

## ПЕРСПЕКТИВИ ПОЄДНАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ В МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИНАХ

**Кравченко Василь Валерійович**

кандидат технічних наук, доцент  
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна  
ORCID: 0000-0003-2334-0705  
kr.vasyl.v@gmail.com

**Войтік Андрій Володимирович**

кандидат технічних наук, доцент  
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна  
ORCID: 0000-0002-8196-3102  
av.afex81@gmail.com

**Пушка Олександр Сергійович**

кандидат технічних наук, доцент  
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна  
ORCID: 0000-0002-6481-8536  
pushka79@ukr.net

**Кутковецька Тетяна Олександрівна**

кандидат економічних наук, доцент  
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна  
ORCID: 0000-0002-4879-2954  
tanya\_kut@ukr.net

Сучасні системи гідроприводу мають доволі низьку енергетичну ефективність, яка складає лише близько 21-22%, цьому сприяють застосування великої кількості керуючих дроселюючих клапанів та втрати енергії безпосередньо в гідролініях та гідропристроях. Одним із способів зменшення втрат енергії в гідросистемах мобільних машинах є поєднання гідравлічного та електричного приводів. Додатковою перевагою такого поєднання є також можливість рекуперації саме електричної енергії, що підвищує енергоефективність таких машин.

Підвищення ефективності машин шляхом відмови від централізованої системи гідроприводу з клапанним керуванням потоком рідини та переходу до зонального гідроприводу з електро-насосним керуванням потоком міститься в багатьох наукових працях, де зазначається висока енергетична ефективність децентралізованих систем гідроприводу (до 75% порівняно з традиційними системами).

Ступінь насичення сільськогосподарських машин гідравлічним приводом різниться, залежно від функціонального призначення цих машин їх інноваційних вдосконалень та вартості. Поєднання електричного та гідравлічного приводів в цих машинах можна розглядати в декількох напрямках: електричне керування гідравлічною апаратурою та керування потоком з допомогою електричних двигунів, які можуть змінювати швидкість обертання валу привода гідравлічного насоса. В свою чергу застосування електричного приводу для привода гідравлічних елементів може застосовуватись у наступних варіантах: гібридна концепція, коли в загальну схему гідроприводу вводяться привідні елементи електроприводу; концепція загального гідроприводу, коли один електричний двигун та гідравлічний насос використовують для роботи всієї гідравлічної системи машини; концепція зонального гідроприводу, коли на кожний виконавчий механізм встановлюється окремий електродвигун в парі з гідравлічним насосом.

Аналіз існуючих способів вдосконалення систем гідроприводу шляхом поєднання його з електроприводом показує, що більш перспективним вважається розвиток зональних та гібридних електрогідравлічних систем, а більшість останніх наукових розробок пов'язаних з електрогідравлічним приводом відносяться до тракторів загального призначення та самохідних машин, де в основному досліджуються централізовані та децентралізовані електрогідравлічні системи.

**Ключові слова:** сільськогосподарські машини, гідропривід, електропривід, електрогідравлічні системи.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.7>

**Вступ.** Питання переходу приводу сільськогосподарських машин на електричні джерела енергії постає в умовах глобальної мети зменшення викидів шкідливих газів в атмосферу для сповільнення темпів зміни клімату (Huang et al., 2018; Sharpe, 2019; Gonzalez-de-Soto et. Al., 2016). З іншої сторони ставиться завдання

щодо підвищення ефективності гідроприводу машин. Адже гідропривід, завдяки таким своїм властивостям як надійне забезпечення передачі необхідної потужності та зусилля, а також надійності та міцності самої системи залишається головним привідним механізмом в багатьох стаціонарних машинах різних галузей промисловості та

спеціальних мобільних машин до яких відносяться і сільськогосподарські машини (Exner, 1991).

Сучасні системи гідроприводу мають доволі низьку енергетичну ефективність, яка складає лише близько 21-22% (Qu, 2020; Love et al., 2012), цьому сприяють застосування великої кількості керуючих дроселюючих клапанів та втрати енергії безпосередньо в гідролініях та гідропристроях (Васса, 2018). Одним із способів зменшення втрат енергії в гідросистемах мобільних машинах є поєднання гідравлічного та електричного приводів, коли електричні пристрої допомагають керувати гідроприводом чи замінюють якісь його елементи (Inderelst et al., 2020). Електричні двигуни мають великий крутний момент, тому електричний привід найкраще реалізуються при використанні його для різних оборотних операцій, таких як привід ходових коліс машин, для прикладу (Baek et al., 2022). Але операції пов'язані з лінійними переміщеннями гірше реалізуються електричним приводом, особливо при виконанні енергозатратних точних операцій. Таку роботу найкраще виконують саме гідравлічні пристрої, які є компактними, надійними та можуть забезпечити паралельну роботу декількох циліндрів, що є особливо важливим для сільськогосподарських машин (Fassbender et al., 2021). Саме тому все більше наукових досліджень спрямовується на поєднання цих приводів в машинах для отримання максимальної енергетичної ефективності при забезпеченні необхідної надійності системи. Практичне зниження витрат палива при використанні таких гібридних систем може становити до 10-50% порівняно із застосуванням традиційного гідравлічного приводу (Lajunen & Suomela, 2012). Додатковою перевагою такого поєднання є також можливість рекуперації саме електричної енергії, що підвищує енергоефективність таких машин (Zhang et al., 2019).

