

ВПЛИВ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІДРОПРИВОДУ НА ЧУТЛИВІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ

Шушляпін С.В., к.т.н., доц., Косенко С.Г. магістр

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

Лебедєв С.А., к.т.н.

Харківська філія УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого

Дана оцінка впливу технічного стану гідроприводу на чутливість параметрів перехідного процесу по зміні технічного стану агрегатів гідроприводу.

Вступ. Ефективність використання тракторів загального призначення з коробкою передач, яка дозволяє змінювати швидкість руху без зупинки трактора за рахунок роботи гідроприводу коробки передач, значною мірою залежить від технічного стану гідроприводу взагалі, так і технічного стану гідроагрегатів, які входять до складу гідроприводу. У зв'язку з цим дослідження впливу зміни технічного стану гідроприводу на чутливість параметрів перехідного процесу є актуальними для тракторної енергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження гідроприводу присвячено велика кількість навчальних, монографічних і періодичних публікацій. Це перш за все роботи Башти Т.М. [3], Гаминіна Н.С. [4], Прокоф'єва В.Н. [5], Попова Д.Н. [6] і ін. Дослідження по вдосконаленню гідроприводу коробки передач трактора з перемиканням без розриву потоку потужності виконані Львівським К.Я [7] і Солонським А.С. [1], які вирішили в основному задачі конструктивного удосконалення гідроприводів, зокрема ними обґрунтований оптимальний тиск робочої рідини, її температурний режим, номінальна потужність і ін.

Проте питання визначення впливу зміни параметрів, що характеризують технічний стан вузлів і агрегатів гідроприводу коробки передач взагалі та зміна їх в процесі експлуатації, на процес перемикання передач недостатньо висвітлені в літературі. В той же час відомо [1], що зі збільшенням тривалості експлуатації трактора порушується стабільність процесу перемикання передач. Вихід технічного стану гідроагрегатів із заданих меж призводить до аварійного зносу деталей трансмісії або повного розриву потоку потужності, що супроводжується зупинкою трактора, при перемиканні передач та збільшенням роботи буксування дисків гідропідтискних муфт.

Мета дослідження. Дослідженнями встановлено [1, 3], що мінімальне значення тиску рідини, при якому процес розгону протікає нормально, знаходиться в межах 0,51-0,53 МПа. Проте, при даних значеннях тиску в гідроприводі коробки передач відсутня зарядка гідроаккумулятора і він

практично вимикається з роботи. Мінімальне граничне значення тиску рідини гідроприводу коробки передач слід розглядати за умови величини перекриття передач і розриву потоку потужності. Дані питання досліджені Львівським К.Я [7], Ксеневичем І.П. і Солонським А.С. [1], які в своїх висновках і пропозиціях дали рекомендації по вибору способу перемикання передач, обґрунтували конструктивні особливості механізмів перемикання і можливості їх застосування на сільськогосподарських тракторах. Проте, в даних роботах не відображені питання впливу зміни технічного стану гідроагрегатів на чутливість перехідного процесу.

Вирішення задачі. В основу методу діагностики гідроприводів покладені основні положення теорії чутливості динамічних систем до зміни параметрів стану [8, 9], дана теорія чутливості отримала подальший розвиток у напрямі можливості її застосування для динамічних систем з перехідними процесами, акцентованими в часі.

Параметри перехідного процесу гідроприводу трактора, що знаходиться в експлуатації, завжди відрізняються від його параметрів при номінальному технічному стані. Щоб з'ясувати, яким чином впливає зміна технічного стану гідроагрегатів на параметри перехідного процесу, необхідно проаналізувати вплив цих відхилень на функціонування гідроприводу. Перехідний процес гідроагрегатів, контурів і гідроприводу в цілому характеризується їх передавальними функціями $W(S, q_1, q_2, \dots, q_m)$, залежними від параметрів.

