

Всеукраїнський науково-технічний журнал

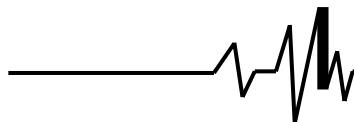
Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2021-3

Вібрації в техніці та технологіях



**ВІБРАЦІЇ В
ТЕХНІЦІ ТА
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального
спрямування Видавець: Вінницький національний
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та
технологіях”

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової
інформації*

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та
технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця,
2021. – 3 (102) – 117 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного
університету (протокол № 2 від 28.09.2021 р.).*

*Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки
України від 02.07.2020 р. № 886)*

Головний редактор

Калетнік Г.М. – д.е.н., професор,
академік НААН України, Вінницький
національний аграрний університет

**Заступник головного
редактора**

Адамчук В.В. – д.т.н., проф., акад. НААН
України, Національний науковий центр
“Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства”

Відповідальний секретар

Солона О.В. – к.т.н., доц., Вінницький
національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний університет
біоресурсів і природокористування України

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Деревенько І.А. – к.т.н., доцент,
Національний університет «Львівська
політехніка»

Зіньковський А.П. – д.т.н., професор,
Інститут проблем міцності імені Г. С.
Писаренка НАН України

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Матвєєв В.В. – д.ф.-м.н., професор,
академік НАН, Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України

Надуть В.П. – д.т.н., професор, Інститут
геотехнічної механіки імені М.С. Полякова
НАН України

Ольшанський В.П. – д.ф.-м.н., професор,
Державний біотехнологічний університет

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Севостьянов І.В. – д.т.н., професор,
Вінницький національний аграрний
університет

Твердохліб І.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Цуркан О.В. – д.т.н. доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

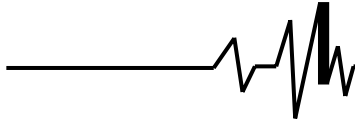
Максімов Джордан Тодоров – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

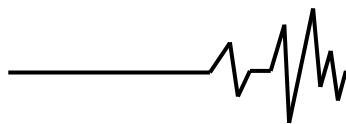
Технічний редактор **Замрій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>

Електронна адреса: vibration.vin@ukr.net

**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН***Бовсуновський А.П.***ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ У КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ
ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ НА СТАДІЇ РЕМОНТУ.....5***Цуркан О.В., Полевода Ю.А., Присяжнюк Д.В.***РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ
ДЛЯ СИНТЕЗУ ОЗОНУ У ВІБРАЦІЙНІЙ СУШАРЦІ.....15***Булаєков В. М., Кувачов В.П., Солоня О. В., Борис М.М.***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КОЛИВАНЬ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ.....24***Ольшанський В. П., Сліпченко М.В., Солоня О.В, Купчук І.М.***ПРО АНАЛІТИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК РІВНЯННЯ СИЛИ УДАРУ ДВОХ ПРУЖНИХ ТІЛ.....34***Іскович-Лотоцький Р.Д., Веселовська Н.Р, Гнатюк О.Ф.***ПЕРСПЕКТИВНИЙ ВІБРОУДАРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ.....43***Ярошенко Л.В., Чубик Р.В., Деревенько І.А.***ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ
ДЕБАЛАНСНИМ ВІБРОПРИВОДОМ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН НА ОСНОВІ ШТУЧНОЇ
НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ52***Спірін А.В., Твердохліб І.В., Замрій М.А.***ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВО-ГРАВІТАЦІЙНОГО
СЕПАРАТОРА ТЕРКОВОГО ПРИСТРОЮ.....64****2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА***Gaidamak O., Matviychuk V.***CREATION OF ELECTRIC CONDUCTIVE COATINGS USING GAS-DYNAMIC SPRAYING.....72***Гулько І.В.***ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ТИСКУ ПРИ РОБОТІ ГІДРАВЛІЧНОЇ
СИСТЕМИ ІЗ ЧОТИРМА ПОСЛІДОВНО СПОЛУЧЕНИМИ ГІДРОМОТОРАМИ.....81***Руткевич В.С., Яропуд В.М., Купчук І.М., Остапчук О.О.***ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІДРОПРИВОДА
ВІДОКРЕМЛЮВАЧА СТЕБЛОВИХ КОРМІВ З ТРАНШЕЙНИХ СХОВИЩ.....88****3. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА***Цуркан О. В., Спірін А. В., Твердохліб І. В.***ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТІВ ВІБРАЦІЙНОГО СУШІННЯ...100***Севостьянов І. В., Мельник О. С., Підлипна М. П.***ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ КЛАСИФІКАЦІЇ СУХОЇ
ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ СХЕМ ЇЇ НАВАНТАЖЕННЯ.....109**

