

УДК 629.114.2

С. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, директор, ХФ УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого, Харків;

В. С. ШЕЙН, наук. співр., ХФ УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого, Харків;

М. П. АРТЬОМОВ, д-р техн. наук, ХНТУСГ ім. Петра Василенка, Харків;

І. В. КОЛЕСНИК, асп., ХНТУСГ ім. Петра Василенка, Харків

ВИЗНАЧАЛЬНИЙ ПАРАМЕТР СТАНУ ГІДРООБ'ЄМНОГО РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ТРАКТОРА

Систематизовані несправності і відмови гід्रोоб'ємного рульового керування трактора. Аналізуються несправності і відмови гід्रोоб'ємного рульового керування тракторів за результатами аналізу їх працездатності. Обґрунтовується методологія оцінки найбільш значимого (визначального) параметра стану гідрооб'ємного рульового керування. Доказано, що зниження тиску рідини нижче ТУ є визначальним параметром стану гідроприводу рульового керування. Оцінюються гранично допустимі значення визначального параметра стану.

Ключові слова: трактор, рульове керування, гідропривід, відмови, визначальний параметр.

Вступ. Рульове керування трактора є одним з основних елементів, що визначають безпеку його руху. Гідрооб'ємне рульове керування (ГОРК), що встановлюється на всіх колісних тракторах середньої і підвищеної потужності, надає можливість вільного компоновання його основних агрегатів, спрощує їх конструкцію і експлуатацію, знижує матеріалоємність трактора і поліпшує умови роботи тракториста. Разом з тим, враховуючи, що ГОРК являє собою суто гідравлічну передачу з гнучкими з'єднувальними трубопроводами (шлангами) відносно високого тиску, менш надійними в експлуатації ніж механічні тяги, це вимагає підвищеної уваги до надійності і безпеки в експлуатації цього керування. Тобто актуальним завданням є обґрунтування визначального параметра стану ГОРК, найбільш значимого під час оцінки його працездатності.

Аналіз основних досягнень і літератури. Аналіз працездатності [1, 2] мобільних машин показав, що на долю відмов рульового керування за показниками безпеки приходить до 35% відмов, визначення яких в умовах експлуатації ускладнене через недосконалість відомих методів і засобів діагностування. При обґрунтуванні визначального параметра стану складних механічних систем, до яких може бути віднесено ГОРК, ефективна методика визначення найбільшої діагностичної ваги [3] функціональних параметрів стану системи. Визначальний параметр стану гідроприводу трактора зазвичай є основою алгоритмів оцінки їх працездатності [4, 5].

Мета дослідження передбачає обґрунтування методології оцінки найбільш значимого (визначального) параметра технічного стану гідрооб'ємного рульового керування трактора.

Для реалізації цієї мети розв'язуються наступні завдання:

- аналізуються несправності і відмови гідрооб'ємного рульового керування тракторів серії ХТЗ-170 за результатами аналізу їх працездатності;
- обґрунтовується методологія оцінки найбільш значимого (визначального) параметра стану гідрооб'ємного рульового керування;
- оцінюються гранично допустимі значення визначального параметра стану.

Результати досліджень. У гідрооб'ємному рульовому керуванні (рис. 1) відсутній механічний зв'язок між рульовим і керованими колесами. Вони зв'язані між собою гідравлічно.

