

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2

Вібрації в техніці та технологіях



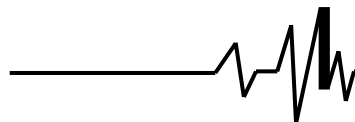
Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

Вібрації в техніці та технологіях

№ 2 (109)

Вінниця 2023

**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, 2023. – 2 (109) – 121 с.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 2 від 25.08.2023 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., професор, академік
НААН України, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
НААН України

Відповідальний секретар

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

Члени редакційної колегії

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

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

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

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

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

Матвійчук В.А. – 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

Яропуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

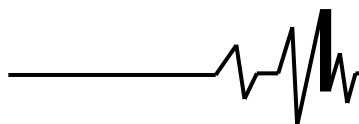
Максімов Джордан Тодоров – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

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**

<i>Цуркан О.В., Спірін А.В., Твердохліб І.В., Дідик А.М.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....	5
<i>Kupchuk I., Kravets R., Burlaka S., Dubrovina O.</i> THEORETICAL RESEARCH OF PROCESS REGULARITIES OF GRINDING STRUCTURAL- HETEROGENEOUS ORGANIC MATERIALS.....	12
<i>Алієв Е.Б., Дудін В.Ю., Лінко М.О.</i> РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЕКСПАНДАТІВ.....	20
<i>Алієв Е.Б., Павленко С.І.</i> СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ БУРТА І ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ КОМПОСТНОЇ СУМІШІ ОДНОБАРАБАННИМ АЕРАТОРОМ.....	30

2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

<i>Veselovska N.</i> INNOVATIVE METHODS OF MONITORING THE MECHANICAL PROCESSING PROCESS.....	40
<i>Матвійчук В.А., Савків В.В.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ ПРИ ВІДБОРТУВАННІ ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ.....	45
<i>Возняк О.М., Солоня О.В., Замрій М.А., Тихонова С.В.</i> ШІМ-КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ У МЕХАТРОНИХ МОДУЛЯХ ЗА ПРИНЦИПОМ ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНОЇ МОДУЛЯЦІЇ.....	53
<i>Веселовська Н.Р., Луц П.М.</i> ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОПОННИХ УСТАНОВОК ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ З АВТОМАТИЗОВАНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОЩУВАННЯ.....	62
<i>Паладійчук Ю.Б., Телятник І.А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОГО ЦИКЛУ НА ПОВЕРХНІ ЗАГОТОВКИ ВНАСЛІДОК ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ.....	72
<i>Sereda L., Trukhanska O., Shvets L., Dyachenko A.</i> PERSPECTIVES AND FEATURES OF BRANCH UTILIZATION TECHNOLOGIES IN INTENSIVE GARDENS AND PARKS.....	85
<i>Колісник М.А., Штуць А.А.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ЗБУДЖЕННЯ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН.....	93
<i>Чмих К.В., Волковський І.В.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПІД ЧАС ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ DEFORM.....	104
<i>Шаргородський С.А., Замрій М.А., Кондратюк Д.А.</i> РОЗРОБКА СТЕНДА ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСА ДОЗАТОРА ГІДРОСТАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ САМОХІДНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН.....	111



Шаргородський С.А.
к.т.н., доцент

Замрій М. А.
аспірант

*Вінницький національний
аграрний університет*

Кондратюк Д. А.
магістр

*Вінницький національний
технічний університет*

Shargorodskiy S.
Ph.D. in Engineering, Associate
Professor

Zamrii M.
postgraduate

*Vinnitsia National Agrarian
University*

Kondratyuk D.
Master's student

*Vinnitsia National
Technical University*

УДК 62-82; 62-85; 658.286
DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2-13

РОЗРОБКА СТЕНДА ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСА ДОЗАТОРА ГІДРОСТАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ САМОХІДНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Системи гідрооб'ємного рульового керування на сьогодні набули значного розповсюдження у важких сільськогосподарських машинах, таких як комбайни, навантажувачі та ін. Від якості даних систем та їх елементів у значній мірі залежить надійність та якість роботи даних машин. Під час експлуатації даних систем було виявлено ряд недоліків, які потребують додаткових досліджень та застосування нових конструктивних рішень. Із аналізу сучасних розробок провідних виробників елементів даних гідравлічних систем випливає, що основні конструктивні зміни викликані необхідністю забезпечення працездатності даних систем у нештатних або аварійних ситуаціях. Для перевірки працездатності даних пристроїв у лабораторних умовах, необхідно забезпечити стендове обладнання можливістю імітації нештатних ситуацій та забезпечення фіксації отриманої інформації з метою її подальшого аналізу та формування комплексу заходів з метою усунення виявлених недоліків та забезпечення вимог діючих стандартів.