**Гулько І. В.**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Hunko I.**

PhD of Eng., Associate Professor

**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.363:636.22/28****DOI: 10.37128/2306-8744-2021-3-9****ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ
ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ТИСКУ ПРИ
РОБОТІ ГІДРАВЛІЧНОЇ
СИСТЕМИ ІЗ ЧОТИРМА
ПОСЛІДОВНО СПОЛУЧЕНИМИ
ГІДРОМОТОРАМИ**

Публікація присвячена питанням дослідження якості роботи гідравлічної системи із чотирма послідовно сполученими гідромоторами. Дані гідравлічні системи можуть бути застосовані для приводу робочих органів сільськогосподарських машин, мають значні переваги у своїй компоновці, але разом із тим і недоліки, усунення яких потребує детального дослідження процесів, що відбуваються при роботі даного виду систем.

Проведений аналіз попередніх робіт науковців у даній галузі дає змогу зробити висновок про можливість проведення теоретичних досліджень у даному напрямку.

Розроблено математичну модель запропонованої гідравлічної системи, яка враховує вплив зовнішнього навантаження на вали гідромоторів, інерційність системи, вплив витоків із з'єднань елементів гідравлічної системи та можливих перетікань робочої рідини із зони високого тиску у зону низького тиску.

На даному етапі хвильові процеси, що протікають у порожнинах гідравлічної системи не враховувались.

Розв'язання отриманої системи диференціальних рівнянь відбувалось за допомогою методу Рунге-Кутти-Фельдберга із автоматичною зміною кроку інтегрування у математичному пакеті MathCad. Отримані перехідні процеси аналізувались на предмет амплітуди стрибків тиску та частоти його зміни. Проведення даного аналізу дає змогу отримати вичерпну інформацію про характер перехідних процесів у гідравлічній системі з метою пошуку такого співвідношення конструктивних та технологічних параметрів, при якому досліджувана система забезпечувала вимоги що до якості роботи у складі технологічної машини.

Особлива увага при проведенні досліджень була приділена процесам що відбувались у момент запуску гідравлічної системи, та момент прикладання технологічного навантаження.

Ключові слова: *гідравлічна система, послідовне сполучення гідроагрегатів, математична модель, метод Рунге-Кутти-Фельдберга, перехідні процеси, коливання тиску.*

Постановка проблеми. Як зазначається у [1], застосування гідравлічних приводів у сучасних сільськогосподарських машини із кожним роком зростає. Гідравлічний привод має досить значні переваги у порівнянні із механічним або електричним, а саме малу

металоємність, високий ККД, компактність, надійність, що зумовило його широке застосування, незважаючи на досить високу вартість елементів що входять до його складу.

На сьогодні, одним із напрямів розвитку сільськогосподарської техніки є збільшення



ширини захвату, з метою забезпечення рівномірного обробітку площі сільськогосподарських угідь за один прохід агрегату. У даному випадку застосування гідравлічних приводів є доцільним і актуальним, особливо якщо конструкцією машини передбачено декілька робочих органів, розташованих на значній відстані від джерела живлення.

Як зазначено у [2] розподілити енергію робочої рідини між двома споживачами, можливо за рахунок послідовного або паралельного з'єднання гідроагрегатів. Застосування паралельного з'єднання гідравлічних машин є досить поширеним, відомі різноманітні конструкції ділильників потоків, але у випадку значної віддаленості виконавчих гідроагрегатів збільшуються об'єми порожнин, що у свою чергу може спричинити виникнення хвильових процесів та призвести до небажаних наслідків.

