

УДК 631.372

**СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ  
ГІДРОПРИВОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН****Д. О. ЛЯШЕНКО**, аспірант, <https://orcid.org/0000-0002-4180-9629>Email: [lyashenkodmtr@gmail.com](mailto:lyashenkodmtr@gmail.com)**П. Т. МЕЛЬЯНЦОВ**, кандидат технічних наук, доцент<https://orcid.org/0000-0001-5937-4021>Email: [melyantsov.petr@gmail.com](mailto:melyantsov.petr@gmail.com)*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*[https://doi.org/10.31548/dopovidi2\(102\).2023.018](https://doi.org/10.31548/dopovidi2(102).2023.018)

***Анотація.** Підвищення технічної складності гідравлічних систем сучасних сільськогосподарських машин обумовлює низький рівень їх ремонтпридатності в умовах вітчизняного агропромислового комплексу. Для уникнення непередбачених фінансових витрат, що пов'язані з простоем техніки внаслідок аварійних відмов їх гідроприводів, виникає потреба у завчасному виявленні передумов втрати їх працездатності застосуванням ефективних методів та засобів контролю технічного стану в умовах експлуатації машин. Метою статті було проведення аналізу застосовності методів контролю технічного стану гідроприводів сільськогосподарських машин і обґрунтування перспектив їх удосконалення, відповідно до рівня розвитку сучасних інформаційних технологій і умов матеріально-технічної бази вітчизняного агропромислового комплексу. Для досягнення поставленої мети було проведено структурно-логічний і порівняльний аналіз матеріалів періодичних видань та електронних джерел інформації за релевантною тематикою. У статті розглядаються відомі методи діагностування гідроприводів і тенденції поліпшення засобів контролю технічного стану за рахунок інформаційних технологій. За результатами дослідження було показано, що методи групи неруйнівного контролю в умовах слабкої матеріально-технічної бази є найбільш застосовними. Серед діючих способів направлених на поліпшення процесу контролю технічного стану сільськогосподарських машин відомі системи віддаленої діагностики, які поєднують у собі зчитування діагностичних параметрів і їх віддалену обробку на електронно-обчислювальних машинах. На сьогоднішній день активно розвиваються штучні нейронні мережі, які знаходять своє поширення у контролі технічного стану гідроприводів і можуть значно підвищити загальний рівень планово-попереджувальної системи технічного обслуговування.*

***Ключові слова:** сільськогосподарська техніка, гідравлічна система, інформаційні технології, технічний стан, діагностика, штучні нейронні мережі*

**Актуальність.** Розвиток долю гідрофікації робочого сучасного сільськогосподарського обладнання, що особливо вагомо машинобудування передбачає значну відображається на конструктивних

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

особливостях зернозбиральних комбайнів. Проте безпечна та ефективна експлуатація машин, в тому числі і їх гідравлічних систем (ГС), забезпечується не тільки технологічністю обладнання, але і дотриманням регламенту системи технічного обслуговування і ремонту (ТОР).

Виявлений стан машинного парку агропромислового комплексу (АПК) [1] і відсутність офіційних представництв з ремонту гідроприводів, якими оснащується сучасна сільськогосподарська техніка не дає змоги своєчасно керувати їх станом, що наділяє контрольно-діагностичні заходи ключовою роллю у оперативному реагуванні на передумови відмов ГС.

Наявна класифікація методів діагностування ГС [2], представляє собою розгалужену структуру, проте спроба реалізації більшості елементів цієї структури є ускладненою через невідповідність стану ремонтно-обслуговуючої бази АПК до неперервно зростаючої технологічної складності гідромашин.

Однією з ознак підвищення технологічної складності ГС є застосування електронних систем [3], робота яких контролюється відповідним програмним забезпеченням, що висуває нові вимоги до засобів контролю технічного стану. Крім того, істотний вклад у зростання вимог до методів та засобів діагностування ГС вносить

потреба дотримання вимог екологічності і безпеки експлуатації ГС. Сільськогосподарські машини, які оснащені гідравлічними приводами повинні відповідати стандартам безпеки для людини і оточуючого середовища [4], що необхідно враховувати при збільшенні періодичності контрольно-діагностичних заходів.