Постановка завдання. Проаналізувати існуючі способи вдосконалення систем гідроприводу шляхом поєднання їх з електроприводом, які використовуються або можуть використовуватись в машинах сільськогосподарського призначення.

**Матеріали і методи досліджень.** Питання удосконалення гідроприводу машин завжди було актуальним (Quan et al., 2021; Padovani et al., 2020; Ristic & Wahler, 2018). Підвищення ефективності машин шляхом відмови від централізованої системи гідроприводу з клапанним керуванням потоком рідини та переходу до зонального гідроприводу з електро-насосним керуванням потоком міститься в багатьох наукових працях (Zhang et al., 2017; Pietrzyk et al., 2018). Огляд та класифікація таких систем з їхніми перевагами та недоліками наведені в роботі (Ketelsen et al., 2019), де також зазначається висока енергетична ефективність децентралізованих (зональних) систем гідроприводу (до 75% порівняно з традиційними системами), а вектор наукових досліджень необхідно направити на вдосконалення їх надійності та керованості. А в роботі (Qu et al., 2022) обґрунтовується розробка компактного комбінованого пристрою, який поєднує в собі електричний двигун та гідравлічний насос.

Авторами (Fassbender et al., 2021) проведено огляд останніх досліджень в області електро-гідравлічних систем для важких мобільних спеціальних машин. В результаті аналізу виробничих новацій та наукових праць останніх десятиріч зроблено висновки, що для важких мобільних спеціальних машин швидше відбуваються впровадження вдосконалених централізованих гідравлічних систем з клапанним регулюванням, які на сьогодні вважаються менш прогресивними, ніж новітніх децентралізованих електрогідравлічних систем. Актуальність переходу на децентралізовані електрогідравлічні системи також відображається в роботі (Lodewyck & Zurbrugg, 2016), де на прикладі екскаватора показано переваги такої системи.

Перспективи розвитку та впровадження електрифікованих привідних систем в спеціальних позашляхових мобільних машинах безпосередньо пов'язані з розвитком можливих джерел електричної енергії для живлення привідних електродвигунів (Lajunen et al., 2018). На сьогодні найбільш поширеними є літій-іонні батареї (Lu et al., 2013), але розвиваються і інші типи батарей (Campillo et al., 2015). Поряд з дослідженням батарей також розвиваються технології ультраконденсаторів, які дають можливість накопичувати велику кількість енергії за короткі проміжки часу (Li et al., 2016; Burke & Miller, 2011).

**Результати досліджень.** Ступінь насичення сільськогосподарських машин гідравлічним приводом різниться, залежно від функціонального призначення цих машин їх інноваційних вдосконалень та вартості. Але, зазвичай, навіть самі прості причіпні машини, такі як борони, культиватори чи котки, як мінімум оснащені гідравлічними системами опускання і підйому їх в робоче і транспортне положення. А самохідні збиральні машини чи оприскувачі можна класифікувати як важкі спеціальні позашляхові машини, основні виконавчі органи яких приводяться в рух з допомогою елементів гідроприводу.

Удосконаленнями приводів мобільних машин є поєднання переваг гідравлічного та електричного приводів та відповідно уникання недоліків вказаних приводів, дані системи ще називають гібридними системами. Гібридність таких систем виражається в тому, що рух робочих органів може відбуватись безпосередньо від гідроприводу або електроприводу, а також джерелом енергії для даних систем можуть бути генератор, акумулятор чи гідроакумулятор (рис. 1).

Для прикладу, переваги гібридної системи керування стосовно втрат енергії порівняно з гідравлічною Load Sensing наведено в роботі (Li et al., 2019).

Основною метою даної розробки є уникання використання дроселюючих гідравлічних апаратів і здійснення керування двигунами з допомогою гідро-електричних керуючих модулів (ГЕКМ) (рис. 2), що також додатково дає можливість рекуперації як електричної так і гідравлічної енергії. Дана система поєднує в собі переваги як електро так і гідроприводу, а саме: передача енергії відбувається саме через гідропривід, електропривід забезпечує точний контроль керування, рекуперована енергія накопичується як в гідроакумуляторах так і в електричних батареях.