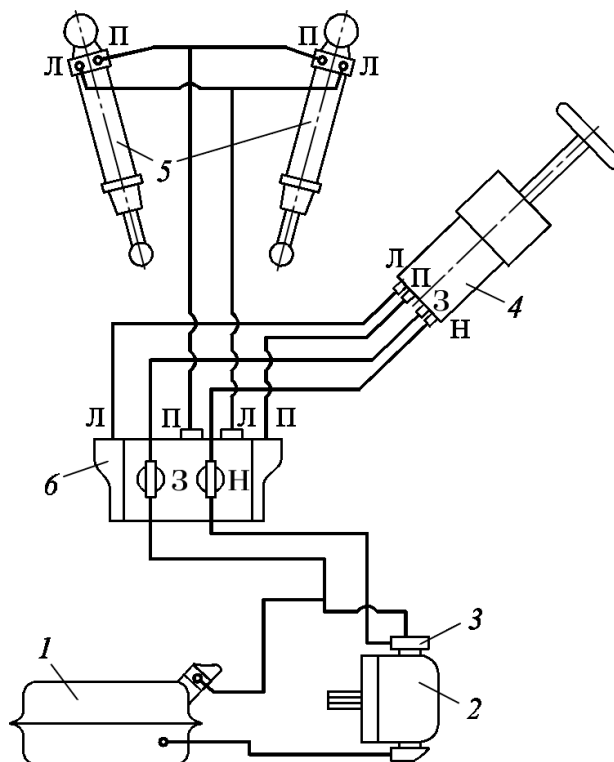


Рисунок 1 – Схема гідрооб'ємного рульового керування:

- 1 – бак; 2 – об'ємний насос; 3 – запобіжний клапан; 4 – насос-дозатор;
 5 – гідроциліндр; б – підсилювач потоку; Н – нагнітання;
 З – злив; П – поворот вправо; Л – поворот вліво

При виготовленні, експлуатації і зберіганні складних механічних систем, до яких відноситься гідрооб'ємне рульове керування (ГОРК) трактора, необхідно володіти мінімальною кількістю параметрів системи, що найбільш повно відображають її технічний стан. У загальному випадку це ГОРК має безліч параметрів, обумовлені допусками на проектування і виготовлення, так і його несправностями, виявленими під час експлуатації. Однак, серед безлічі параметрів стану можуть бути обрані функціональні параметри, які у більшій мірі оцінюють працездатність ГОРК в експлуатації. Будемо надалі подібні параметри вважати визначальними, при виборі яких скористаємося методикою визначення найбільшого діагностичної ваги [3] функціональних параметрів стану. Згідно даної методики оцінка діагностичної цінності кожного параметра виконується по співвідношенню

$$Z_{D_i}(K_{js}) = \log \left[\frac{P(K_{js}/D_i)}{P(K_{js})} \right], \quad (1)$$

а цінність перевірки працездатності за обраними параметрами для одного стану

$$Z_{D_i}(K_j) = \sum_{s=1}^m P(K_{js}/D_i) \cdot Z_{oi}(K_{js}), \quad (2)$$

де $P(K_{js}/D_i)$ – імовірність появи значення K_{js} ознаки K_j для ГОРК із станом D_i ;

$P(K_{js})$ – імовірність появи значення K_{js} для всієї сукупності станів.

Для ГОРК за матеріалами аналізу працездатності в рядовій експлуатації 5-ти тракторів серії ХТЗ-170 при напрацюванні до 6000 мотогодин були виявлені 26 несправностей і відмов: зниження тиску рідини в гідроприводі (ТР) нижче значень, що передбачені технічними умовами (ТУ); засмічення гідроприводу (ЗГ); автоколювання і ривки (АР); порушення регулювань (ПР) та інші несправності (ІН), до яких віднесені механічні пошкодження, підтікання робочої рідини, викид рідини та піни крізь сапун бака і т.д. Несправності і відмови розподілені по агрегатах ГОРК: об'ємний насос (ОН), насос-дозатор (НД), підсилювач потоку (ПП), гідроциліндри (ГЦ) та інші агрегати (ІА), до яких віднесені трубопроводи, зворотні клапани і т.д. (рис. 2).