Останні напрацювання в галузі діагностики ГС вказують на те, що конструкція засобів контролю технічного стану також зазнала змін на користь електросхем [5]. Застосування електронних приладів створює умови для передачі діагностичних параметрів технічного стану об'єкта дослідження і їх збереження на носіях інформації для подальшої обробки за допомогою електронно-обчислювальних машин (ЕОМ). В свою чергу, застосування ЕОМ дозволяє значно розширити можливості діагностичних систем шляхом аналізу отриманих даних і синтезом рішень, тобто вирішення проблем планово-попереджувальної системи ГС.

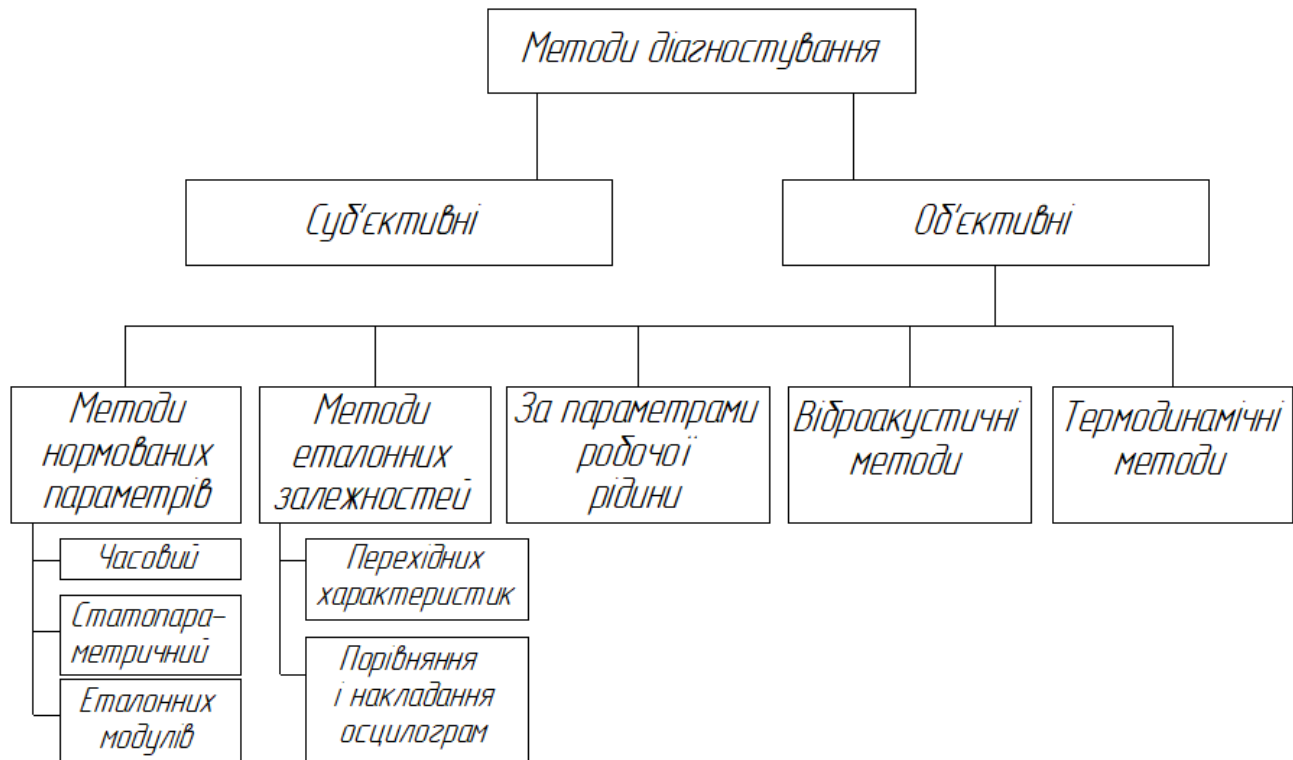
Такий стан справ обумовлює необхідність у перегляді актуальності поточної системи контролю технічного стану ГС сільськогосподарських машин і обґрунтування перспектив її розвитку.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз робіт присвячених методам діагностування