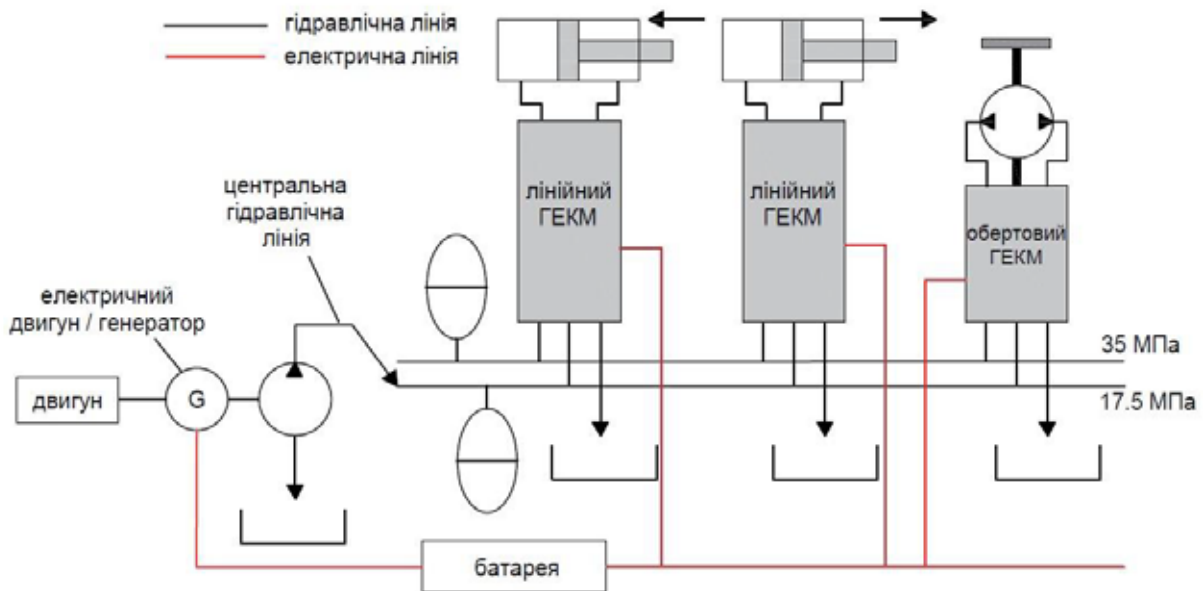


Рис. 1. Схема гібридної гідро-електричної установки (Li et al., 2019)

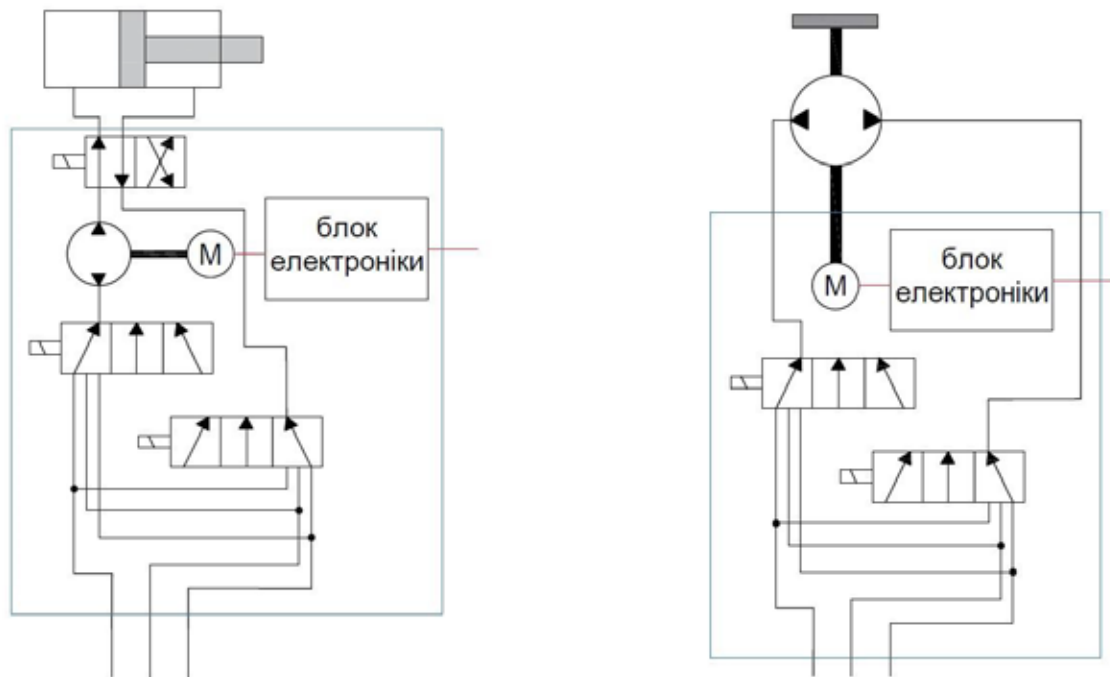


Рис. 2. Гідро-електричні керуючі модулі гібридної гідро-електричної установки: лінійний та обертовий (Li et al., 2019)

Результати досліджень (Li et al., 2019) показують (рис. 3), що при використанні гібридної системи керування гідроприводом, в даному випадку, сумарні втрати енергії зменшуються на майже на 40%, а можливість системи рекуперувати енергію збільшилась у два рази.