Авторами розроблено оригінальну методику експериментальних досліджень окремих вузлів рульового керування для систем гідростатичного рульового керування спецмашин. Запропоновано створювати навантаження на блок рульового управління у вигляді різниці тиску в його вихідних каналах без використання несучих гідроциліндрів. Для реалізації запропонованої методики розроблено електрогідравлічну схему стенду. Це дозволяє проаналізувати якість роботи блоку рульового керування в умовах, що відповідають різним режимам роботи системи рульового керування, та визначити відповідні характеристики блоку рульового керування при зустрічному та попутному навантаженні.

***Ключові слова:** система рульового керування, блок керування рульовим управлінням, випробувальний стенд, процедура випробувань, параметри системи, лічильник та відповідне навантаження.*

Вступ. На сьогоднішній день гідростатичні системи рульового керування використовуються на різноманітних самохідних

спеціальних машинах, що пояснюється низкою переваг таких систем. Багато наукових шкіл працюють над вдосконаленням існуючих або



створенням нових систем рульового керування [1, 2]. Такі роботи з модернізації та дослідження вузлів рульового управління гідростатичних систем рульового керування проводяться у Вінницькому національному аграрному університеті [3].

Одним із важливих питань, які постають при створенні нових зразків технічних об'єктів, а особливо таких наукомістких, як агрегати рульового керування, є проведення експериментальних досліджень їх дослідних зразків [4]. Експериментальні дослідження спрямовані на визначення параметрів, що входять до математичної моделі системи рульового керування, та перевірку адекватності цієї моделі, а також визначення надійності та зручності (органолептична оцінка якості) блоку рульового керування. Крім того, існує проблема проведення порівняльних випробувань блоків рульового керування різних виробників.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні існують різні стенди для експериментальних досліджень систем гідростатичного рульового керування. Схема найбільш універсального стенду такого призначення наведена на (рис. 1) [5]. Випробувана гідросистема рульового керування 1 містить блок рульового керування 2 і виконавчий гідроциліндр 3. Блок рульового керування з'єднаний гідролініями 4 і 5 з джерелом живлення 6, що складається з насоса 7 і запобіжного клапана 8.

Шток 9 виконавчого гідроциліндра 3 з'єднаний з вузлом 10, який створює навантаження на рульове управління.

Навантаження у вигляді зусилля створюється додатковим гідроциліндром 11, робочі порожнини якого з'єднані з вихідними каналами електрогідролінійного слідкуючого розподільника 12. Електрична система формування керуючого сигналу розподільником 12 містить такі основні елементи, як датчик 27 переміщення штока виконавчого гідроциліндра, датчик зусилля 42 і блок 22, що формує електричний сигнал, який задає величину і закон зміни навантаження на систему рульового керування. Це дозволяє створити зустрічне навантаження (сила навантаження діє в напрямку, протилежному руху штока виконавчого гідроциліндра) або попутне (сила навантаження діє в одну сторону зі зміщенням штока виконавчого гідроциліндра). Ці зусилля можуть бути постійними, або змінюватися за певним законом (гармонійним, трикутним, випадковим чи іншим).

Вхідний вал 43 блоку рульового управління 2 з'єднаний з блоком формування керуючого сигналу 44. Керуючий сигнал у вигляді обертання вхідного вала насосно-

дозувального агрегату формується гідромотором 45. Порожнини гідромотора з'єднані з вихідними каналами електрогідролінійного слідкуючого розподільника 46, який контролює швидкість обертання цього гідромотора. Система генерування електричного керуючого сигналу розподільника 46 містить такі основні елементи, як датчик 50 кутової швидкості та блок 48, який генерує електричний сигнал, який задає значення та закон зміни керуючого сигналу для системи рульового керування. Це дозволяє задавати величину і напрямок постійної швидкості обертання вхідного вала насоса-дозатора, або задати швидкість обертання, яка змінюється за певним законом (гармонійним, трикутним, випадковим або іншим).