Якщо гідропривід при номінальному стані має параметри $q_i = q_{i0}$ ($i = 1, 2, \dots, m$), то гідропривід трактора, що знаходиться в експлуатації, матиме в порівнянні з номінальними параметрами деякі відхилення. В цьому випадку передавальна функція матиме відхилення в порівнянні з номінальним значенням:

$$\Delta W(S) = W(S, q_{i0} + \Delta q_i, \dots, q_{m0} + \Delta q_m) - W(S, q_{i0}, \dots, q_{m0}) \quad (1)$$

Вкажемо, що для визначення абсолютної чутливості $T_q^x(t)$ вихідного сигналу $x(t, q)$, наприклад, часу перехідного процесу гідроприводу коробки передач, можна користуватися співвідношенням

$$T_q^\infty(t) \leftarrow T_q^W(S) \cdot E(S), \quad (2)$$

де: $E(S)$ – зображення вхідного сигналу.

Вважатимемо, що абсолютна чутливість гідроприводу до зміни параметра q описується лінійним диференціальним рівнянням n -го порядку з постійними в часі коефіцієнтами, залежними від q

$$a_0(q)x^n + a_1(q)x^{n-1} + \dots + a_{n-1}(q)x^0 + a_n(q)x = y(t). \quad (3)$$

При номінальному значенні параметрів $q = q_0$ рівняння (3) записується у вигляді

$$a_0(q_0)x^n + a_1(q_0)x^{n-1} + \dots + a_{n-1}(q_0)x^0 + a_n(q_0)x = y(t). \quad (4)$$

При визначення абсолютної чутливості вихідного сигналу передбачується, що всі коефіцієнти $a_i(q)$ рівняння (3) являються аналітичними функціями параметра q в кружині точки $q = q_0$.

Виразимо вихідний сигнал $x(t, q)$ через передаточну функцію за допомогою зворотного перетворення Лапласа

$$x(t, q) = Z^{-1} \left[\frac{W(S, q)E(S)}{\rho} \right], \quad (5)$$

де: Z^{-1} – зворотне перетворення Лапласа

$$Z^{-1} f(\rho) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} f(\rho) e^{\rho t} d\rho. \quad (6)$$

У цьому випадку абсолютна чутливість гідроприводу до зміни параметрів гідроагрегатів записується у вигляді:

$$T_q^x(t) = \frac{\partial}{\partial q} \left[\frac{\partial W(S, q)}{\partial q} \right]_{q=q_0} \frac{E(S)}{S} = Z^{-1} \left[T_q^W(S) \frac{E(S)}{S} \right]. \quad (7)$$

Таким чином, якщо справедливо співвідношення (5), то зображення функції чутливості $T_q^x(t)$ визначається по зображенню вихідного сигналу $V(S, q) = W(S, q) \cdot E(S)$, минувши операцію переходу від $V(S, q)$ до оригіналу і подальшого диференціювання.

У табл. 1 наведеній функції абсолютної чутливості передавальних функцій гідроагрегатів до зміни параметрів, розрахованих по співвідношенню (6).

Для оцінки чутливості порожнин гідроприводу до зміни технічного стану гідроагрегатів необхідно виявити раціональний режим контролю і параметри порожнин контурів.

Характер зміни кривих тиску рідини в перехідному режимі оцінюється по передавальним функціям окремих гідроагрегатів і гідроприводу в цілому.

Допустимо, передавальна функція коробки передач при номінальному технічному стані гідроагрегатів $W(P, q_{10}, \dots, q_{m0})$, а при зміні їх технічного стану – $W'(P, q_1, \dots, q_m)$. Представимо приріст $\Delta W(P) = W'(P, q_1, \dots, q_m) - W(P, q_{10}, \dots, q_{m0})$

$$\Delta W(P) = \Delta W_1(P) + \Delta W_2(P), \quad (8)$$

де:

$$\Delta W_1(P) = W(P, q_1, \dots, q_m) - W(P, q_{10}, \dots, q_{m0}),$$

$$\Delta W_2(P) = W'(P, q_1, \dots, q_m) - W(P, q_1, \dots, q_m).$$

У виразі (8) перший доданок $\Delta W_1(P)$ характеризує зміну передавальної функції, яка викликана малими відхиленнями параметрів q_1, \dots, q_m від

