность теоретических выводов [12] по обоснованию диагностических признаков. Частное выбранных параметров:

$$\dot{\omega}_m = \omega_{max}/t_{м max}, 1/c^2, \quad (11)$$

обеспечит оценку снижению к.п.д. мотора в эксплуатации с минимальными коэффициентами вариации и максимальной точностью измерений.

Данный вывод также не соответствует результатам испытаний моторов, прошедших капитальный ремонт, таблица 6. Для таких моторов, при  $\Delta\eta=0$ , наиболее информативными признаками являются  $\omega_{max}$  и  $t_{м пер}$ . Однако для оценки снижения к.п.д. моторов в эксплуатации, при  $\Delta\eta>0$ , выбирается параметр  $\dot{\omega}_m$ , формула (11).

### Выводы

1. Экспериментальные стендовые испытания комплектов ГСТ-90,112 снятых с эксплуатации и поступивших в ремонт, а также прошедших капитальный ремонт показали, что распределения величин коэффициентов подачи насосов и к.п.д. моторов подчиняются нормальному закону распределения. Установлено минимальное значение комплектов ГСТ, равное 13, которое обеспечивает достоверность и воспроизводимость результатов испытаний.

2. Экспериментальными испытаниями подтверждены диагностические признаки технического состояния ГСТ-90,112 в эксплуатации:  $P_{max}$  – величина максимального давления за насосом во время переходного процесса под нагрузкой;  $t_{n\ max}$  – время, когда давление за насосом во время переходного процесса достигает максимума;  $\omega_m$  – величина максимальной угловой частоты вращения ротора гидромотора во время переходного процесса, когда вал гидромотора нагружен номинальным крутящим моментом;  $t_{m\ max}$  – время, когда угловая частота вращения ротора гидромотора достигает максимума. Установлено, что скорость увеличения давления за насосом  $\dot{P}$  и скорость увеличения угловой частоты вращения ротора мотора под нагрузкой  $\dot{\omega}_m$  обеспечивают минимальный коэффициент вариации и максимальную меру точности во время диагностирования.

### Литература

1. Горбатов В.В. Аналіз впливу зміни технічного стану гідроприводів циклічної дії сільськогосподарських машин на перевитрати палива / Вісник ХНТУСГ, 2009. – Вип. 80. – с. 315-321.
2. ДСТУ 2193-93 Гідроприводи об'ємні. Насоси об'ємні та гідромотори. Загальні технічні умови.
3. Галин Д.А. Анализ технического состояния гидростатической трансмиссии ГСТ-90 // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: Сб. науч. тр. Морд. гос. ун-т им. Н.П. Огарева. – Саранск: «Красн. Окт.». – с. 117-120.
4. Башта Т.М. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т.М. Башта, Т.В. Алексеева, В.Д. Бабанская. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
5. Колганов Е.В. Обґрунтування інформативних діагностичних параметрів технічного стану об'ємного гідроприводу трансмісії ГСТ-90 / Вісник Дніпропетровського ДАУ, 2009. – № 2. – с. 71-74.
6. Романюк А.М., Романюк Ю.А. Тепловой баланс гидроприводов и определение их основных теплотехнических параметров / Науковий вісник Національного аграрного університету. – Київ: - 2004, – вип. 73, частина 2, с.274-278.
7. Романюк А.М., Романюк Ю.А. Анализ неустойчившегося температурного режима гидропривода / Науковий вісник Національного аграрного університету. – Київ: - 2005, – вип. 80, частина 12, с.227-232.
8. Кравчук В., Горбатов В. Методика визначення перевитрат палива при зміні технічного стану гідроприводів сільськогосподарських машин /MOTROL, LUBLIN, 2009, Vol. 11A, с. 239-246.
9. Волков А.В., Мищенко В.Ю. Методика испытаний по определению компонентов объемных потерь блоков питания / Электронный журнал “Труды МАИ”, вып.69,с. 100-110.
10. Бойко И. Г., Войтов А. В., Войтов В. А. Структурная идентификация математической модели диагностирования объемного гидропривода ГСТ-90,112 / Науковий вісник

Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК – К., 2015. – Вип. 226, с.124-132.