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

гідроприводів показав, що найбільш повно дане питання розкривається у роботі [2]. Після систематизації

методів було побудовано їх оптимальну структуру, яку представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Класифікація методів діагностування гідроприводів

Актуальність і застосовність методів визначається умовами ремонтно-обслуговуючої бази і кваліфікації робочого персоналу [6], що згідно до оснащеності виробничих і офіційних ремонтно-обслуговуючих підприємств України потребує універсальних і доступних методів, які забезпечать достатні умови для здійснення контролю технічного стану машин при задовільному рівні їх точності [7]. Спираючись на досвід передових виробників сільськогосподарської техніки, поліпшення якості діагностування гідромашин проводиться за рахунок удосконалення засобів контролю

технічного стану. Виробниками техніки активно поширюються системи віддаленої діагностики [8], що ґрунтуються на автоматизації процесів засобами інформаційних технологій (ІТ) та ЕОМ. Сучасні тренди в галузі ІТ вказують на стрімке поширення штучних нейронних мереж (ШНМ) у вирішенні задач різних сфер діяльності людини [9], в тому числі і діагностики несправностей гідроприводів [10-12].

**Мета дослідження.** Метою даної статті є проведення аналізу застосовності методів контролю технічного стану гідроприводів

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

сільськогосподарських машин і обґрунтування перспектив їх удосконалення, відповідно до рівня розвитку сучасних ІТ і умов матеріально-технічної бази українського АПК.

**Матеріали і методи дослідження.** Проведене дослідження ґрунтується на патентно-інформаційному пошуку серед сучасних вітчизняних та міжнародних джерел інформації за поточною тематикою – навчальних посібників, матеріалів періодичних видань, мережових інформаційних ресурсів і нормативно-правових документів, які опрацьовано методами структурно-логічного і порівняльного аналізу, результати якого систематизовано у схематичному та текстовому виді.

**Результати дослідження та їх обговорення.** В результаті аналізу фундаментальної структури методів та засобів діагностування як складової комплексу планово-попереджувальної системи контролю технічного стану гідроприводів, що описана у роботі [2], було наведено порівняльну характеристику методів у табл. 1, переваги яких описані за припущення про відсутність похибки вимірювання і ідеальної теоретично-практичної бази діагноста. Встановлено, що методи контролю технічного стану можна умовно поділити на дві категорії: портовані – методи, які виконуються за рахунок зчитування контрольованих

параметрів через технологічні отвори гідромашин або зовнішнього начіпного обладнання, яке не передбачає розгерметизації гідроліній; непортовані – методи, регламент яких передбачає розгерметизацію гідроліній і демонтаж гідроприводів для контролю їх технічного стану у лабораторних умовах із застосуванням стендового обладнання.

Поточний стан ремонтно-обслуговуючої бази гідроприводів є результатом довготривалої відсутності уваги держави до галузі вітчизняного сільськогосподарського машинобудування [13], що призвело до монополії закордонних виробників даної продукції на ринку України і відповідного припинення реалізації вітчизняних гідроприводів ряду моделей ГСТ українського виробництва у конструкції зернозбиральних комбайнів. Відповідним чином ремонтно-обслуговуюча база на сьогодні не відповідає умовам технічного оснащення для якісного проведення досліджень категорії непортованих методів діагностування, що додатково спричиняється проблемами необхідності високоточного діагностичного і обкатувального обладнання, підвищеної імовірності виникнення проблем, пов'язаних із монтажними роботами, суперечності із вимогами екологічності і доцільністю з точки

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

зору трудомісткості. Крім того, підвищена інформативність даних методів орієнтована на спрощення виконання дефектування складових гідромашин для подальшого їх ремонту, що передбачає наявність ремонтних потужностей, саме тому для контролю технічного стану

гідроприводів сервісні представники виконують діагностику переважно за методом еталонних модулів за значенням тиску робочої рідини, інформативності якого достатньо для виконання поставленої задачі при низькій трудомісткості його реалізації.