Альтернативним видом побудови гідравлічної системи є послідовне сполучення гідромоторів. У випадку застосування послідовного сполучення гідравлічних машин, значно зменшуються об'єми з'єднувальних порожнин, зменшується кількість насосного обладнання та витримується вимога простоти та надійності компонування сільськогосподарської машини.

Отже питання дослідження та формулювання методик для конструювання таких гідравлічних систем є актуальним.

Аналіз останніх досліджень. На сьогодні питання дослідження процесів, які відбуваються у гідравлічних системах з метою їх оптимізації, формулювання рекомендацій для їх проектування вирішувалось багатьма вченими, а саме Т.М. Баштою, І.А. Немировським, В.П. Бочаровим, В.Б. Поповим, Л.П. Середою та багатьма іншими.

Питанням проектування та дослідження роботи гідравлічної системи приводів робочих органів присвячена робота [2]. Особливістю розглянутої гідравлічної системи є наявність у її складі виконавчих гідравлічних машин як обертової так і лінійної дії. Живлення системи відбувається від однієї насосної станції. Для

забезпечення якісної роботи запропонованої гідравлічної системи використовується ділильник потоку чутливий до навантаження. Перевагою запропонованої конструкції є її економічність у використанні, компактність. До недоліків слід віднести наявність великої кількості запобіжної та слідкуючої апаратури, яка у свою чергу вимагає своєчасного сервісу та контролю.

Дослідженню впливу вимушених коливань тиску на роботу гідравлічної системи присвячена публікація [8]. Визначено, оптимальне розташування джерела пульсацій у системі та запропонована методика розрахунку подібних систем.

Робота [9] присвячена питанням розробки математичних моделей та забезпечення надійності роботи запобіжної та ділильної апаратури. Для зменшення впливу явищ облітерації, запропоновано застосування вібраційного поля на елементи запірно-регулюючої апаратури, що підвищує довговічність даних елементів гідравлічних систем. Недоліком даного підходу є складність конструкцій, та необхідність контролю амплітуди і частоти вимушених осциляційних коливань з метою недопущення виникнення явища резонансу.

Методики оптимізації технічних систем, розглянуті у роботі [10], дозволяють ефективно визначити параметри оптимізації та оцінити їх вплив на роботу системи в цілому.

Отже як видно із проведеного аналізу, даний напрямок є актуальним, і цікавим не тільки з наукової, а і з прикладної точки зору.

Постановка задачі. Розробити математичну модель гідравлічної системи із чотирма послідовно сполученими гідромоторами, та провести аналіз впливу факторів на процеси запуску і роботи даної гідравлічної системи.

Виклад основного матеріалу. Гідравлічну схему даного привода показано на рисунку 1. Гідравлічна система привода складається із насоса Н1, запобіжного клапана КЛ, 4 гідромоторів ГМ1, ..., ГМ4, які приводять у рух робочі органи машини.