Цей стенд дозволяє досліджувати будь-які статичні та динамічні характеристики системи рульового керування або досліджувати витривалість цієї системи. Недоліком такої схеми є те, що при випробуванні блоків рульового керування з різними робочими об'ємами дозатора необхідно міняти гідроциліндри 3 і 11. Крім того, обмеження руху поршня цих гідроциліндрів обмежує час відтворення на стенді того чи іншого режиму роботи блоку рульового керування. І цей час тим менше, чим більше швидкість обертання вхідного вала.

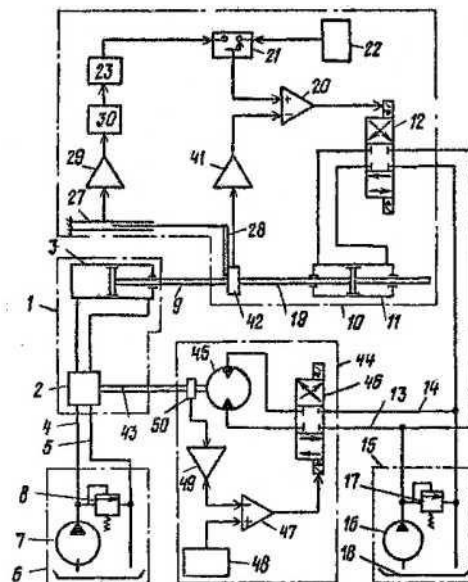
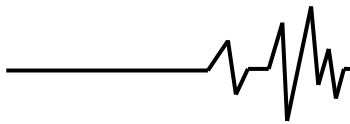


Рис. 1. Схема стенда для випробувань системи рульового управління, в якому використовуються слідкуючі електрогідролінійні розподільники.

Існує ще один стенд (рис. 2) [6] для випробування та дослідження систем рульового керування, який містить блок рульового керування 15 і виконавчі гідроциліндри 16. Сигнал подається від



рульового колеса, а протилежні порожнини виконавчих гідроциліндрів використовуються для створення навантаження. Протинавантаження формується шляхом проходження робочої рідини у напрямку зміщення, що задається розподільником 9 відповідно до напрямку обертання рульового колеса. Величина навантаження задається дроселями 5 і 6. Ця схема є менш функціональною ніж попередня, але вона також призначена для випробування системи гідропідсилювача керма в цілому. Тому він має ті ж недоліки, що і попередній стенд.

Відомий стенд для випробування окремого агрегату статичних систем рульового керування (рис. 3) [7], у тому числі для випробування насосів-дозаторів 14. Однак для створення навантаження в ньому використовується також гідроциліндр 24, який разом із важелем 32 і пружиною 33 дозволяє формувати як зустрічне, так і попутне навантаження. Хоча цей гідроциліндр не є частиною статичної системи рульового управління, він обмежує кількість рідини, що подається для блоку рульового керування, і тривалість часу роботи блоку рульового керування в певному режимі роботи. Тому т стенд також має недоліки, характерні для попереднього.

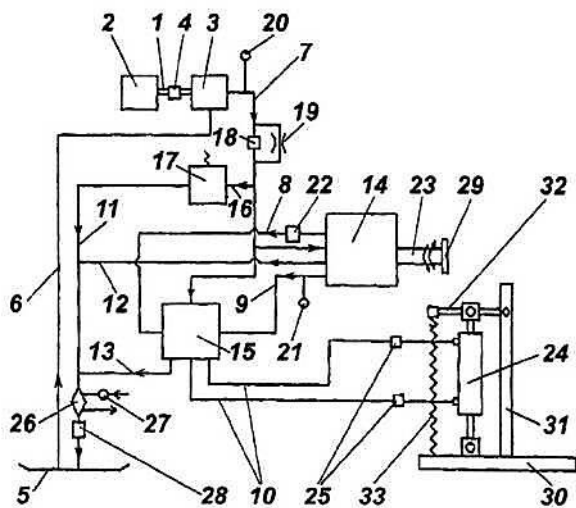


Рис. 2. Схема випробувального стенду системи рульового керування, в якій використовувалися дроселі навантаження:

1 - бак, 2 - насос, 3 - запобіжний клапан, 4, 5, 6 - дросель, 7 - фільтр, 8 - манометр, 9 - розкидач, 10 - дільник потоку, 11 - датчики тиску, 12 - датчик об'єму, 13 - датчик швидкості, 14 - датчик моменту, 15 - блок рульового управління, 16 - гідроциліндри, 17 - датчик витрати.

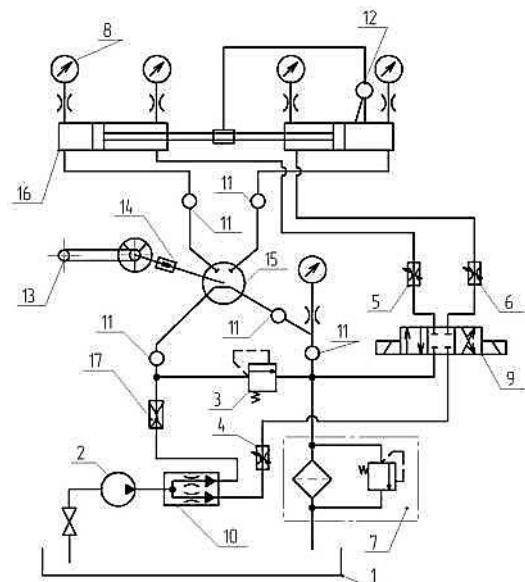


Рис. 3. Схема стенду для випробувань окремих агрегатів гідропідсилювача рульового керування:

1 - карданний вал, 2 - електродвигун, 3 - насос, 5 - бак, 7, 8, 9 - напірні лінії, 10 - вихідні лінії, 11, 12, 13 - зливні лінії, 14 - блок рульового керування, 15 - підсилювач потоку, 17 - запобіжний клапан, 18 - кран, 19 - дросель, 20, 21 - датчик тиску, 22, 25 - датчики витрати, 23 - карданний вал, 24 - гідроциліндр, 29 - датчик моменту, 31 - підставка, 32 - важіль, 33 - пружина.

Відома схема стенду для проведення ресурсних досліджень насосів дозаторів гідрооб'ємної системи рульового керування. Створення навантаження на робочий орган здійснюється за допомогою дросельного вузла. [8].

Схема даного стенду представлена на рис. 3.

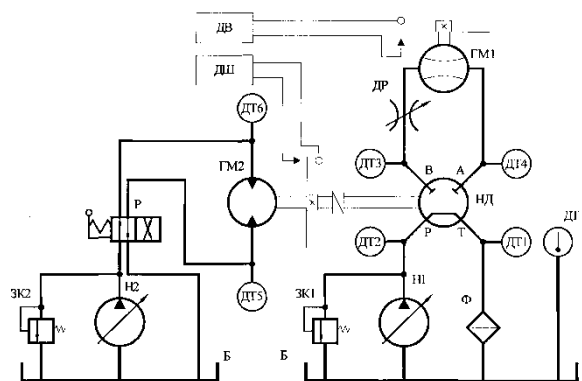


Рис. 3. Гідравлічна схема стенда для ресурсних випробувань насоса-дозатора гідрооб'ємної системи рульового керування.

Насос-дозатор НД вхідними каналами підключається до насосної станції, що включає в



себе насос регульованої продуктивності Н1 типу НП43-1, запобіжний клапан ЗК1 типу БПГ52-22 і фільтр Ф типу Ф17СН.