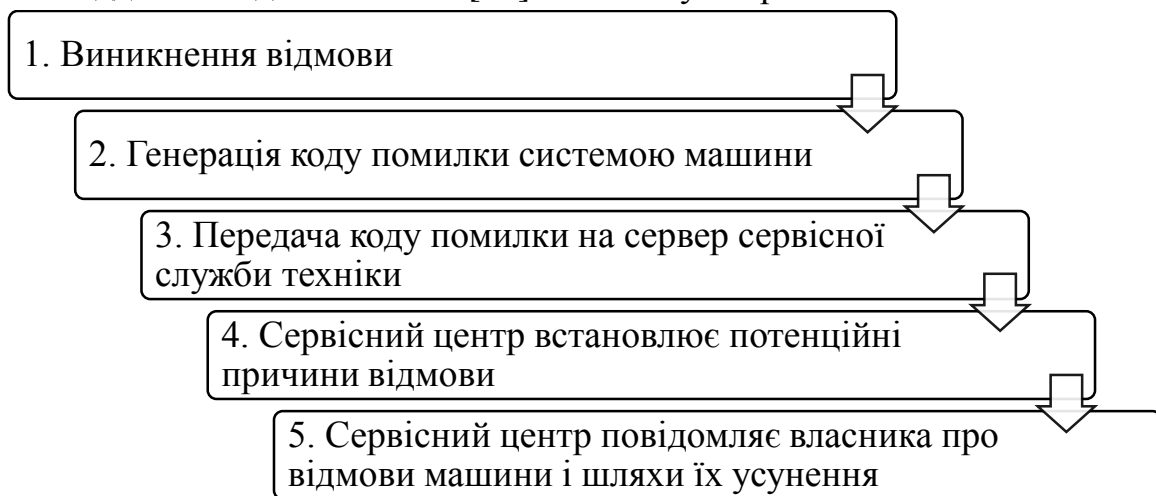
### 1. Порівняльна характеристика методів діагностування гідроприводів

Метод	Переваги	Недоліки
Часовий	Економічність, низька трудомісткість	Якісна оцінка технічного стану, неможливість локалізації причини несправності
Статопараметричний	Кількісна оцінка технічного стану, висока точність	Підвищена трудомісткість, висока вартість, потребує розгерметизації ГС
Еталонних модулів (тиск)	Економічність, відносно низька трудомісткість	Неможливість локалізації причини несправності, потребує наявності еталонних значень діагностичних параметрів
Перехідних характеристик	Висока точність	Потребує фіксованих умов діагностування, підвищені вимоги до кваліфікації діагноста, висока вартість обладнання, потребує розгерметизації ГС
Порівняння і накладання осцилограм	Висока точність	Потребує фіксованих умов діагностування, підвищені вимоги до кваліфікації діагноста, висока вартість обладнання, потребує наявності еталонних осцилограм для об'єктів дослідження, потребує розгерметизації ГС
За параметрами робочої рідини	Відносно низька трудомісткість	Неможливість локалізації причини несправності, залежність трудомісткості від вибору кількісних показників стану робочої рідини і наявного контрольно-вимірювального оснащення
Віброакустичний	Можливість виявлення динаміки зміни структурних параметрів на ранніх стадіях експлуатації	Потребує розгерметизації ГС в контексті сільськогосподарської техніки, підвищені вимоги до кваліфікації діагноста, висока вартість обладнання
Термодинамічний	Висока точність, економічність	Складність визначення точок вимірювання температури, трудомісткість при проведенні повторної реалізації, змінний рівень інформативності на об'єктах діагностування різних виробників