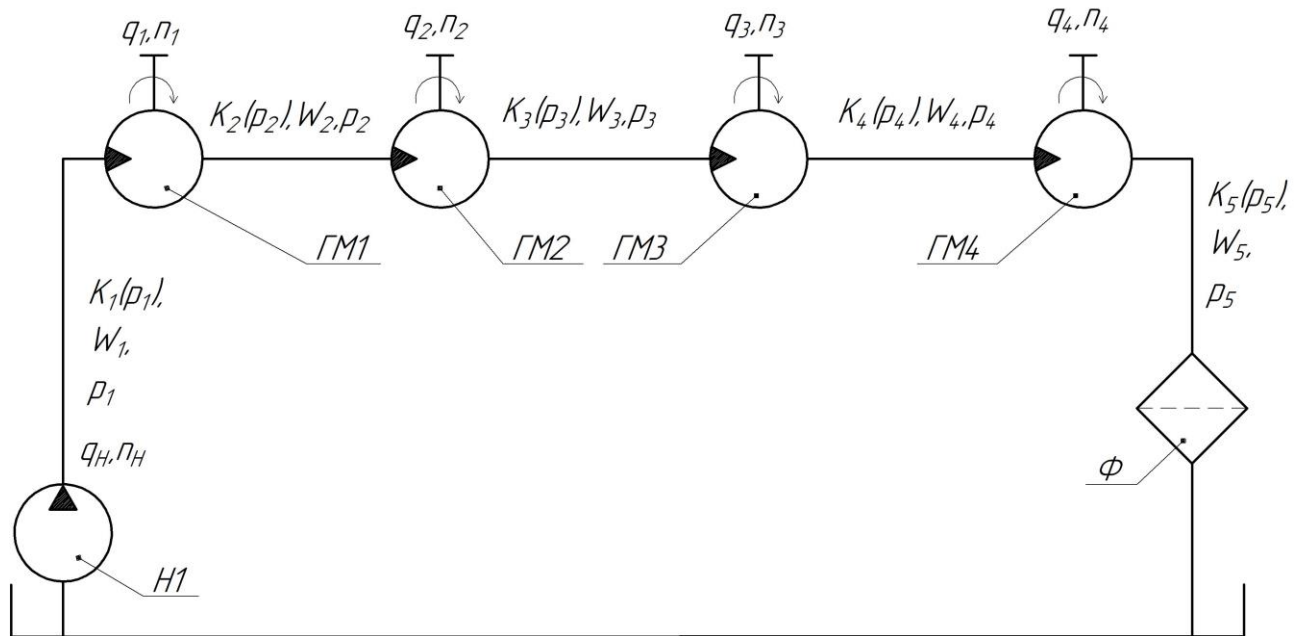
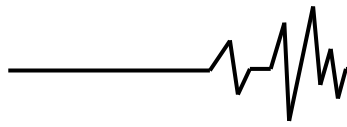


Рис. 1. Гідравлічна схема привода доочисника гички гичкозбиральної машини

При складанні математичної моделі з врахуванням результатів попередніх досліджень були прийняті такі припущення:

- Гідропривід працює у усталеному температурному режимі, тому в'язкість, коефіцієнт витрати, густина робочої рідини не залежать від температури;
- Втрати тиску у внутрішніх каналах гідроагрегатів не враховуються, тому що мають незначну величину;
- Втрати тиску на фільтри Φ незначні і практично незмінні;
- Коефіцієнти витоків і перетоків рідини у складових гідравлічної системи є постійними;
- відстань між елементами гідросистеми незначна, що дозволяє розглядати її як систему з зосередженими параметрами і не розглядати вплив хвильових процесів.

До математичної моделі гідравлічного привода входять наступні рівняння:

1. Рівняння нерозривності потоків робочої рідини на першій ділянці гідравлічної системи

$$Q_H = Q_{M1} + Q_{вум.1} + Q_{пер.12} + Q_{деф.1}, (1)$$

де Q_H – витрати рідини, що надходять у гідравлічну систему від насоса; Q_{M1} – витрати рідини крізь перший гідромотор; $Q_{вум.1}$ – витрати витікання рідини з гідромотора ГМ1; $Q_{пер.1}$ – витрати на перетікання рідини у гідромоторі ГМ1 під дією

перепаду тисків p_1 та p_2 ; $Q_{деф.1}$ – витрата рідини на компенсацію деформації порожнини, що знаходиться під тиском p_1 .

Рівняння нерозривності потоку робочої рідини на вході другого гідромотора має вигляд

$$Q_{M1} + Q_{пер.12} = Q_{M2} + Q_{вум.2} + Q_{пер.2,3} + Q_{деф.2}, (2)$$

де Q_{M2} – витрати рідини крізь другий гідромотор; $Q_{вум.2}$ – витрати витікання рідини з гідромотора ГМ2; $Q_{пер.2,3}$ – витрати на перетікання рідини у гідромоторі ГМ2 під дією перепаду тисків p_2 та p_3 ; $Q_{деф.2}$ – витрата рідини на компенсацію деформації порожнини, що знаходиться під тиском p_2 .

Рівняння нерозривності потоку робочої рідини на вході третього гідромотора має вигляд

$$Q_{M2} + Q_{пер.23} = Q_{M3} + Q_{вум.3} + Q_{пер.34} + Q_{деф.3}, (3)$$

де Q_{M3} – витрати рідини крізь третій гідромотор; $Q_{вум.2}$ – витрати витікання рідини з гідромотора ГМ3; $Q_{пер.2,3}$ – витрати на перетікання рідини у гідромоторі ГМ2 під дією перепаду тисків p_3 та p_4 ; $Q_{деф.2}$ – витрата рідини на компенсацію деформації порожнини, що знаходиться під тиском p_3 .