До вихідних каналів насоса-дозатора підключений регульований дросель ДР, який дозволяє формувати пасивне навантаження, і датчик витрати ДВ. У якості останнього використовується аксиально-поршньовий гідромотор ГМ1 із робочим об'ємом 18 см^3 , який під'єднано до циліндрових ліній А та В. Приводний вал насоса-дозатора НД приводиться в обертання гідромотором ГМ2 типу Г15-24. Робочі порожнини гідромотора ГМ2 через двопозиційний розподільювач Р сполучені з каналами насосної станції, що включає в себе насос регульованої продуктивності Н2 типу НП43-1 і запобіжний клапан ЗК2 типу БПГ52-22.

Стенд оснащено датчиком швидкості ДШ обертання приводного вала. Датчик швидкості - частотно-імпульсного типу і містить у собі колесо з прорізю, яке встановлено на вихідному валі пристрою, що задає керуючу дію, власне фотодатчик ДШ, який формує електричні імпульси і подає їх на вхідний канал АЦП.

Для вимірювання тисків Р1...Р4 у різних точках гідросистеми на стенді встановлені давачі тиску ДТ1-ДТ6 типу ПД-40/3-УХЛ 3.1 ТУ2-053-1917-90.

Для контролю температури робочої рідини використовується датчик температури ДТ типу ТКП-160Сг-УХЛ2.

Для визначення втрат робочої рідини на витікання у зливну лінію використовується мірна посудина.

Перевагою даного стенда є простота конструкції, надійність та можливість зберігання отриманих результатів у пам'яті комп'ютера.

До недоліків слід віднести складність контролю та переналаштування конструкції для імітації різних видів навантаження на робочі органи системи гідрооб'ємного рульового керування.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є розробка методики експериментальних досліджень вузла рульового керування без використання гідроциліндрів для створення навантаження. Наступним завданням роботи є розробка схеми стенду для впровадження запропонованої методики експериментальних досліджень.

Матеріали та методи дослідження. Навантаженням на гідростатичну систему рульового керування є зусилля на виконавчий гідроциліндр цієї системи, яке традиційно моделюється під час експериментальних випробувань. Це зусилля істотно відрізняється для систем рульового управління різних технологічних машин - за масою, потужністю,

призначенням і т. д. Тому використовуються гідроциліндри з різними ефективними площами поршня виконавчого гідроциліндра, в комплекті з якими використовуються вузли рульового керування з різними робочими об'ємами. Але для навантажувальних насосів характерним є перепад тиску в його вихідних каналах [9], що дозволяє оцінити продуктивність цих виробів шляхом моделювання перепаду тиску незалежно від їх робочого об'єму. Тому перепад тиску Δp в його вихідних каналах розглядається надалі як універсальний навантажувальний параметр блоку рульового керування.

Характер навантаження на гідропідсилювач рульового керування пов'язаний з напрямом зусилля на виконавчий гідроциліндр відповідно до напрямку обертання рульового колеса. Відповідно до цього на систему рульового керування зустрічне і попутне навантаження. Під час експериментальних досліджень вузлів рульового керування на стенді необхідно сформувати обидва види навантаження.

Запропоновано конструкцію спеціального експериментального стенда для дослідження насосів –дозаторів гідрооб'ємних систем рульового керування. Він дозволяє детально проаналізувати роботу насоса дозатора при різних режимах роботи системи, забезпечуючи контроль величини і спрямованості керуючого сигналу і навантаження у всьому діапазоні значень, що виникають на практиці.

Стенд має систему формування керуючого сигналу у вигляді обертання вхідного вала насоса-дозатора і систему формування навантаження у вигляді різниці тиску у його вихідних каналах. Електрогідролічна схема стенда показана на (рис. 4). Оскільки використовуються різні способи формування зустрічного і попутного навантаження, реалізовано стенд зі змінною конструкцією. Відповідно до цього розроблені різні схеми стенду для реалізації навантажень різного типу. На (рис. 4, а) наведена повна схема стенду, в якій реалізована система формування протинавантаження (CFZN). На (рис. 4, б) показана лише частина схеми kabіни, в якій реалізована система формування попутного навантаження (CFPN). При цьому інші системи стенду аналогічні зображеним на (рис. 4, а).

На стенді міститься блок рульового керування (БРК), насосна станція електроживлення всіх систем стенду, система формування керуючого сигналу (CFCY), система формування навантаження, а також система реєстрації та обробки інформації (CROI).