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

Отже, одним з шляхів підвищення якості контрольно-діагностичних заходів є перейняття досвіду провідних виробників сільськогосподарської техніки. Досвід інноваційної діяльності німецької компанії CLAAS, що займає одну з лідируючих позицій у забезпеченні України сільськогосподарською технікою різних типів, було представлено у системі віддаленої діагностики [14]

(рис. 2). Дана концепція TOP дозволяє в режимі реального часу проводити моніторинг наявності помилок у роботі машин, що дозволяє сервісним спеціалістам провести первинний аналіз технічного стану машини і зменшити час виявлення та усунення відмов. Доступ до даної системи наявний лише у працівників сервісної служби дилера, що посилює залежність підприємств АПК від послуг виробника техніки.



**Рис. 2. Принцип роботи віддаленої діагностики**

Широкого поширення на території України дана технологія не знайшла, через низку причин: система віддаленого контролю не передбачена для контролю стану всіх підсистем та вузлів машини; потребується наявність стабільного мобільного зв'язку для передачі даних у сільській місцевості; впровадження та експлуатація системи віддаленої діагностики передбачає істотні матеріальні витрати на одиницю техніки, що ставить під сумнів її економічність.

Поява іншого підходу спричинена стрімким розвитком обчислювальної потужності ЕОМ та ІТ, що призвело до значної популяризації концепції чорного ящика, відтвореного у виді ШНМ. Реалізація ШНМ для вирішення поставлених задач дозволяє уникнути аналітичного опису складних процесів, що може у значній мірі спростити регламент контролю технічного стану гідромашин. У дослідженнях, які присвячені даній тематиці [10-12], відзначається

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

високий показник точності даних засобів при виконанні контролю технічного стану гідромашин, що підтверджує потенційну перспективність даних розробок.

Термін ШНМ за описом у роботі [15] – це обчислювальна система, яка побудована за принципом організації

і функціонування біологічних нейронних мереж. Вона складається із великої кількості вузлів обробки сигналів, що називаються нейронами, які сполучені зваженими зв'язками. Модель нейрона представлено на рисунку 3.