Рівняння нерозривності потоку робочої рідини на вході четвертого гідромотора має вигляд

$$Q_{M3} + Q_{пер.34} = Q_{M4} + Q_{вит.4} + Q_{пер.45} + Q_{деф.4}, (4)$$

де Q_{M4} – витрати рідини крізь четвертий гідромотор; $Q_{вит.4}$ – витрати витікання рідини з гідромотора ГМ4; $Q_{пер.4,5}$ – витрати на перетікання рідини у гідромоторі ГМ3 під дією перепаду тисків p_4 та p_5 ; $Q_{деф.4}$ – витрата рідини на компенсацію деформації порожнини, що знаходиться під тиском p_4 .

2. Баланс моментів сил, прикладених до валів першого, другого і третього гідромоторів, визначається рівняннями моментів сил, прикладених до валів гідромоторів:

$$M_{\partial 61} = M_{тн1} + M_{ін1} + M_{мп1}, (5)$$

$$M_{\partial 62} = M_{тн2} + M_{ін2} + M_{мп2}, (6)$$

$$M_{\partial 63} = M_{тн3} + M_{ін3} + M_{мп3}, (7)$$

$$M_{\partial 64} = M_{тн4} + M_{ін4} + M_{мп4} (8)$$

де $M_{\partial 6.i}$ – момент, що розвивається i -им гідромотором, $i=1,2,3$; $M_{тн.i}$ – момент технологічного навантаження на i -ому гідромоторі, $i=1,2,3$; $M_{ін.i}$ – момент інерційного навантаження на i -ому гідромоторі, $i=1,2,3$; $M_{мп.i}$ – момент сил тертя, приведений до валу i -ого гідромотора, $i=1,2,3$;

Математична модель (1) – (8) гідравлічного привода робочих органів має вид системи восьми нелінійних диференціальних рівнянь. Загальний порядок системи – дванадцятий. Дослідження цієї моделі викликає певні труднощі, тому було прийнято рішення щодо її спрощення шляхом заміни окремих

нелінійних характеристик лінійними залежностями або заміни нелінійних коефіцієнтів при можливості постійними числовими значеннями, отриманими завдяки експерименту.

Характерною ознакою даної математичної моделі є наявність значної кількості нелінійних залежностей, які описують поведінку елементів даної гідросистеми. Нелінійний характер розробленої математичної моделі, яка має також високий порядок системи диференціальних рівнянь, ускладнює її дослідження, метою яких є детальний аналіз особливостей роботи даної гідросистеми в статичних і динамічних режимах при виконанні робочих операцій та розробка рекомендацій по проектуванню систем даного типу.

Слід зазначити, що для дослідження нелінійних систем у динамічному стані пропонується досить багато прикладних математичних пакетів, таких як MathCad, Maple, MathLab. Розв'язання даної системи можливе практично у будь-якому із цих математичних пакетів, тому для пошуку розв'язків даної системи скористаємось MathCad.

У результаті розв'язання даної системи рівнянь отримаємо перехідні процеси зміни тиску у порожнинах гідросистеми та кутової швидкості гідромоторів, що показані на рисунку 1 при наступному співвідношенні параметрів: $q_1, q_2, q_3 = 40 \text{ см}^3/\text{рад}$, $q_4 = 20 \text{ см}^3/\text{рад}$, $W_1, W_2, W_3, W_4 = 100 \text{ см}^3$, $m_1 = 10 \text{ кг}$, $m_2 = 10 \text{ кг}$, $m_3 = 100 \text{ кг}$, $\square_{мп4} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$, $Q_n = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $O_1A = 0.4 \text{ м}$, $AB = 0.6 \text{ м}$.