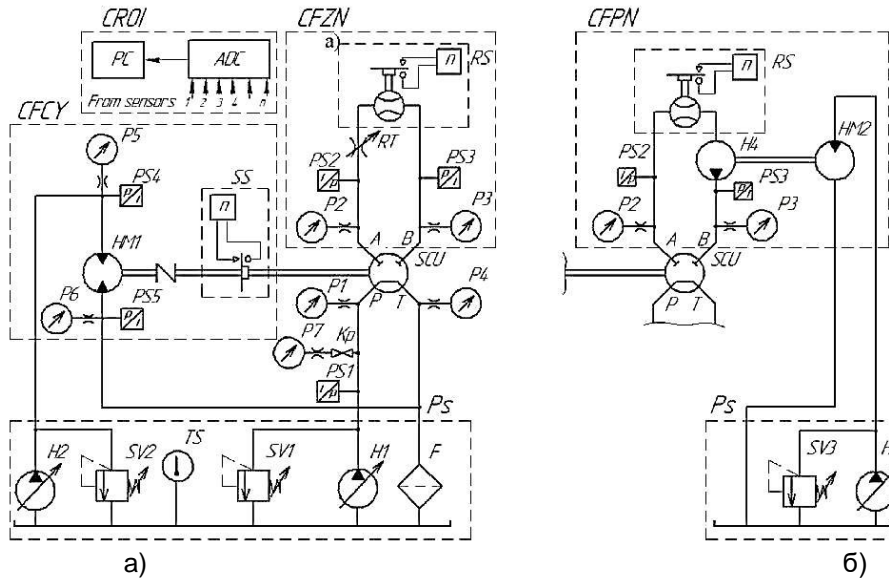


Рис. 4. Гідравлічна схема кабіни для визначення характеристик блоку рульового керування; (а) - при формуванні зустрічних навантажень, (б) - при формуванні попутного навантаження

Блок рульового керування (ПК) (рис. 4, а) каналом високого тиску Р з'єднаний з насосом Н1, а каналом Т - з дренажним каналом насосної станції. Це відтворює роботу блоку рульового керування з системою живлення на самохідній машині. Насос Н1 має можливість регулювання подачі. Це дозволяє регулювати витрату цього насоса до значення, яке відповідає споживаній потужності насоса для системи рульового керування з блоком керування рульовим керуванням розміру дослідного зразка.

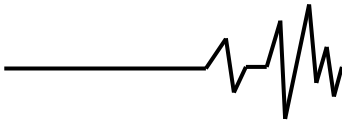
Налагодження необхідної величини витрати насоса Н1 визначено відповідно до ТУ для відповідного типорозміру насоса-дозатора і приведена у таблиці 1, здійснюється регулюванням нахилу шайби насоса регульовальним гвинтом. Контроль величини витрати здійснюється за показниками давача витрати ДР. При цьому весь потік робочої рідини, який проходить через давач витрати, обминає насос-дозатор і направляється в зливальну магістраль.

Таблиця 1. - Основні показники насосів – дозаторів згідно ТУ 569.К.Г-06958891.001-93

	Найменування показника	Норми для виконання рульового механізму МРГ.01 з подаванням об'ємом, см ³							
		80	100	125	160	200	250	315	400
1	Номінальний об'єм робочої рідини, що подається, см ³	80±8	100±10	125±12,5	160±16	200±20	250±25	315±31,5	400±40
2	Макс. тиск в МРГ, МПа	18							
3	Макс. тиск на зливі, МПа	18							
4	Номінальна витрата, × 10 ⁻³ м ³ /с	0,21±0,02		0,27±0,03		0,42±0,04		0,66±0,07	
5	Діапазон витрат, × 10 ⁻³ м ³ /с	0,167...0,333		0,208...0,417		0,333...0,667		0,417...0,834	
6	Люфт вала МРГ, град	25							
7	Крутний момент на валу МРГ, не більш, Нм	10							

Величина об'єму робочої рідини, який подається в вихідну гідролінію насоса-дозатора НД за один оберт вхідного вала насоса-дозатора, вимірюється таким чином. Встановлюється необхідна витрата насоса Н2, що визначає частоту обертання вала задаючого гідромотора ГМ2, яка в свою чергу контролюється за допомогою механічного тахометра, і тим самим, задається