початкових значень q_{10}, \dots, q_{m0} і визначається чутливістю до зміни параметрів q_i

$$\Delta W_1(P) = \sum_{i=1}^m \left. \frac{\partial W(P, q_1, \dots, q_m)}{\partial q_i} \right|_{\substack{q_1=q_{10} \\ \dots \\ q_m=q_{m0}}} \cdot \Delta q_i$$

$$(\Delta q_i = q_i - q_{i0})$$

Другий доданок $\Delta W_2(P)$ у виразі (8) характеризує зміну передавальної функції при кінцевих відхиленнях параметрів гідроагрегатів.

Таблиця 1 – Абсолютна чутливість $T_q^W(S)$ передавальних функцій $W(S)$ гідроагрегатів до зміни параметра q

Гідроагрегати	$T_q^W(S)$
Об'ємний насос витоки	$\frac{\partial W_H(S)}{\partial r_H} = (-1) \frac{T_{yH}S + 1}{(r_H T_{yH} T_{pH} S^2 + r_H T_{pH} S + 1)^2}$
інерційність витоків	$\frac{\partial W(S)}{\partial T_{yH}} = (-1) \frac{r_H S}{(r_H T_{yH} T_{pH} S^2 + r_H T_{pH} S + 1)^2}$
об'єм насоса	$\frac{\partial W(S)}{\partial T_{pH}} = (-1) \frac{r_H^2 (T_{yH} S + 1) S}{(r_H T_{yH} T_{pH} S^2 + r_H T_{pH} S + 1)^2}$
Переливний гідроклапан коефіцієнт підсилення	$\frac{\partial W_{r_k}(S)}{\partial K_3} = (-1) \frac{[(T_{\kappa}^2 + T_{\kappa 1})S + 1](T_f S + 1)}{[(bT_{\kappa}^2 + bT_{\kappa 1} + K_3 T_f)S + b + K_3]^2}$
витрата рідини	$\frac{\partial W_{r_k}(S)}{\partial T_f} = (-1) \frac{[(T_{\kappa}^2 + T_{\kappa 1})S + 1]K_3 S}{[(bT_{\kappa}^2 + bT_{\kappa 1} + K_3 T_f)S + b + K_3]^2}$
інерційність напору	$\frac{\partial W_{r_k}(S)}{\partial T_{\kappa}} = (-1) \frac{2T_{\kappa} S K_3 (T_f S + 1)}{[(bT_{\kappa}^2 + bT_{\kappa 1} + K_3 T_f)S + b + K_3]^2}$
Фільтр, гідродросьель перепад тиску	$\frac{\partial W_D(S)}{\partial P_{co}} = \frac{\rho Q_{yo} \sum \frac{\ell_i}{f_i} S}{\left(\rho Q_{yo} \sum \frac{\ell_i}{f_i} S + n P_{co} \right)}$

Несправності гідроприводу коробки передач визначаються пошкодженнями, які усуваються при технічному обслуговуванні, і відмовами, що усуваються при ремонті. При відмовах зміна вихідного сигналу параметрів перехідного процесу записується у вигляді

$$\Delta y(P) = x(P) [W'(P, q_1, \dots, q_m) - W(P, q_{10}, \dots, q_{m0})]. \quad (9)$$

Якщо відмовив гідроагрегат, що знаходиться в послідовному з'єднанні

гідроагрегатів, то передавальна функція відповідного контуру при справних $W(P)$ гідроагрегатах і за наявності тих, що відмовили $W'(P)$ відповідно запишеться по формулі Мезона у вигляді

$$W(P) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P)}{\Delta(P)}; \quad W'(P) = \frac{\sum_{i=1}^n P'_i(P) \cdot \Delta'_i(P)}{\Delta(P)},$$

де: $P_i(P), \Delta_i(P), \Delta(P)$ – передавальні функції i -го шляху, i -го мінора і визначника при справних гідроагрегатах контуру;
 $P'_i(P)$ – передавальна функція i -го шляху при відмові гідроагрегатів в контурі гідроприводу.