Перехідний процес, показаний на рисунку 1 свідчить про наявність коливальних процесів у гідравлічній системі даної машини. Даний перехідний процес є затухаючим, має значне перерегулювання і частоту коливання тиску на рівні 3Гц. Наявність даного перехідного процесу у гідравлічній системі негативно впливає на стійкість і якість роботи машини, призводячи у свою чергу до підвищеного зносу гідромоторів, розриву трубопроводів, збільшення зазорів у механічних з'єднаннях.

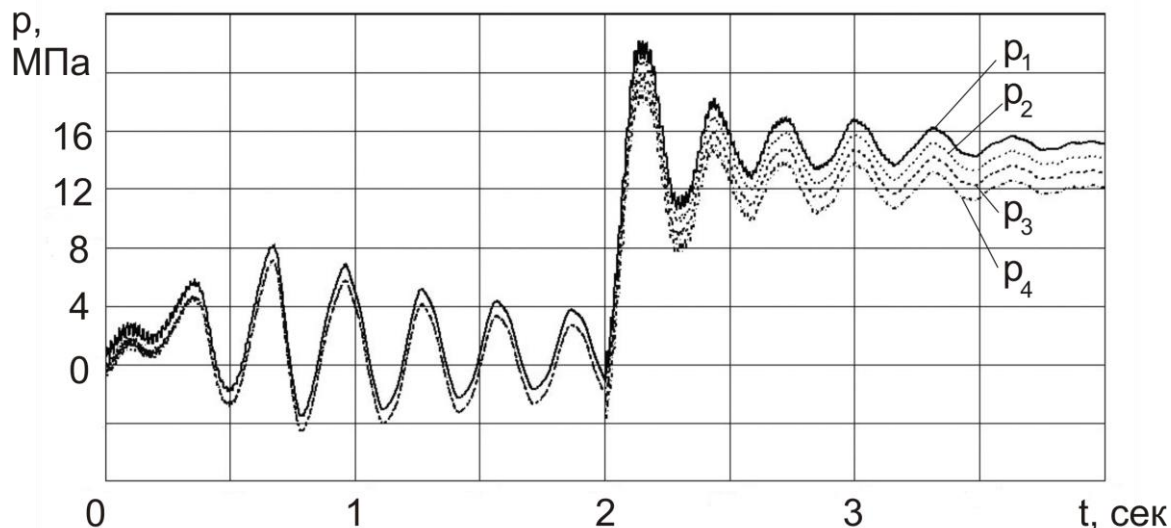
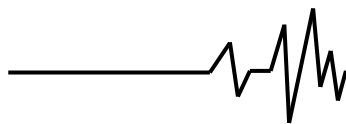


Рис. 2. Перехідні процеси роботи гідравлічної системи при $q_1, q_2, q_3 = 40 \text{ см}^3/\text{рад}$, $q_4 = 20 \text{ см}^3/\text{рад}$.

При проведенні дослідження математичної моделі, було виявлено, що під час пуску чотирьох послідовно сполучених гідромоторів без навантаження на робочі органи виникають автоколивальні та резонансні перехідні процеси, які ускладнюють роботу даної гідравлічної системи, знижують ресурс і негативно впливають на якість роботи сільськогосподарської машини. Тому проведення подальших досліджень у даному напрямку є актуальною і необхідною задачею.

Список використаних джерел

1. Гунько І.В., Стаднік М.І., Шаргородський С.А., Руткевич В.С. Комплексна система фільтрації для замкнених гідросистем сільськогосподарського обладнання. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. №4(112). С.113–125.

2. Shargorodskiy S., Rutkevych V. Influence of physical and mechanical properties of stem feed and design of the working body on the drive power of the cutting mechanism *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. №2(113). С. 38–49.

3. Руткевич В.С. Адаптивний гідравлічний привод блочно-порційного відокремлювача консервованого корму. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №4(99). С. 108–113.

4. Иванов Н., Шаргородский С., Руткевич В. Математическая модель гидропривода блочно-порционного отделителя консервированных кормов. *MOTROL*. 2013. №5. С. 83–91.

5. Ivanov M.I., Rutkevych V.S., Kolisnyk O.M., Lisovoy I.O. Research of the influence of the parameters of the block-portion separator on

the adjustment range of speed of operating elements. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 57/1. P. 37–44.