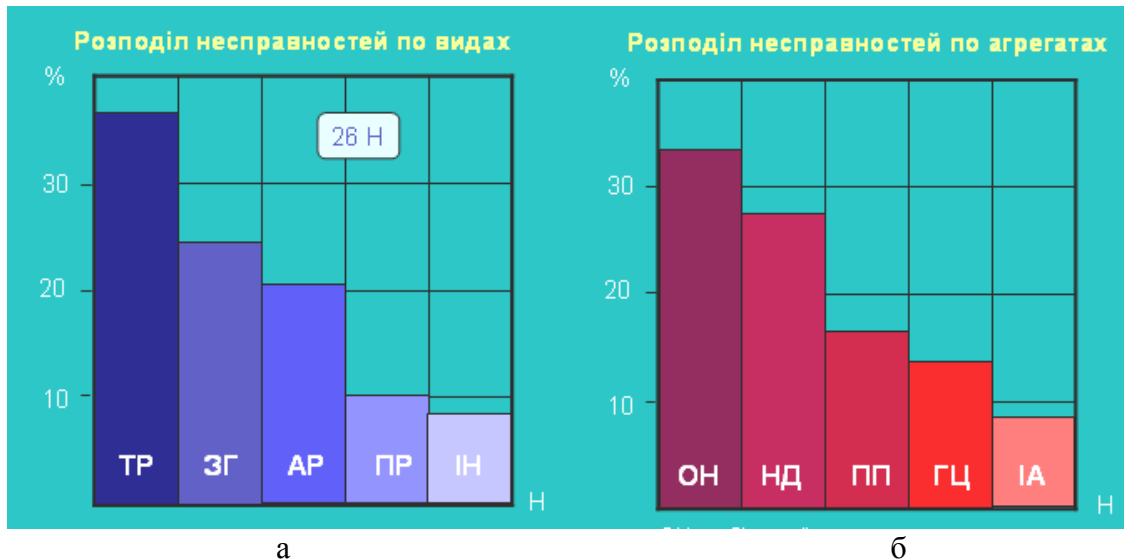


Рисунок 2 – Розподіл несправностей і відмов гідрооб'ємного рульового керування тракторів серії ХТЗ-170 за 6000 мотогодин роботи по видах (а) і агрегатах (б)

Аналіз типових несправностей і відмов ГОРК показує, що зниження тиску рідини нижче ТУ, тобто зниження об'ємного ККД (η_o), є найбільш типовою несправністю, хоча достатньо високі значення несправностей, які є наслідком засмічення гідроприводу. Таким чином, можна уважатися, що η_o є визначальним параметром стану гідроприводу РК. Для підтвердження даного твердження виконаний розрахунок за залежностями (1) та (2) діагностичних ваг станів D_i , у тому числі справного (ІС) гідроприводу РК тракторів серії ХТЗ-170 за функціональними параметрами, у якості яких обрані: керованість трактора (КТ), стійкість прямолінійного руху (СР) і повороту (СП), час повороту з одного крайнього положення у інше (ЧП), зусилля на рульовому колесі при повороті (ЗК) (табл. 1).

Аналіз таблиці 1 показує, що найбільш значним (визначальним) функціональним параметром гідрооб'ємного рульового керування трактора є його керованість,

діагностична цінність якого має найбільшу імовірність $P(K_j) = 0,45$. При цьому найбільший вплив на працездатність гідрооб'ємного РК надає зниження тиску рідини, що має найбільшу імовірність стану $P(D_{TP}) = 0,30$, хоча достатньо висока імовірність справного стану дорівнює $P(D_{IC}) = 0,25$.