Поєднання електричного та гідралічного приводів можна розглядати в декількох напрямках (рис. 4), а саме: електричне керування гідралічною апаратурою та керування потоком з допомогою електричних двигунів, які можуть змінювати швидкість обертання валу привода гідралічного насоса.

В свою чергу застосування електричного приводу для приводу гідралічних елементів може застосовуватись у наступних варіантах: гібридна концепція, коли в загальну схему гідроприводу вводяться відповідні елементи електроприводу; концепція загального гідроприводу, коли один електричний двигун та гідралічний насос використовують для роботи всієї гідралічної системи машини; концепція зонального гідроприводу, коли на кожний виконавчий механізм встановлюється окремий електродвигун в парі з гідралічним насосом. Остання концепція вже реалізо-

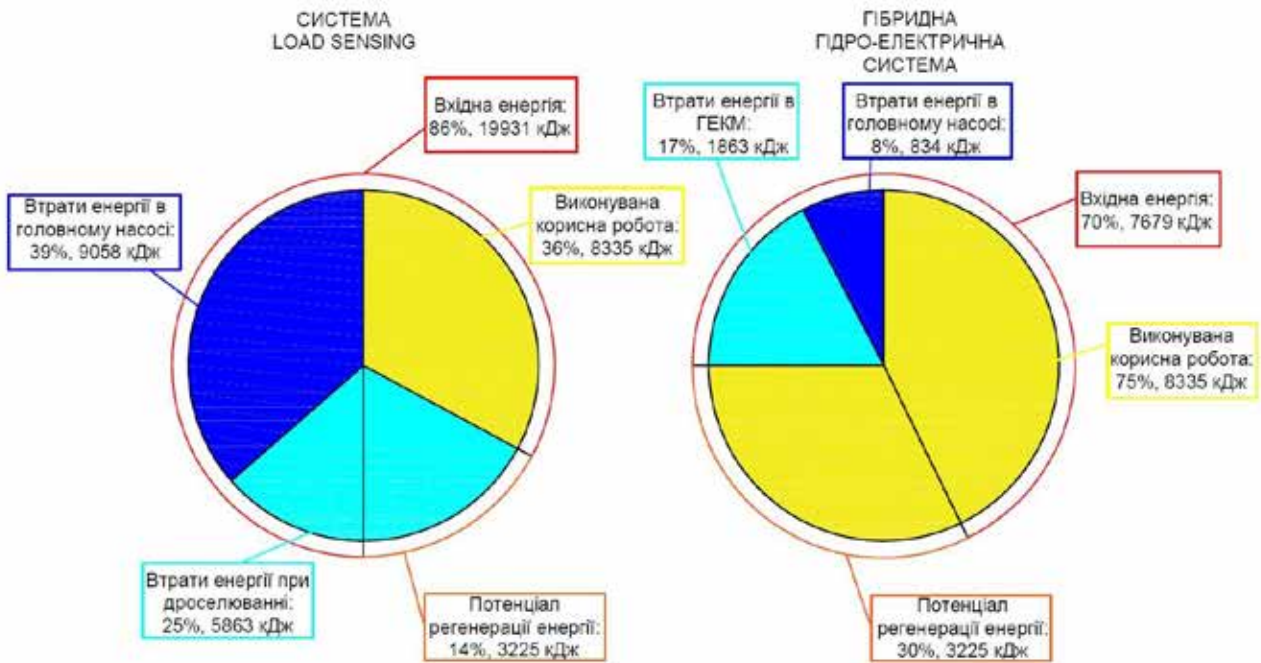


Рис. 3. Порівняння енергетичної ефективності роботи гідроприводу з системами Load sensing та Гібридною гідроелектричною системою (Li et al., 2019)



Рис. 4. Поєднання електричного та гідравлічного приводів

вана на літаках та стаціонарних гідравлічних машинах (Ivantysynova, 2002), щодо мобільних спеціальних машин то тут поки що ідуть дослідження та створюються прототипи.

Так, в (Peitsmeyer, 2020) пропонується система зонального гідроприводу, що передбачає створення змінного електричного струму генератором, привід якого можуть забезпечувати різні джерела енергії (рис. 5). Вироблена електрична енергія забезпечує живлення електричних двигунів виконавчих механізмів. Також дана система має здатність до рекуперації та накопичення електричної енергії.