6. Rutkevych V. Investigation of transitional processes in the adaptive system of hydraulic drives of the mechanism for cutting and unloading stalk fodder *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. №2(101). С. 107–114.

7. Shargorodskiy S., Rutkevych V. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith. *Slovak international scientific journal*. 2021. № 54. С. 10-20.

8. Гунько А.С., Иванов М.І., Шаргородський С.А. Моделювання роботи КШМ привода рамки гичкозрізальної машини. *Збірник наукових праць ВНАУ* Вінниця. 2012. Вип. 10, т. 2(59) С. 54 – 58.

9. Андренко П.М. Побудова математичних моделей гідроапаратів із гідравлічним вібраційним контуром. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2004. №2 (8). С. 15 – 20.

10. Пастушенко, С.І. Питання оптимізації технічних систем. *Збірник наукових праць НАУ "Механізація сільськогосподарського виробництва"*. – Київ: Видавництво НАУ. – 2002. – Т. XI. – С. 266-271.

11. Стаднік М.І., Шаргородський С.А., Руткевич В.С. Забезпечення постійного гістерезису золотникових запобіжних клапанів прямої дії *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. №4(111). С. 100–108.

References

1. Hunko I.V., & Stadnik M.I., & Shargorodskiy S.A., & Rutkevych V.S. (2021). Kompleksna sistema filtratsii dlia zamknytykh hidrosystem silskohospodarskoho obladnannia



[Integrated filtration system for closed hydraulic systems of agricultural equipment]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Engineering, energy, transport of agro-industrial complex*. №4(112).113-125

[in Ukrainian].

2. Shargorodskiy S., Rutkevych V. Influence of physical and mechanical properties of stem feed and design of the working body on the drive power of the cutting mechanism *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. №2(113). С. 38–49.

3. Rutkevych V.S. (2017). Adaptivnyi hidravlichnyi pryvod blochno-portsiinoho vidokremlivacha konservovanoho kormu [Adaptive hydraulic drive block-portable of canned forage block-batch separator] *Vseukrainskyi naukovo-tekhnicnyi zhurnal. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – All-Ukrainian Scientific and Technical Journal. Engineering, power engineering, transport of agroindustrial complexes*, №4, 108-113 [in Ukraine].

4. Ivanov, N., & Sharhorodskiy, S., & Rutkevych, V. (2013). Matema-ticheskaia model hidropivoda blochno-portsionoho otdelitelia konservirovannykh kormov [The mathematical model of the hydraulic drive of the block-portion separator of canned feed]. *MOTROL*, № 5, 83-91 [in Polish].

5. Ivanov, M.I., & Rutkevych, V.S., & Kolisnyk, O.M., & Lisovoy, I.O. (2019). Research of the influence of the parameters of the block-portion separator on the adjustment range of speed of operating elements. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol. 37-44 [in Romania].

6. Rutkevych V. Investigation of transitional processes in the adaptive system of hydraulic drives of the mechanism for cutting and unloading stalk fodder *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. №2(101). С. 107–114.

7. Shargorodskiy S., Rutkevych V. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith. *Slovak international scientific journal*. 2021. № 54. С. 10-20.

8. Hunko, A.S., & Ivanov, M.I., & Shargorodskii, S.A. (2012). Modeliuvannya roboty KShM pryvoda ramky hychkozrizalnoi mashyny [Modeling of work of KShM of a drive of a frame of the hook-cutting machine] *Zbirnyk naukovykh prats VNAU Vinnytsia*. Vyp. 10, t. 2(59). 54-58. [in Ukrainian]

9. Andrenko, P.M. (2004). Pobudova matematichnykh modelei hidroaparativ iz gidravlichnym vibratsiynym konturom [Construction of mathematical models of hydraulic devices with hydraulic vibration circuit] *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnologii*. №2 (8). 15-20.

[in Ukrainian].

10. Pacstyushenko, S.I. (2002). Pytannia optymizatsii tekhnichnykh system [The questions of optimization of technical systems]. *Zbirnyk naukovykh prats NAU “Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva”*. – Kyiv: Vydavnytstvo NAU., T.XI. 266-271 [in Ukraine].