Таблиця 1 – Імовірнісні ваги ознак K_j для різних станів D_i гідрооб'ємного рульового керування тракторів серії ХТЗ-170

Стан D_i	Функціональний параметр, K_j					$P(D_i)$
	КТ	СР	СП	ЧП	ЗК	
ТР	0,84	0,10	0,10	0,73	0,12	0,30
ЗГ	0,75	0,05	0,93	0,75	0,44	0,15
АР	0,01	0,74	0,98	0,01	0,65	0,05
ПР	0,92	0,15	0,75	0,82	0,01	0,10
ІН	0,64	0,02	0,25	0,74	0,31	0,15
ІС	0,10	0,01	0,01	0,10	0,10	0,25
$P(K_j)$	0,45	0,08	0,08	0,15	0,24	1,00

Аналіз працездатності тракторів серії ХТЗ-170 показав (див. рис. 2, б), що найбільша кількість несправностей і відмов ГОРК має в експлуатації об'ємний насос (33%) і насос-дозатор (28%). Типові несправності об'ємного насосу НШ-32Л-2, що використовується в ГОРК тракторів серії ХТЗ-170: зниження тиску рідини (ТР) нижче ТУ, наявність піни у гідроприводі (НП), зовнішні витрати рідини (ЗВ), підвищення температури (ПТ), шум при роботі насоса (ШН).

Для даного насоса за функціональні параметри можуть бути прийняті: робочий об'єм (РО), тиск рідини на вході (ТВ) і виході (ТХ), номінальна об'ємна подача при номінальному режимі роботи (НО), об'ємна подача (ОК).

Результати розрахунку діагностичних ваг $P(K_j)$ функціональних параметрів K_j для різних станів D_i , у тому числі і справному ІС, об'ємного насосу НШ-32Л-2 рульового керування тракторів серії ХТЗ-170 за 6000 мотогодин роботи в рядовій експлуатації наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Імовірнісні ваги ознак K_j для різних станів D_i об'ємного насосу НШ-32Л-2

Стан D_i	Функціональний параметр, K_j					$P(D_i)$
	РО	ТВ	ТХ	НО	ОК	
ТР	0	0,95	0,05	0	0,95	0,35
НП	0	0,35	0	0,05	0,74	0,08
ЗВ	0,91	0	0	0,84	0,98	0,12
ПТ	0	0,24	0,02	0	0,71	0,07
ШН	0,75	0,61	0,91	0,31	0,51	0,07
ІС	0	0	0,02	0,01	0	0,30
$P(K_j)$	0,05	0,36	0,08	0,03	0,54	1,00

За даними табл. 2 можна укласти, що об'ємна подача (ОК) насоса НШ-32Л-2 буде визначальним параметром таким, що має найбільшу діагностичну вагу $P(K_{OK}) = 0,54$. При цьому найбільший вплив на працездатність насоса надає тиск рідини, імовірність стану якої найбільша $P(D_{TP}) = 0,35$, хоча достатньо висока імовірність справного стану $P(D_{IC}) = 0,30$.

Об'ємну подачу насоса НШ-32Л-2 теоретично визначити важко внаслідок зміни об'ємного ККД від багатьох змінних $\eta_{OH} = f(\Delta x_{iH}, \Delta x_{2H}, p_H, p_B, \Delta p_H, \omega_H, \Delta \omega_H)$, де Δx_{iH} – сумарний зазор між шестернями і корпусом; Δx_{2H} – зазор манжети радіального ущільнення; Δp_H – пульсація тиску рідини на виході; $\Delta \omega_H$ – нерівномірність частоти обертання привідного вала.

Найбільший вплив на об'ємний ККД шестеренного насоса η_{OH} надають змінні p_H , ω_H і Δx_{iH} , взаємозв'язок яких з η_{OH} зазвичай визначається експериментально (рис. 3).