Концепція керування виконавчим механізмом (гідравлічним циліндром чи гідромотором) безпосередньо з допомогою пари електричний мотор-насос (рис. 6) який створює необхідний потік ( $Q_{нас} = Q_{вм}$ ) базується на рівняннях (1-3) (Fassbender et al., 2021):

$$v = \frac{Q_{вм}}{A} \quad (1)$$

$$Q_{нас} = n_{ед} \cdot V_n \quad (2)$$

$$v = \frac{n_{ед} \cdot V_{нас}}{A} \quad (3)$$

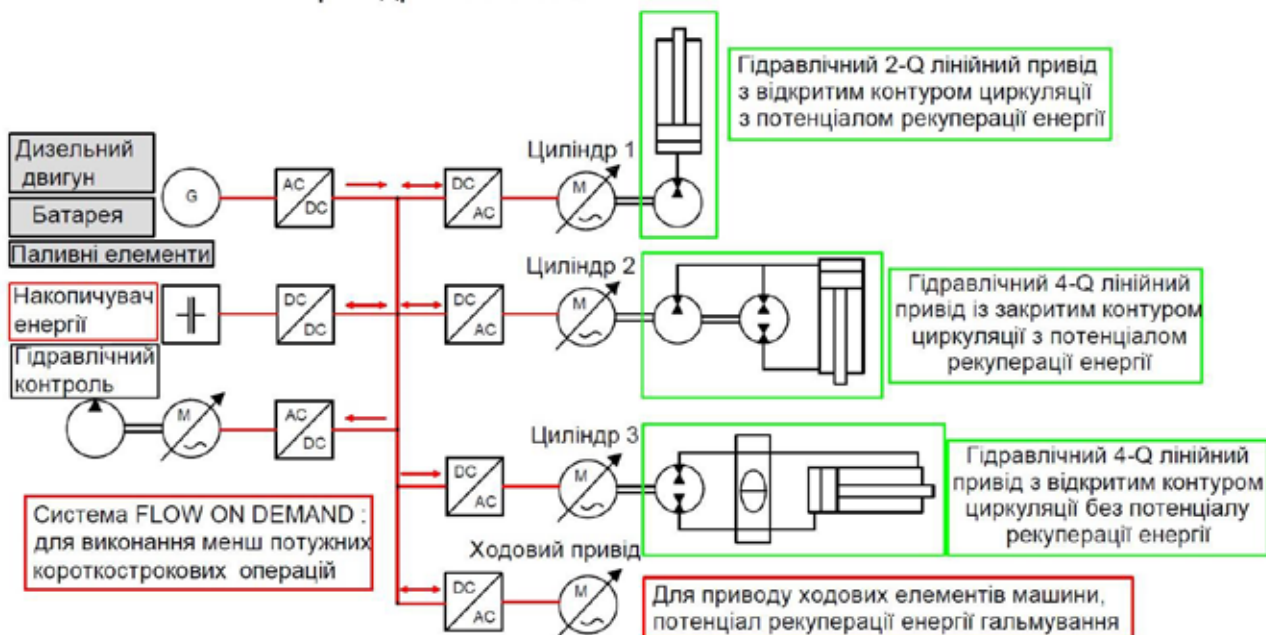


Рис. 5. Приклад електро-гідралічної системи (Peitsmeyer, 2020)

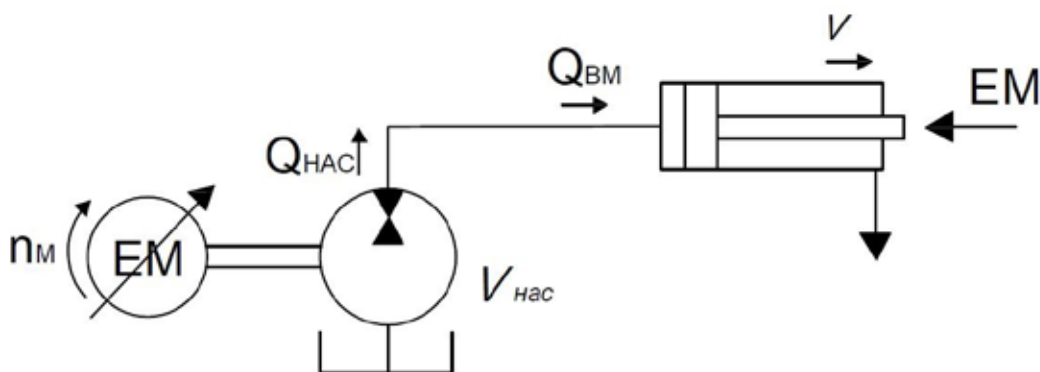


Рис. 6. Керування швидкістю штока гідралічного циліндра з допомогою електродвигуна (Fassbender et al., 2021)

де  $v$  – швидкість руху штока циліндра,  $A$  – площа поршня,  $Q_{нас}$  – подача насоса,  $Q_{вм}$  – подача виконавчого механізму,  $n_{ед}$  – швидкість обертання електродвигуна,  $V_{нас}$  – об'єм насоса.

При такому поєднанні швидкість руху виконавчого механізму напряму залежить від швидкості руху валу електродвигуна і необхідність у додаткових регулювальних пристроях відпадає. Крім того, зворотній рух робочих органів під дією зовнішніх сил примусить обертатись вал електричного двигуна, що дозволить йому працювати в режимі генератора і виробляти при цьому електричну енергію.

Також до переваг зонального гідроприводу можна віднести зменшення довжини гідралічних ліній вздовж машини, що призведе до зменшення втрат на опір в цих гідролініях та до збільшення його жорсткості; плюс гідралічна система буде більш компактною.