11. Stadnik, M.I., & Shargorodskii, S.A., & Rutkevych, V.S. (2020) Zabezpechennia postoiinogo gisterezysu zolotnykovykh zapobizhnykh klapaniv priamoi dii [Ensuring constant hysteresis of direct spool safety valves] *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Engineering, energy, transport of agro-industrial complex*. №4(111). 100-108 [in Ukraine].

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЧЕТЫРЬМЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ГИДРОМОТОРАМИ

Публикация посвящена вопросам исследования качества работы гидравлической системы с четырьмя последовательно соединенными гидромоторами. Данные гидравлические системы могут быть применены для привода рабочих органов сельскохозяйственных машин, имеют значительные преимущества в своей компоновке, но вместе с тем и недостатки, устранение которых требует детального исследования процессов, происходящих при работе данного вида систем.

Проведенный анализ предыдущих работ ученых в данной области позволяет сделать вывод о возможности проведения теоретических исследований в данном направлении.

Разработана математическая модель предложенной гидравлической системы, которая учитывает влияние внешней нагрузки на валы гидромоторов, инерционность системы, влияние утечек из соединений элементов гидравлической системы и возможных перетоков рабочей жидкости из зоны высокого давления в зону низкого давления.

На данном этапе волновые процессы, протекающие в полостях гидравлической системы не учитывались.

Решение полученной системы дифференциальных уравнений происходило с помощью метода Рунге-Кутты-Фельдберга с автоматической сменой шага интегрирования в математическом пакете MathCad. Полученные переходные процессы анализировались на предмет амплитуды скачков давления и частоты его изменения. Проведение данного анализа позволяет



получить исчерпывающую информацию о характере переходных процессов в гидравлической системе с целью поиска такого соотношения конструктивных и технологических параметров, при котором исследуемая система обеспечивала требования касающиеся качества работы в составе технологической машины.

Особое внимание при проведении исследований было уделено процессам происшедшим в момент запуска гидравлической системы, и момент приложения технологической нагрузки.

Ключевые слова: гидравлическая система, последовательное соединение гидроагрегатов, математическая модель, метод Рунге-Кутты-Фельдберга, переходные процессы, колебания давления.

RESEARCH OF TRANSIENT PROCESSES OF PRESSURE CHANGE WHEN OPERATING A HYDRAULIC SYSTEM WITH FOUR CONNECTED HYDRAULIC MOTORS

The publication is devoted to the study of the quality of the hydraulic system with four series-connected hydraulic motors. These hydraulic systems can be used to drive the working bodies of agricultural machines, have significant advantages in their layout, but at the same time and disadvantages, the elimination of which requires a detailed study of the processes occurring during the operation of this type of system.

The analysis of the previous works of scientists in this area allows us to conclude that it

is possible to conduct theoretical research in this direction.

A mathematical model of the proposed hydraulic system has been developed, which takes into account the effect of external load on the shafts of hydraulic motors, the inertia of the system, the effect of leaks from the connections of the elements of the hydraulic system and possible overflows of the working fluid from the high-pressure zone to the low-pressure zone.

At this stage, wave processes occurring in the cavities of the hydraulic system were not taken into account.

The solution of the resulting system of differential equations was carried out using the Runge-Kutta-Feldberg method with automatic change of the integration step in the mathematical package MathCad. The resulting transient processes were analyzed for the amplitude of pressure surges and the frequency of its change. Carrying out this analysis allows you to obtain comprehensive information about the nature of transient processes in the hydraulic system in order to find such a ratio of design and technological parameters, in which the system under study met the requirements regarding the quality of work as part of a technological machine.

During the research, special attention was paid to the processes occurring at the moment of starting the hydraulic system, and the moment of application of the technological load.

Key words: hydraulic system, series connection of hydraulic units, mathematical model, Runge-Kutta-Feldberg method, transient processes, pressure fluctuations.

Відомості про авторів

Гулько Ірина Василівна – кандидат технічних наук, доцент, кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: irynagunko@vsau.vin.ua).

Гулько Ирина Васильевна - кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: irynagunko@vsau.vin.ua).

Hunko Iryna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: irynagunko@vsau.vin.ua).