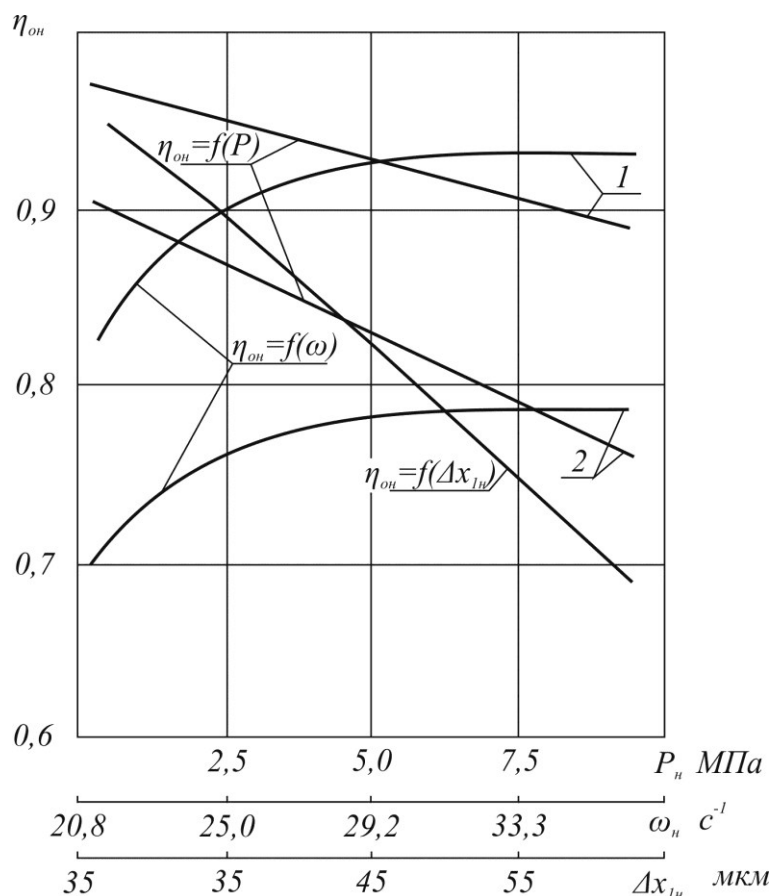


Рисунок 3 – Залежність об'ємного ККД η_{OH} насоса НШ-32Л-2 від:

- тиску рідини (p_H) на виході (1 – новий насос, 2 – що відпрацював 3000 мотогодин);
- частоти обертання (ω_H) привідного вала (1 – 50 °С, 2 – 75 °С);
- сумарного зазору (Δx_{iH}) між шестернями і корпусом

Із зміною тиску рідини η_{OH} об'ємного насоса зменшується, причому більш інтенсивно для насосів, що знаходяться в експлуатації. Так наприклад, при $p_n=2,5$ МПа для насоса НШ-32Л-2 з наробітком 60 мотогодин $\eta_{OH}=0,96$, а з наробітком до 3000 мотогодин – $\eta_{OH}=0,88$. При збільшенні p_n до 7,5 МПа η_{OH} у першому випадку дорівнює 0,92 (зменшення на 0,08), а у другому – 0,79 (зменшення на 0,13). Із підвищенням частоти обертання (ω_n) привідного вала насоса η_{OH} залишається практично стабільним при $\omega_n \geq 30 \text{ c}^{-1}$, причому дана закономірність зберігається при різній температурі масла. При збільшенні зазору (Δx_{in}) між шестернями і корпусом у межах від 25 до 55 мкм при випробуванні насоса НШ-32Л-2 на номінальному режимі ($\omega_n = 27,7 \text{ c}^{-1}$, масло індустріальне 20 ГОСТ 1707-51, $t = +50 \text{ }^\circ\text{C}$), η_{OH} зменшується від 0,92 до 0,70.

Визначальний параметр гідроприводу надає істотний вплив на функціонування трактора, наприклад об'ємний ККД гідроприводу рульового керування, на стійкість руху тракторного агрегату. У цьому випадку необхідно визначити межі зміни визначального параметра, при яких зберігається стійкість руху агрегату. Для цієї цілі може бути застосований метод Д-розбивки [2], за допомогою якого n -мірний простір параметрів розбивається на області, кожній з яких відповідає одне і теж число правих коренів характеристичного рівняння. Область, якій відповідає нуль правих коренів, є областю стійкості. Практично за допомогою методу Д-розбивки виділяють області стійкості у площині одного і двох параметрів. Наприклад, при оцінці стійкості прямолінійного руху такими параметрами можуть бути об'ємна подача (η_o) гідроприводу рульового керування, кут відхилення напрямку руху трактора від прямолінійного (ψ) і т.д.