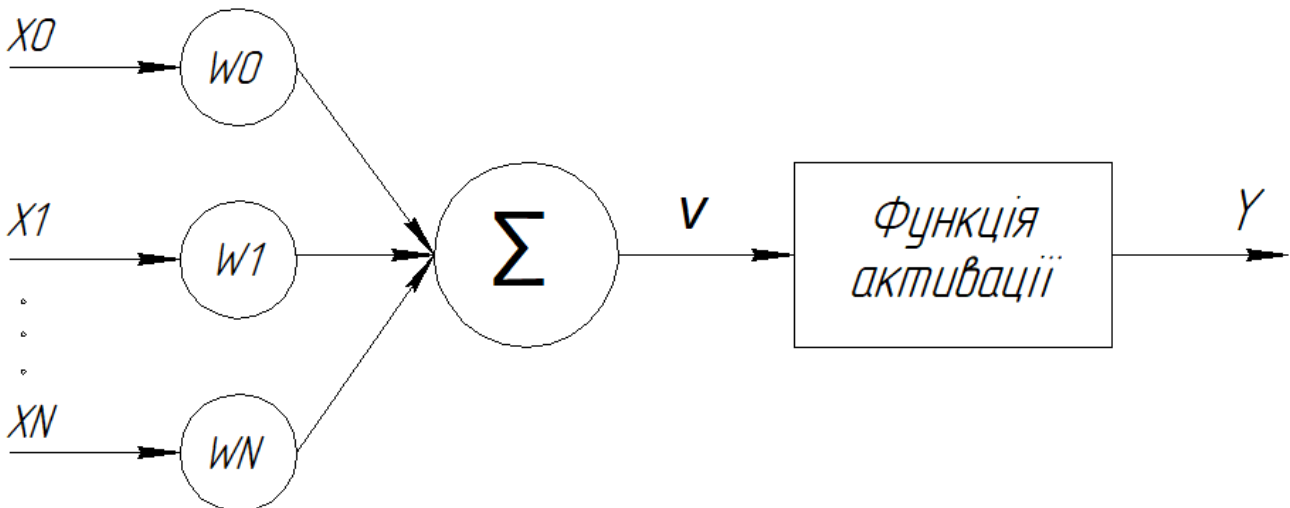


Рис. 3. Формальна модель нейрона

Принцип дії моделі [16], описаної на рис. 3., полягає у наступному: сигнали  $(X_0, \dots, X_N)$ , що поступають на вхід нейрона перемножуються з відповідними ваговими коефіцієнтами  $(W_0, \dots, W_N)$ , які визначають силу зв'язку між нейронами мережі і важливість

вхідного сигналу. Одержані значення відправляються до функції суматора (1.1), результат якої передається на вхід функції активації (1.2). На основі результату обчислення функції активації визначається стан нейрону і відповідне значення вихідного сигналу  $Y$ .

$$v = \sum_{k=0}^n w^k x^k, \quad (1.1)$$

$$y = f(v), \quad (1.2)$$

де  $n$  – число входів штучного нейрону,  $x$  – значення  $k$ -го входу нейрона,  $w$  – ваговий коефіцієнт  $k$ -го

синапсу,  $f$  – передатна функція моделі.

У залежності від специфіки вхідних даних і очікуваного

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

результату штучного нейрону, їх об'єднують у ШНМ. Загальна модель ШНМ визначається її архітектурою, яка визначає загальну структуру і принципи поєднання нейронів у мережу, вибір функції активації і способу навчання.

Високий потенціал ШНМ при поліпшенні контролю технічного стану агрегатів гідравлічних систем можна визначити за наступними напрямками: виявлення та прогнозування несправностей за контрольованими діагностичними параметрами дозволяє визначити оптимальні терміни проведення профілактичних робіт і зменшити ризики виникнення простою техніки внаслідок аварійної відмови; розпізнавання графічних образів ШНМ створює основу для виявлення пошкоджень вузлів гідромашин за їх зовнішнім видом, що фактично може замінити роботу експерта-діагноста у даному процесі. Розпізнавання графічних образів на основі ШНМ також може бути застосовано на фрагментах технічної документації до гідросистем для побудови нових алгоритмів діагностування і поліпшення застосування вже відомих.

Отже, застосування ШНМ є досить потужним інструментом, який поступово поширюється на планово-попереджувальну систему гідравлічних систем сільськогосподарських машин. Проте для забезпечення високої точності

роботи ШНМ потребується вирішення наступних колізій із рядом основних проблем, від якості вирішення яких буде залежати прогрес розвитку даної тематики у майбутньому: недостатня кількість статистичних даних, що може бути причиною низької передбачувальної продуктивності внаслідок перенавчання моделі; вплив невизначеності на точність ШНМ, тобто навчання моделі на недостатньо якісних даних, які були отримані із значною похибкою; незбалансованість даних для навчання ШНМ, які не відповідають їх дійсному розподілу, що призводить до упередженості щодо прийняття рішень.

### **Висновки і перспективи.**

1. Аналіз досліджень в галузі контролю технічного стану ГС показав, що сучасні діагностичні системи будуються на основі електросхем. Передача діагностичних показників стану об'єкта дослідження через електричні сигнали дозволяє зберігати та оброблювати отриману інформацію за допомогою ЕОМ. В свою чергу, застосування ЕОМ у процесі обробки даних значно розширює можливості діагностування і зменшує її трудомісткість можливістю залучення професійних програмних пакетів обробки даних.

2. Відповідно до умов ремонтно-обслуговуючої бази вітчизняного АПК на сьогодні є актуальними



Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

непортовані методи діагностування. На основі встановлених переваг та недоліків сучасних розробок в галузі поліпшення процесу контролю технічного стану сільськогосподарської техніки і ГС в цілому, що пропонуються виробниками сільськогосподарської техніки, було визначено вимоги до сучасних діагностичних систем: простота і можливість самостійного застосування; інформативність; портованість; екологічність; економічність; наявність інтерфейсу взаємодії з ЕОМ.