В цьому випадку вихідний сигнал $\Delta y(P)$ (9) при підстановці значень передавальних функцій $W(P)$ і $W'(P)$ записується у вигляді

$$\Delta y(P) = x(P) \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_{ik}(P) \cdot \Delta_i(P)}{\Delta(P)}, \quad (10)$$

де: $\Delta P_{ik}(P) = P'_{ik}(P) - P_{ik}(P)$ – зміна передавальній функції i -го контуру, що містить гідроагрегат, який відмовив;
 $P_{ik}(P), P'_{ik}(P)$ – передавальні функції i -го контуру, що містить гідроагрегат $K(P)$, до і після відмови.

Виразив $\Delta P_{ik}(P)$ через $K(P)$ отримаємо

$$\Delta y(P) = x(P) \frac{\frac{\Delta K(P)}{K(P)} \sum_{i=1}^n \Delta P_{ik}(P) \cdot \Delta_i(P)}{\Delta(P)}. \quad (12)$$

Якщо ж гідроагрегат, що відмовив, входить в контури, дотичні з прямим шляхом гідроприводу коробки передач, наприклад, при відмові переливного гідроклапана, то передавальна функція заданого контуру повністю і після відмови гідроагрегату відповідно запишеться у вигляді

$$W(P) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P)}{\Delta(P)}; \quad W'(P) = \frac{\sum_{i=1}^n P'_i(P) \cdot \Delta'_i(P)}{\Delta'(P)},$$

де: $\Delta'(P)$ – визначник контуру після відмови гідроагрегату.

Для даного випадку вихідний сигнал параметрів перехідного процесу контуру буде

$$\Delta y(P) = x(P) \cdot W(P) \frac{\frac{\Delta K(P)}{K(P)} \Delta_{\kappa}(P)}{\Delta'(P)}, \quad (13)$$

де: $\Delta_{\kappa}(P)$ – визначник до відмови, що містить тільки члени з $K(P)$.

За наявності пошкодження гідроагрегату, який необхідно визначити при діагностуванні гідроприводу коробки передач, аналіз чутливості може бути виконаний по виразу

$$T_{\kappa}^W(P) = T_{\kappa}^{\Sigma}(P) - T_{\kappa}^{\Delta}(P) \quad (14)$$

де: $T_{\kappa}^{\Sigma} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P) \right]_{\kappa}}{\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P)}$ – чутливість контурів з послідовним з'єднанням

гідроагрегатів;

$T_{\kappa}^{\Delta}(P) = \frac{\Delta_{\kappa}(P)}{\Delta(P)}$ – чутливість визначника графа гідроприводу коробки

передач.

Якщо ж гідроагрегат з пошкодженням $K(P)$ не входить ні в один з шляхів і контурів, не дотичних зі шляхами, наприклад, об'ємний насос гідроприводу коробки передач, то сума добутку шляхів на відповідний мінор $\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P)$ не буде мати членів, які містять $K(P)$ і $\left[P_i(P) \cdot \Delta_i(P) \right]_{\kappa} = 0$. Для даного випадку вираз буде у вигляді:

$$T_{\kappa}^W(P) = \frac{\left[\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P) \right]_{\kappa}}{\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P)} - T_{\kappa}^{\Delta}(P) = -T_{\kappa}^{\Delta}(P). \quad (15)$$