Нехай для трактора з шарнірно-зчленованою рамою потрібно визначити вплив об'ємної подачі η_o гідроприводу на стійкість руху. Припустимо, що η_o входить до характеристичного рівняння замкнутої системи лінійно. У цьому випадку крива Д-розбивки буде оцінюватися за рівнянням:

$$\eta_o(j\omega) = X(\omega) + jY(\omega), \quad (3)$$

де $X(\omega)$, $Y(\omega)$ – відповідно парні і непарні функції.

Оцінимо стійкість прямолінійного руху методом Д-розбивки трактора серії ХТЗ-170 в агрегаті з плугом ПЛН-5-35 під час руху на ділянці поля з підйомом без кривизни. У цьому випадку характеристичне рівняння замкнутої системи «тракторний агрегат – рульове керування» записується у вигляді:

$$T_\phi T_\psi S^3 + (T_\phi + T_\psi) S^2 + (1 + \eta_o \tau) S + \eta_o = 0, \quad (4)$$

де τ – постійна часу рульового керування.

Розв'язуючи рівняння (4) відносно τ для значень $\eta_o=50$, $T_\phi=0,4 \text{ c}$, $T_\psi=0,1 \text{ c}$, отримуємо

$$\tau(j\omega) = -\frac{1}{j50\omega} \left[-j0,04\omega^2 - 0,5\omega^2 + j\omega s 0 \right] = X + jY,$$

$$\text{де } X = 0,02(-1 + 0,04\omega^2); Y = \frac{1}{\omega}(1 - 0,01\omega^2).$$

Для побудови кривої Д-розбивки визначимо значення X і Y при $\omega = 0$ і $\omega = \infty$:

$$\omega = 0; X = -0,02; Y = +\infty; \omega = +\infty; X = +\infty; Y = -\infty.$$

Осі ординат і абсцис перехрещуються при значеннях

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{0,04}} = 5; Y = 0,15; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{1}{0,01}} = 10; X = 0,06.$$

Отримані дані характеризують криву Д-розбивки на ділянці від $\omega = 0$ до $\omega = \infty$ (рис. 4). Дзеркальне відображення цієї ділянки кривої відносно осі абсцис дає її другу ділянку (від $\omega = -\infty$ до $\omega = 0$).

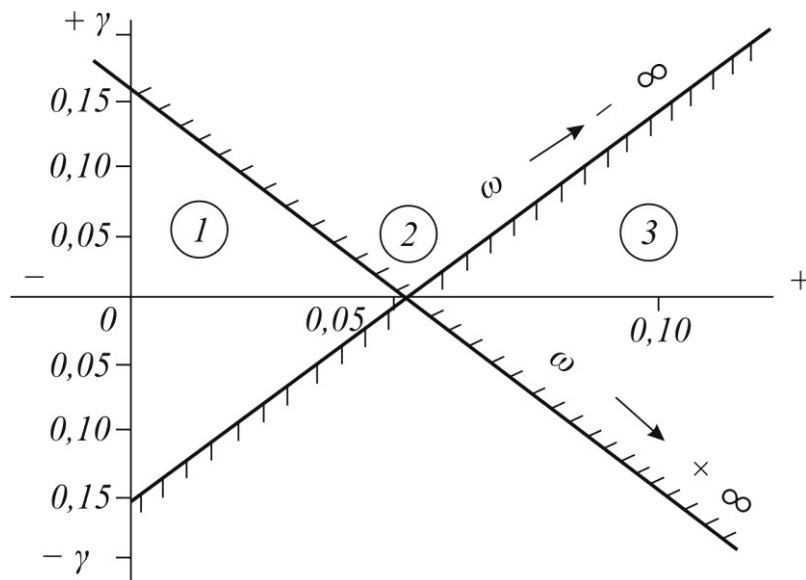


Рисунок 4 – Д-розбивка площини параметра τ при оцінці стійкості руху на підйомі трактора серії ХТЗ-170 з плугом ПЛН-5-35