частота обертання вала насоса-дозатора. За допомогою регульованого дроселя ДР задається необхідна величина навантаження, яке моделює навантаження на штоці виконавчого гідроциліндра гідрооб'ємної системи рульового керування самохідної сільськогосподарської машини, відповідно, перепад тисків у гідролініях, які з'єднують насос-дозатор із порожнинами



гідроциліндра. В результаті цього за допомогою витратоміра, реалізовано як зазначалося вище на основі використання гідромотора ГМ1 виконується вимірювання кількості рідини, що протікає у вихідних каналах за одиницю часу і визначається величина подаваного об'єму робочої рідини за один оберт вхідного вала відповідно до вимог ТУ. Величина об'єму робочої рідини, що подається насосом-дозатором до порожнини гідроциліндра обчислюється за залежністю:

$$q = \frac{n_1 \cdot q_1}{n_2}, \quad (1)$$

де n_1 - частота обертання датчика витрати, об/хв;

n_2 - частота обертання вхідного вала насоса-дозатора, об/хв;

q_1 - робочий об'єм датчика витрати, рівний 18 см³.

Система формування керуючого сигналу задає обертовий рух вхідного вала насосно-дозувальної установки, що імітує обертання рульового колеса на самохідній машині. Для цього використовується гідромотор НМ1, вал якого з'єднаний через жорстку муфту з вхідним валом насоса-дозатора. Робочі порожнини гідромотора НМ1 з'єднані з каналами насосної станції, до складу якої входить вихідний канал насоса Н2 і зливний канал. Насос Н2 виготовлений регульованої продуктивності. Це дозволяє регулювати швидкість обертання вала гідромотора НМ1, який задає необхідну швидкість обертання вхідному валу насосно-дозувального агрегату.

Вихідні канали блоку рульового управління А і В підключені до системи формування навантаження. Формування різних видів навантажень здійснюється шляхом зміни конструкції стенду. Система формування зустрічного (пасивного) навантаження (рис. 4, а) реалізована у вигляді регульованого дроселя РТ, який підключений до вихідних каналів А і В насоса-дозатора. Регулювання площі цього дроселя дозволяє змінювати опір потоку робочої рідини через вихідні отвори блоку рульового керування. Завдяки цьому на виході блоку рульового керування в його вихідних каналах формується навантаження у вигляді перепаду тиску Δp , що відтворює подолання певного зустрічного навантаження.

Система формування супутнього (активного) навантаження (рис. 4, б) реалізована у вигляді насоса Н4, всмоктувальний і вихідний канали якого з'єднані з вихідними каналами А і В насоса-дозатора. Вал насоса Н4 приводиться в рух гідромотором НМ2, частота обертання якого регулюється заданою витратою насоса Н3 насосної станції. Регулювання швидкості насоса Н4 дозволяє регулювати певну величину різниці

негативного тиску у вихідних каналах дозувального насоса, що відтворює певне пов'язане навантаження.

Такий спосіб формування зустрічного та пов'язаного з ним навантаження на блок рульового управління дозволяє відмовитися від використання навантажувальних гідроциліндрів, які взаємодіють з виконавчими гідроциліндрами рульової системи [7, 8]. Це істотно спрощує конструкцію стенду і не потребує використання гідроциліндрів для реалізації як системи гідрооб'ємного рульового керування, так і системи створення навантаження.

Крім того, такий стенд дозволяє тривалий час відтворювати певний режим роботи блоку рульового керування, на відміну від традиційного стенду, коли цей процес триває кілька секунд при високих швидкостях обертання вхідного вала. Це дозволяє на етапі експериментальної перевірки роботи прототипу проаналізувати значення контрольованих на стенді параметрів, якість роботи прототипу та оцінити відповідність стану гідросистеми очікуваному.

Стенд оснащений контрольно-вимірювальною апаратурою, яка дозволяє реєструвати параметри системи в усталеному стані та в динаміці. Параметри, виміряні на стенді в усталеному режимі, наведені в таблиці 1. Для візуального вимірювання тиску Р1 ... Р7 в усталеному режимі встановлюються стендові манометри типу ДМ класу точності 0,6. На різних ділянках гідросистеми використовуються манометри з різними діапазонами вимірювання.