Але впровадження зонального гідроприводу тягне за собою і деякі виклики які потрібно вирішити. По-перше

це обслуговування робочої рідини (Michel & Weber, 2017), адже за відсутності центрального резервуару необхідно передбачити такий резервуар в зоні роботи кожного виконавчого механізму, також при цьому необхідно забезпечити очищення робочої рідини та підтримання її в заданому температурному режимові. Відомо, що температурний режим робочої рідини впливає на її в'язкість та можливість появи такого негативного явища як кавітація при низькій температурі робочої рідини та підвищених виточках, зменшенню змащення та як наслідок зменшення ресурсу роботи гідроприводу при підвищених температурах робочої рідини.

Ще однією проблемою може бути наявність вільного місця на машинах, адже однією з переваг класичних схем гідроприводу в мобільних машинах є саме компактність гідроприводів. При зональному розміщенні гідроприводів виникає необхідність виділення місця на машині біля виконавчого механізму для розміщення додатково елек-



Рис. 7. Трактор John Deere 6210R з електричним двигуном який живиться електроенергією через кабель

тричного двигуна, насоса та іншого гідравлічного обладнання, при цьому також необхідно враховувати масу встановлюваного обладнання (Ketelsen et al., 2019).

Також, в концепції зонального гідроприводу передбачається наявність на кожній причіпній машині власного комплекту гідроприводу з електричним двигуном, живлення якого буде забезпечувати ведучий енергозасіб. Очевидно що це призведе до здороження причіпних машин та неможливості агрегатування машин випущених раніше з такими енергозасобами за умови відсутності в них гідравлічних виходів (Fassbender et al., 2021).

Коли мова йде про вдосконалення машин шляхом застосування в них електричного приводу одним з варіантів є заміна двигуна внутрішнього згорання електричним двигуном. Тобто, гідравлічна система машини не змінюється і, відповідно, її ефективність залишається такою ж. В даному випадку використовуються відомі переваги електричних двигунів відносно двигунів внутрішнього згорання (Moreda et al., 2016), такі як підвищений коефіцієнт використання енергії, усунення шкідливих викидів газів та технологічних рідин в навколишнє середовище, можливість застосування таких машин в закритих приміщеннях ферм, складів, теплиць тощо. При реалізації такого підходу відпадає необхідність у оснащенні причіпних сільськогосподарських машин, які агрегатуються з енергетичними засобами, додатковим гідравлічним обладнанням.

Як приклад відмови від двигуна внутрішнього згорання на користь електродвигуна можна навести прототип John Deere GridCON (Kalociński, 2022), за основу для якого взято трактор John Deere 6210R. Цей електричний трактор оснащений електричним двигуном потужністю

100 кВт, який живиться електроенергією через електричний кабель (рис. 7).

**Обговорення.** Сільськогосподарські машини є важливим інструментом забезпечення економічної безпеки будь-якої країни і тому розвитку та удосконаленню конструкцій сільськогосподарських машин приділяється велика увага. Тенденція подальшої електрифікації та електронізації машин, використання альтернативних джерел енергії в різних галузях плавно переходять і до сільськогосподарської техніки. Очевидні переваги поєднання гідравлічного та електричного приводу, такі як економія енергозатрат та можливість рекуперації енергії, дедалі більше починають реалізуватись на практиці на мобільних машинах, адже сьогодні багато досліджень спрямовані на вдосконалення таких систем та адаптацію їх саме під особливості роботи конкретних механізмів. І питання впровадження їх в сільськогосподарських машинах це питання вже недалекого майбутнього.

**Висновки.** Аналіз існуючих способів вдосконалення систем гідроприводу шляхом поєднання його з електроприводом показує, що відбувається бурхливий розвиток досліджень в даному напрямку. Паралельно досліджуються гібридні, децентралізовані та централізовані електрогідравлічні системи, при цьому окремо приділяється велика увага розвитку джерел електричної енергії та способам її рекуперації. Більш перспективним вважається розвиток зональних та гібридних електрогідравлічних систем, як таких, що дають можливість уникнути втрат енергії в гідроапаратах гідроприводів, а також мають більше можливостей щодо рекуперації енергії. Сільськогосподарські машини відносяться до спеціальних позашляхових машин зі своїми специфічними умовами роботи. Більшість останніх наукових розробок пов'я-

заних з електрогідравлічним приводом відносяться до тракторів загального призначення та самохідних машин, де в основному досліджуються централізовані та децентралізовані гідроелектричні системи. Перспективи впровадження електрогідравлічних систем на причіпних сіль-