3. Підвищення актуальності ШНМ в якості засобу прогнозування і діагностування залишкового ресурсу

### Список використаних джерел

1. Бондарчук, Н. В. Сучасні проблеми матеріально-технічної бази та матеріально-технічного забезпечення сільського господарства. Інвестиції: практика та досвід. 2010. №6. С. 49-53.

2. Andrenko, P., Lebediev, A., Dmytriienko, O., Svyarenko, M. Reliability, technical diagnostics and operation of hydraulic and pneumatic drives. Kharkiv, Ukraine: Publishing center NTU "KhPI", 2018. 519.

3. Walters, R. B. Hydraulic and Electric-Hydraulic Control Systems (2nd ed.). Springer, 2000. 344.

4. Parambath, J. Maintenance, Troubleshooting, and Safety in Hydraulic Systems (Industrial Hydraulic Book Series (Advanced Level)). Independently published, 2020. 83.

5. Doddannavar, R., Barnard, A., Ganesh, J. Practical Hydraulic Systems: Operation and Troubleshooting for Engineers and Technicians. Elsevier, 2005. 240.

6. Manring, N.D. (2000). Hydraulic Control Systems. Wiley, 2005. 464.

7. Пімонов, І. Г., Рукавишников Ю. В. Підвищення якості діагностування гідроприводів мобільних машин. Вісник

компонентів ГС сільськогосподарських машин надає нові перспективи розвитку даної галузі, що загалом може мати вплив на удосконалення методів контролю технічного стану елементів гідравлічних систем і підвищення ефективності планово-попереджувальної системи ГС в цілому. Оскільки робота ШНМ представляє собою реалізацію ідеї чорного ящика з теорії кібернетики, то інкапсуляція значної кількості деталей діагностування дозволяє знизити вимоги до діагноста і зменшити витрати підприємств на послуги сервісних служб.

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2020. 88 (2). С. 128-134.

8. John Deere precision ag technology. URL: <https://t.ly/Yb-W> (дата звернення: 21.03.2023).

9. Application of neural network in our daily life. URL: <https://t.ly/OKX4> (дата звернення: 21.03.2023).

10. Yan, J., Zhu, H., Yang, X., Cao, Y., Shao, L. 2259. Research on fault diagnosis of hydraulic pump using convolutional neural network. Journal of Vibroengineering, 2016. 18:5141–5152. doi: 10.21595/jve.2016.16956

11. Askari, B., Carli, R., Cavone, G., Dotoli, M. Data-Driven Fault Diagnosis in a Complex Hydraulic System based on Early Classification. IFAC-PapersOnLine. 2022. 55(40), 187-192. doi: 10.1016/j.ifacol.2023.01.070

12. Yang Y, Ding L, Xiao J, Fang G, Li J. Current Status and Applications for Hydraulic Pump Fault Diagnosis: A Review. Sensors. 2022. 22(24):9714. doi: 10.3390/s22249714

13. Петров В.М. Формування ринку зернозбиральних комбайнів в Україні. Економіка АПК. 2020. 4. С. 43. doi: 10.32317/2221-1055.202004043

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

14. Remote Service at a glance. URL: <https://t.ly/DLQA> (дата звернення: 21.03.2023).

15. Goodfellow I., Bengio Y., and Courville A. Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning series) Illustrated Edition. MIT Press, 2016. 800.

16. Новотарський, М.А., Нестеренко, Б.Б. Штучні нейронні мережі: обчислення. Праці Інституту математики НАН України, 2004. 408 с.

### References

1. Bondarchuk, N. V. (2010). Contemporary issues of material and technical base and material and technical support of agriculture. Investments: Practice and Experience, 6, 49-53.

2. Andrenko, P., Lebediev, A., Dmytrienko, O., & Svyntarenko, M. (2018). Reliability, technical diagnostics and operation of hydraulic and pneumatic drives. Kharkiv, Ukraine: Publishing center NTU "KhPI".