11. Войтов А. В., Бойко И. Г. Параметрическая идентификация динамической модели переходных процессов в поршневых гидронасосах и гидромоторах / Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. –Харків: ХНТУСГ, - 2015. – Вип. 3, с. 105-117.
12. Войтов А. В. Моделирование динамики переходных процессов и обоснования диагностических параметров технического состояния объемного гидропривода ГСТ-90,112 / Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. –Харків: ХНТУСГ, - 2016. – Вип. 4, с. 101-112.
13. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. -М.: Стандартинформ,1990.
14. Зажигает Л.С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента/Л.С. Зажигает, А.А. Кишьян, Ю.И. Романиков. – М.: Автоиздат, 1978. – 232 с.

### Summary

**Voitov A.V., Bojko I.G.** Rationale diagnostic signs of the technical condition of the hydrostatic drive HST-90,112

*Experimentally substantiated diagnostic features, which include the rate of increase in the pressure behind pump  $\dot{P}$ , Pa/s and increase the angular speed of the rotor motor speed under load. Experimentally, during bench testing, the selection of said validated diagnostic features. The coefficients of variation and the values of accuracy measures are allowed to confirm that the determining technical condition HST-90,112 during the operation is necessary to control: the value of the maximum pressure behind pump during the transition process  $P_{max}$  when the motor shaft braked nominal torque; time when the pressure of the pump during the transient load reaches maximum  $t_{h\ max}$ , s; the value of maximum angular speed of the rotor of the hydraulic motor during the transient  $\omega_{max}$ , 1 / s when the motor shaft braked nominal torque; time when the angular speed of the rotor of the hydraulic motor reaches maximum  $t_{M\ max}$ , s.*

**Keywords:** hydraulic drive; diagnostics; diagnostic signs; piston engine; piston pump; pump flow rate; efficiency motor; the rate of increase of the motor angular speed of the rotor; the rate of increase a pressure behind pump; transient processes.

### References

1. V. Gorbatov Analysis of the impact of changes in the technical state of cyclic action hydraulic agricultural machinery for over run fuel/ Bulletin HNTUSG, 2009. - №80- p.315-321.
2. DSTU 2193-93 Hydraulic volume. Capacity pump sand motors. General specifications.
3. Galin D.A. Analysis of the technical state of the hydrostatic transmission HST-90 // Increasing the efficiency of mechanical and energy systems: Coll. scientific. tr. Mord. state. Univ them. N.P. Ogarev. - Saransk: "Red. October. ". - from. 117-120.
4. Basta T.M. Technical diagnostics of hydraulic drives / T.M. Basta, T.V. Alekseev, V.D. Babanskaya. - М.: Engineering, 1989. - 264 p.
5. Kolganov E.V. Justification in formative diagnostic parameters of technical condition of capacity hydraulic transmission HST-90 / Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian University, 2009. - № 2. - p.71-74.

6. Romanyuk A.M., Yuri Romanyuk The heat balance of hydraulic drives and determine their basic thermal parameters / News National science agrarian university. - Singapore: - 2004 - № 73 Part 2, p. 274-278.
7. Romanyuk A.M., Yuri Romanyuk. Analysis of unsteady temperature hydraulic drive / News National science agrarian university. - Singapore: - 2005 - № 80 Part 12, p. 227-232.
8. V. Kravchuk, Gorbatov B. Method for determining fuel consumption by changing the technical condition of hydraulic agricultural machinery/ MOTROL, LUBLIN,2009, №11A, с.239-246.
9. Volkov A.V. Mishchenko V.Y. Test method to determine the components of volumetric loss power supplies / Electronic journal "Proceedings of the MAI" №69, с. 100-110.
10. Boiko I.G., Voitov A.V., Vojtov V.A. Structural identification of the mathematical model of diagnostic capacity hydraulic drive HST-90.112/ Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series:APC equipment and energy-K.,2015.- №226, p. 124-132.
11. Voitov A.V., Boiko I.G. Parametric identification dynamic model of transient processes in piston pumps and hydraulic motors / Technical service the agricultural, forestry and transport systems. -Kharkiv: HNTUSG - 2015. -№ 3, p. 105-117.
12. Voitov A.V. Modeling of the dynamics transient processes and validation diagnostic parameters of the technical condition of the capacity hydraulic drive HST-90, 112. / Technical service the agricultural, forestry and transport systems. -Kharkiv: HNTUSG - 2016. -№ 4, p. 101-112.
13. RD 50-690-89. Methodical instructions. The reliability of the technique. Methods for assessing the reliability of indicators based on experimental data. -M .: Standartinform, 1990.
14. Zazhigaev L.S. Methods of planning and processing results of physical experiments / LS. Zazhigaev, A.A. Kishyan, Y.I. Romanik. - M .: Avtomizdat, 1978. - 232 p.