ськогосподарських машинах в основному залежать від рівня розвитку та впровадження таких систем на тракторах, які слугують джерелом енергії для таких систем. Хоча можливі варіанти розміщення джерел енергії безпосередньо на причіпних машинах.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Baek, S. Y., Baek, S. M., Jeon, H. H., Kim, W. S., Kim, Y. S., Sim, T. Y., ... & Kim, Y. J. (2022). Traction performance evaluation of the electric all-wheel-drive tractor. *Sensors*, 22(3), 785. <https://doi.org/10.3390/s22030785>
2. Burke, A., & Miller, M. (2011). The power capability of ultracapacitors and lithium batteries for electric and hybrid vehicle applications. *Journal of Power Sources*, 196(1), 514-522. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.06.092>
3. Campillo, J., Ghaviha, N., Zimmerman, N., & Dahlquist, E. (2015, March). Flow batteries use potential in heavy vehicles. In 2015 International conference on electrical systems for aircraft, railway, ship propulsion and road vehicles (ESARS) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ESARS.2015.7101496>
4. Exner, H. (1991). Basic principles and components of fluid technology. Mannesmann Rexroth.
5. Fassbender, D., Zakharov, V., & Minav, T. (2021). Utilization of electric prime movers in hydraulic heavy-duty-mobile-machine implement systems. *Automation in Construction*, 132, 103964. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103964>
6. Gonzalez-de-Soto, M., Emmi, L., Benavides, C., Garcia, I., & Gonzalez-de-Santos, P. (2016). Reducing air pollution with hybrid-powered robotic tractors for precision agriculture. *Biosystems Engineering*, 143, 79-94. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.01.008>
7. Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1906-1916. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>
8. Inderelst, I. M., Prust, I. D., & Siegmund, M. (2020). Electro-hydraulic SWOT-analysis on electro-hydraulic drives in construction machinery. 12th International Fluid Power Conference (12. IFK). Dresden, October 12–14, 2020. <https://doi.org/10.25368/2020.8>
9. Ivantysynova, M. (2002, March). Displacement controlled actuator technology-future for fluid power in aircraft and other applications. In Proc. of the 3rd International Fluid Power Conference (3. IFK) (Vol. 2, pp. 425-440).
10. Kalociński, T. (2022). Modern trends in development of alternative powertrain systems for non-road machinery. *Combustion Engines*, 61(1). <https://doi.org/10.19206/CE-141358>
11. Ketelsen, S., Andersen, T. O., Ebbesen, M. K., & Schmidt, L. (2019, October). Mass estimation of self-contained linear electro-hydraulic actuators and evaluation of the influence on payload capacity of a knuckle boom crane. In Fluid Power Systems Technology (Vol. 59339, p. V001T01A045). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/FPMC2019-1689>
12. Ketelsen, S., Padovani, D., Andersen, T. O., Ebbesen, M. K., & Schmidt, L. (2019). Classification and review of pump-controlled differential cylinder drives. *Energies*, 12(7), 1293. <https://doi.org/10.3390/en12071293>
13. Lajunen, A., Sainio, P., Laurila, L., Pippuri-Mäkeläinen, J., & Tammi, K. (2018). Overview of powertrain electrification and future scenarios for non-road mobile machinery. *Energies*, 11(5), 1184. <https://doi.org/10.3390/en11051184>
14. Lajunen, A., & Suomela, J. (2012). Evaluation of energy storage system requirements for hybrid mining loaders. *IEEE transactions on vehicular technology*, 61(8), 3387-3393. <https://doi.org/10.1109/TVT.2012.2208485>
15. Li, P. Y., Siefert, J., & Bigelow, D. (2019, October). A hybrid hydraulic-electric architecture (HHEA) for high power off-road mobile machines. In Fluid Power Systems Technology (Vol. 59339, p. V001T01A011). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/FPMC2019-1628>
16. Li, T., Liu, H., Zhao, D., & Wang, L. (2016). Design and analysis of a fuel cell supercapacitor hybrid construction vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(28), 12307-12319. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.040>
17. Lodewyckx, I. J., & Zurbrugg, D. I. P. (2016). Decentralized energy-saving hydraulic concepts for mobile working machines. 10th International Fluid Power Conference (10. IFK) March 8 – 10, 2016, Vol. 2, pp. 79-90.
18. Love, L. J., Lanke, E., & Alles, P. (2012). Estimating the impact (energy, emissions and economics) of the US fluid power industry. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. <https://doi.org/10.2172/1061537>
19. Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of power sources*, 226, 272-288. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.060>
20. Michel, S., & Weber, J. (2017, October). Investigation of self-contamination of electrohydraulic compact drives. In Proceedings of the 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, Fukuoka, Japan (pp. 24-27).
21. Moreda, G. P., Muñoz-García, M. A., & Barreiro, P. J. E. C. (2016). High voltage electrification of tractor and agricultural machinery—A review. *Energy Conversion and Management*, 115, 117-131. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.018>
22. Padovani, D., Rundo, M., & Altare, G. (2020). The working hydraulics of valve-controlled mobile machines: Classification and review. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 142(7), 070801. <https://doi.org/10.1115/1.4046334>
23. Peitsmeyer D. (2020) High-efficiency hydraulics for electrically powered machines. *Fluid Power World*. p. 44-48. [https://issuu.com/wtwhmedia/docs/fpw\\_october\\_2020](https://issuu.com/wtwhmedia/docs/fpw_october_2020)
24. Pietrzyk, T., Roth, D. J., Schmitz, K., & Jacobs, G. (2018). Design study of a high-speed power unit for electro hydraulic actuators (EHA) in mobile applications (pp. 233-245). Universitätsbibliothek der RWTH Aachen. <https://doi.org/10.18154/RWTH-2018-224632>
25. Qu, S., Vacca, A., Fassbender, D., Busquets, E., & Rexroth, B. (2020, October). Formulation, Design and Experimental Verification of an Open Circuit Electro-Hydraulic Actuator. In Proceedings of the 2020 IEEE Global Fluid Power Society PhD