Область 3 є областю стійкості прямолінійного руху тракторного агрегату. У цьому випадку повинна дотримуватися умова $\eta_o > 0,6$.

Таким чином, визначальним параметром стану гідрооб'ємного рульового керування трактора, що відображує в найбільшій мірі його працездатність, є об'ємний ККД.

Висновки. Визначальним параметром стану гідрооб'ємного рульового керування трактора є об'ємний ККД, значення якого для забезпечення стійкості прямолінійного руху повинно бути $\eta_o > 0,6$.

Список літератури: 1. Богдан Н.В. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмосистем: учебн. пособие /

Н.В. Богдан, Н.П. Кицкевич, В.С. Шевченко; под общ. ред. Н.В. Богдана. – Минск: Ураджай, 2001. – 396 с. **2.** *Ширгородський С.А.* Підвищення ефективності використання сільськогосподарських машин шляхом модернізації системи гідрооб'ємного рульового керування: автореф. дис. ... к-та техн. наук: 05.05.11 / С.А. Ширгородський; Вінницький державний аграрний університет. – Вінниця, 2006. – 21 с. **3.** *Биргер И.А.* Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1977. – 240 с. **4.** *Лебедев А.Т.* Оценка работоспособности трактора по критерию устойчивости прямолинейного движения / А.Т. Лебедев // Совершенствование сельскохозяйственных тракторов и автомобилей: сб. научн. тр. МИИСП. – М., 1979. – С. 4-9. **5.** *Палагута В.И.* Алгоритм поиска неисправностей гидропривода рулевого управления трактора / В.И. Палагута // Повышение технического уровня тракторов типа Т-150К: сб. научн. тр. МИИСП. – М., 1986. – С. 36-41. **6.** *Справочник по теории автоматического управления / Под. ред. А.А. Красовского.* – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Bogdan N.V., Kickevich N.P., Shevchenko V.S.* Hidropnevmoavtomatika i gidroprivod mobil'nyh mashin. Jekspluatacija i nadezhnost' gidro- i pnevmosistem: uchebn. posobie. Ed. *N.V. Bogdan.* Minsk: Uradzhaj, 2001. **2.** *Shyrhorods'kyj, S.A.* Pidvyshchennya efektyvnosti vykorystannya sil's'kohospodars'kykh mashyn shlyakhom modernizatsiyi systemy hidroob'yemnoho rul'ovoho keruvannya: avtoref. dys. ... k-ta tekhn. nauk: 05.05.11. Vinnyts'kyj derzhavnyy ahrarnyy universytet. Vinnytsya, 2006. **3.** *Birger, I.A.* Tehnicheskaja diagnostiea. Moskow: Mashinostroenie, 1977. **4.** *Lebedev A.T.* Ocenka rabotosposobnosti traktora po kriteriju ustojchivosti prjamolinejnogo dvizhenija. Sovershenstvovanie sel'skohozjajstvennyh traktorov i avtomobilej: sb. nauchn. tr. MIISP. Moskow, 1979. 4-9. Print. **5.** *Palaguta, V.I.* Algoritm poiska neispravnostej gidroprivoda rulevogo upravlenija traktora. Povyshenie tehniceskogo urovnja traktorov tipa T-150K: sb. nauchn. tr. MIISP. Moskow, 1986. 36-41. Print. **6.** *Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravlenija.* Ed. *A.A. Krasovskiy.* Moskow: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1987.

Надійшла (received) 12.02.2015