3. Walters, R. B. (2000). Hydraulic and Electric-Hydraulic Control Systems (2nd ed.). Springer. 344.

4. Parambath, J. (2020). Maintenance, Troubleshooting, and Safety in Hydraulic Systems (Industrial Hydraulic Book Series (Advanced Level)). Independently published. 83.

5. Doddannavar, R., Barnard, A., & Ganesh, J. (2005). Practical Hydraulic Systems: Operation and Troubleshooting for Engineers and Technicians. Elsevier. 240.

6. Manring, N. D. (2005). Hydraulic Control Systems. Wiley. 464.

7. Pimonov, I. G., & Rukavishnikov, Y. V. (2020). Improvement of diagnostic quality

of hydraulic drives of mobile machines. Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University, 88(2), 128-134.

8. John Deere precision ag technology. Available at: <https://t.ly/Yb-W>

9. Application of neural network in our daily life. Available at: <https://t.ly/0KX4>

10. Yan, J., Zhu, H., Yang, X., Cao, Y., & Shao, L. (2016). Research on fault diagnosis of hydraulic pump using convolutional neural network. Journal of Vibroengineering, 18(8), 5141–5152. doi: 10.21595/jve.2016.16956

11. Askari, B., Carli, R., Cavone, G., & Dotoli, M. (2022). Data-driven fault diagnosis in a complex hydraulic system based on early classification. IFAC-PapersOnLine, 55(40), 187-192. doi: 10.1016/j.ifacol.2023.01.070

12. Yang, Y., Ding, L., Xiao, J., Fang, G., & Li, J. (2022). Current status and applications for hydraulic pump fault diagnosis: A review. Sensors, 22(24), 9714. doi: 10.3390/s22249714

13. Petrov, V. (2020). Formation of the combine harvesters' market in Ukraine. Ekonomika APK, 4, 43-53. doi: 10.32317/2221-1055.202004043.

14. Remote Service at a glance. Available at: <https://t.ly/DLQA>

15. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning series) Illustrated Edition. MIT Press. 800.

16. Novotarskyi, M.A., & Nesterenko, B.B. (2004). Artificial neural networks: computations. Proceedings of the Institute of Mathematics NAS of Ukraine. 408.

## MODERN TRENDS IN TECHNICAL CONDITION MONITORING SYSTEMS OF HYDRAULIC DRIVES IN AGRICULTURAL MACHINERY

D. O. Liashenko, P. T. Meliantsov

**Abstract.** *Increasing technical complexity of hydraulic systems in modern agricultural machines causes a low level of their maintainability in the domestic agro-industrial complex. In order to avoid unforeseen financial costs associated with equipment downtime due to emergency failures of their hydraulic drives, there is a need to identify the prerequisites for their efficiency loss in advance by using effective methods and means of monitoring the technical condition of machines in operation. The aim of the article is to analyse the applicability of methods for monitoring the*

Ляшенко Д. О., Мельянцов П. Т.

*technical condition of hydraulic drives in agricultural machinery and to substantiate the prospects for their improvement, in accordance with the level of modern information technology development and the conditions of the material and technical base of the domestic agro-industrial complex. To achieve this goal, a structural, logical, and comparative analysis of materials from periodicals and electronic information sources on the relevant topics was conducted. The article considers the known methods for diagnosing hydraulic drives and trends in improving the means of monitoring the technical condition through information technology. The study showed that the methods of the non-destructive testing group are the most applicable in conditions of weak material and technical base. Among the existing methods aimed at improving the process of monitoring the technical condition of agricultural machinery are remote diagnostic systems that combine the diagnostic parameters reading and their remote processing on electronic computers. Currently, artificial neural networks are being actively developed, which are finding their way into the monitoring hydraulic drive technical condition and can significantly improve the overall level of the planned preventive maintenance system.*

**Keywords:** *agricultural machinery, hydraulic system, information technology, technical condition, diagnostics, artificial neural networks*