Symposium (GFPS), Online (pp. 19-21). URL [https://www.researchgate.net/publication/344773454\\_Formulation\\_Design\\_and\\_Experimental\\_Verification\\_of\\_an\\_Open\\_Circuit\\_Electro-Hydraulic\\_Actuator](https://www.researchgate.net/publication/344773454_Formulation_Design_and_Experimental_Verification_of_an_Open_Circuit_Electro-Hydraulic_Actuator).

26. Qu, S., Zappaterra, F., Vacca, A., Liu, Z., & Busquets, E. (2022). Design and Verification of An Open-Circuit Electro-Hydraulic Actuator System with An Integrated Electro-Hydraulic Unit. In Proceedings of the 13th International Fluid Power Conference (13. IFK), Aachen, Germany, 13–15 June 2022.

27. Quan, Z., Ge, L., Wei, Z., Li, Y. W., & Quan, L. (2021). A survey of powertrain technologies for energy-efficient heavy-duty machinery. Proceedings of the IEEE, 109(3), 279-308. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2021.3051555>

28. Ristic, M., & Wahler, M. (2018). Electrification of hydraulics opens new ways for intelligent energy-optimized systems. Universitätsbibliothek der RWTH Aachen.

29. Sharpe, B. (2019). Zero-emission tractor-trailers in Canada. Retrieved from the International Council on Clean Transportation website: <https://theicct.org/publications/zero-emissiontractor-trailers-canada>.

30. Vacca, A. (2018). Energy efficiency and controllability of fluid power systems. Energies, 11(5), 1169. <https://doi.org/10.3390/en11051169>

31. Zhang, W., Wang, J., Du, S., Ma, H., Zhao, W., & Li, H. (2019). Energy management strategies for hybrid construction machinery: Evolution, classification, comparison and future trends. Energies, 12(10), 2024. <https://doi.org/10.3390/en12102024>

32. Zhang, S., Minav, T., & Pietola, M. (2017, December). Decentralized hydraulics for micro excavator. In Proceedings of 15: th Scandinavian International Conference on Fluid Power, June 7-9, 2017, Linköping, Sweden (No. 144, pp. 187-195). Linköping University Electronic Press. <https://doi.org/10.3384/ecp17144187>

**Kravchenko V. V., PhD, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine**

**Voitik A. V., PhD, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine**

**Pushka O. S., PhD, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine**

**Kutkovetska T. O., PhD, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine**

#### **Prospects of combination of hydraulic and electric drives in mobile agricultural machines**

*Modern hydraulic drive systems have a relatively low energy efficiency, which is only about 21-22%, this is facilitated by the use of a large number of control throttle valves and energy loss directly in hydraulic lines and hydraulic devices. One of the ways to reduce energy losses in hydraulic systems of mobile machines is the combination of hydraulic and electric drives. An additional advantage of such a combination is also the possibility of recovering electrical energy, which increases the energy efficiency of such machines.*

*Increasing the efficiency of machines by abandoning the centralized hydraulic drive system with valve control of the fluid flow and switching to the zonal hydraulic drive with electric pump flow control is contained in many scientific works, which note the high energy efficiency of decentralized hydraulic drive systems (up to 75% compared to traditional systems).*

*The degree of saturation of agricultural machines with a hydraulic drive varies, depending on the functional purpose of these machines, their innovative improvements and cost. The combination of electric and hydraulic drives in these machines can be considered in several directions: electric control of hydraulic equipment and flow control with the help of electric motors that can change the speed of rotation of the drive shaft of the hydraulic pump. The use of an electric drive to drive hydraulic elements can be used in the following variants: a hybrid concept, when the drive elements of an electric drive are introduced into the general scheme of the hydraulic drive; the concept of a general hydraulic drive, when one electric motor and a hydraulic pump are used to operate the entire hydraulic system of the machine; the concept of zonal hydraulic drive, when a separate electric motor paired with a hydraulic pump is installed on each actuator.*

*The analysis of existing ways of improving hydraulic drive systems by combining it with an electric drive shows that the development of zonal and hybrid electro-hydraulic systems is considered more promising. Majority of the latest scientific developments with the electro-hydraulic drive relate to general-purpose tractors and self-propelled machines, which contain researches of centralized and decentralized electro-hydraulic systems.*

**Key words:** agricultural machines, hydraulic drive, electric drive, electro-hydraulic systems.