При пошкодженні гідроагрегату, що входить у всі шляхи графа сигналів гідроприводу коробки передач, наприклад, засміченні фільтру магістралі нагнітання, весь мінор визначника буде рівний одиниці і, крім того, $\left[\sum_{i=1}^n P_i(P) \right]_{\kappa} = \sum_{i=1}^n P_i(P)$, оскільки $K(P)$ входить у всі шляхи. В цьому випадку чутливість гідроприводу коробки передач до пошкодження гідроагрегату записується у вигляді:

$$\begin{aligned}
T_K^W(P) &= \frac{\left[\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P) \right]_K}{\sum_{i=1}^n P_i(P) \cdot \Delta_i(P)} - T_K^\Delta(P) = \\
&= \frac{\left[\sum_{i=1}^n P_i(P) \right]_K}{\sum_{i=1}^n P_i(P)} - \frac{\Delta_K(P)}{\Delta(P)} = 1 - \frac{\Delta_K(P)}{\Delta(P)} = \frac{\Delta_{ок}(P)}{\Delta(P)}, \quad (16)
\end{aligned}$$

де: $\Delta_{ок}(P) = \Delta(P) - \Delta_K(P)$ – визначник графа контурів гідроприводу коробки передач, в якому залишені тільки члени, що не містять $K(P)$.

Отримані співвідношення чутливості гідроприводу коробки передач, його контурів дають можливість оцінити вплив витоків рідини на чутливість контуру. Наприклад, для гідроприводу коробки передач в контурі передачі, що включається, найбільші витoki рідини із збільшенням напруцювання трактора має гідророзподільник перемикування передач.

Нормалізований граф даного контуру має один шлях і контур, передавальні функції яких відповідно рівні

$$\begin{aligned}
P(P) &= W_n(P) \cdot W_\phi(P) \cdot W_p(P) \cdot W_{цл}(P); \\
L(P) &= W_p(P) \cdot W_{цл}(P). \quad (17)
\end{aligned}$$

передавальна функція визначника графа контуру передачі (рис. 1), що включається, рівна

$$\Delta(P) = 1 - L(P) = 1 - W_p(P) \cdot W_{цл}(P).$$

Гідроагрегати з передавальними функціями $W_n(P)$, $W_\phi(P)$ і $W_{цл}(P)$ входять в єдиний шлях, але не входять в контур, тому функція чутливості даних гідроагрегатів до зміни передавальних функцій $W_n(P)$, $W_\phi(P)$ і $W_{цл}(P)$ відповідно рівні

$$T_{W_n}^W(P) = T_{W_\phi}^W(P) = T_{W_{цл}}^W(P) = 1.$$

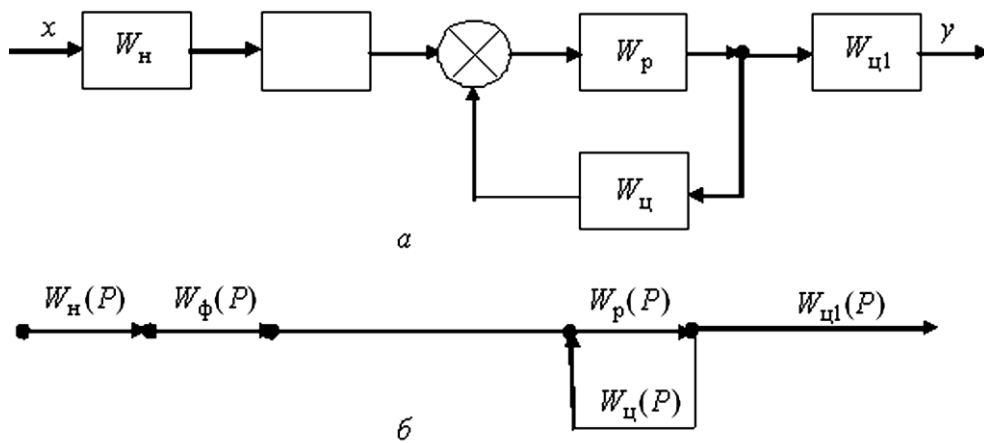


Рис. 1 – Структурна схема (а) і нормалізований граф (б) контуру передачі гідроприводу коробки передач, яка включається:

$W_n(P), W_\phi(P), W_p(P), W_{ц1}(P), W_ц(P)$ – передавальні функції об'ємного насоса, фільтру магістралі нагнітання, гідророзподільника перемикування передач, гідроциліндра передачі, що включається, зворотному зв'язку по витоках рідини з гідророзподільника

Гідророзподільник перемикування передач з передавальною функцією $W_p(P)$ входить в єдиний шлях графа, який стикається з контуром. Для визначення чутливості подібної системи справедливе співвідношення

$$T_{W_p}^W(P) = \frac{\Delta_{0W_2}(P)}{\Delta(P)} = \frac{1}{1 - W_p(P) \cdot W_ц(P)}, \quad (18)$$

де $\Delta_{0W_2}(P) = 1$, так як єдиним членом $\Delta(P)$, що не містить $W_p(P)$, є одиниця.

Таким чином, функція чутливості гідроагрегатів, у яких витокami рідини можна нехтувати, тотожна рівна одиниці. Гідроагрегати з витокami рідини, які є зворотним зв'язком гідроагрегату, можуть мати скільки завгодно малу функцію чутливості шляхом збільшення $|W_p(P) \cdot W_ц(P)|$.

Висновки. Теоретичні дослідження за оцінкою впливу технічного стану гідроагрегатів на параметри перехідного процесу дозволяють обґрунтувати новий спосіб діагностики, що дає можливість без демонтажу гідроагрегатів оцінити їх технічний стан з найбільшою точністю при мінімальному часі пошуку несправності.

Список використаних джерел

1. Ксенович, И.П. Проектирование универсально-пропашных тракторов [Текст] / И.П. Ксенович, Н.С. Солонский, С.М. Войчинский. – Мн.: Наука и техника, 1980. – 320 с.
2. Лебедев, А.Т. Гидропневматические приводы тракторных агрегатов [Текст] / А.Т. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с.
3. Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика [Текст]: Справочное

- пособие / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 671 с.
4. Гамынин, Н.С. Гидравлический привод систем управления [Текст] / Н.С. Гамынин. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.
 5. Садовский, Б.Д. Динамика гидропривода [Текст] / Б.Д. Садовский, В.Н. Прокофьев, В.К. Кутузов и др. / Под ред. В.Н. Прокофьева. – М.: Машиностроение, 1972. – 288 с.
 6. Попов, Д.Н. Динамика и регулирование гидропневмосистем [Текст] / Д.Н. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 424 с.
 7. Львовский, К.Я. Трансмиссии тракторов [Текст] / К.Я. Львовский, Ф.А. Черпак, И.Н. Серебряков, Н.А. Щельцин. – М.: Машиностроение, 1976. – 280 с.
 8. Быховский, М.Л. Чувствительность и динамическая точность систем управления [Текст] / М.Л. Быховский. – Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1964. – №6. – С. 113-123.
 9. Фельдбаум, А.А. Методы теории автоматического управления [Текст] / А.А. Фельдбаум, А.Г. Бутковский. – М.: Наука, 1971. – 722 с.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОПРИВОДА НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Шушляпин С., Косенко С., Лебедев С.

Дана оценка влияния технического состояния гидропривода на чувствительность параметров переходного процесса по изменению технического состояния агрегатов гидропривода.

Abstract

INFLUENCE OF CHANGE OF THE TECHNICAL STATE OF HYDRAULIC DRIVE ON THE SENSITIVENESS OF PARAMETERS OF TRANSITIONAL PROCESS

S. Shushlyapin, S. Kosenko, S. Lebedev

The estimation of influencing of the technical state of hydraulic drive is given on the sensitiveness of parameters of transitional process on the change of the technical state of aggregates of hydraulic drive.