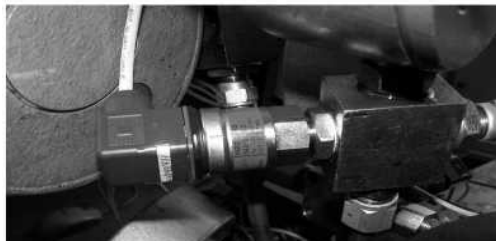
У каналі тиску блоку рульового керування встановлено два манометри - один Р1 з діапазоном вимірювання до 25 МПа, призначений для контролю тиску на режимах роботи системи рульового керування, а другий Р7, що підключається через кран Кр, має діапазон вимірювання до 1,6 МПа і призначений для контролю тиску за відсутності керуючого сигналу при середньому положенні золотникового крана блоку рульового керування.

Для контролю тиску при аналізі динамічних процесів на стенді встановлені тензодатчики тиску з вбудованими підсилювачами, які дозволяють фіксувати зміни тиску в часі у відповідних секціях гідросистеми. Датчики тиску ПС1-ПС5 на різних ділянках гідросистеми використовуються з різним номінальним тиском. Датчики PS1, PS2 і PS3 моделі Danfoss (Данія) MBS 3050 (рис. 5, а) мають номінальний тиск $p_{ном} = 16$ МПа, а датчики тиску PS4 і PS5 моделі ADZ-NAGANO ADZ-SML-20 (Німеччина, Японія) (рис. 5, б) мають номінальний тиск $p_{ном} = 10$ МПа. Давачі тиску монтувалися в спеціальних втулках. Втулки мають різьбовий отвір для установки давачів при вимірі тиску у каналах Р, Т, А, В насоса-дозатора.

Технічні характеристики давачів тиску



наведені у таблиці 2.



а)



б)

Рис. 5. Фотографії датчиків тиску: (а) модель MBS 3050 та (б) модель ADZ-SML-20

Таблиця 2. -Технічна характеристика давача тиску MBS 3050

	Найменування параметра	Величина
1	Діапазон зміни тиску, МПа	0÷25
2	Максимальний тиск, МПа	30
3	Напруга живлення, В із коефіцієнтом пульсації при вихідному сигналі у виді струму, не більш	- 0.1
4	Основна похибка, %, не більш	±0.25
5	Додаткова похибка, %, не більш	±0.5
6	Вихідний сигнал при номінальному тиску у виді напруги постійного струму, В у виді струму, мА	- 5±0.005
7	Опір навантаження, кОм, при вихідному сигналі у виді напруги, не менш у виді струму, не більш	- 1
8	Споживана потужність, ВА, не більш	0.3
9	Смуга пропускання, Гц, не менш	1000
10	Маса, кг, не більш	0.25

Таблиця 3 - Перелік параметрів, які вимірюються на експериментальному стенді

Назва	Одиниця вимірювання	Значення		Похибка вим., %
		min	max	
Обертання вхідного валу блоку рульового керування	град	0	30	1,5
Швидкість обертання вхідного валу блоку рульового керування	об/хв	5	100	1
Крутний момент передається на вхідний вал блоку рульового керування	Нм	0	120	4
Регулювання обмеження крутного моменту на вхідному валу блоку рульового керування	Нм	5	120	4
Перепад тиску навантаження у вихідних каналах блоку рульового керування	МПа	0	±25	1
Надлишковий тиск, що подається на вихідний канал блоку рульового керування	МПа	0	25	0,6
Тиск в напірній лінії:	МПа			
насос Н1		0	25	
насос Н1		0	12	0,6
насос Н3		0	25	
Витрата робочої рідини у напірній лінії:	л/хв			
насос Н1		8	126	
насос Н1		5	31,8	1,5
насос Н3		6	63	
Робоча температура	°С	10	100	2

Фото стенда для випробування блоку рульового керування з робочим об'ємом 160 см³/об. при зустрічному навантаженні наведено на (рис. 6).

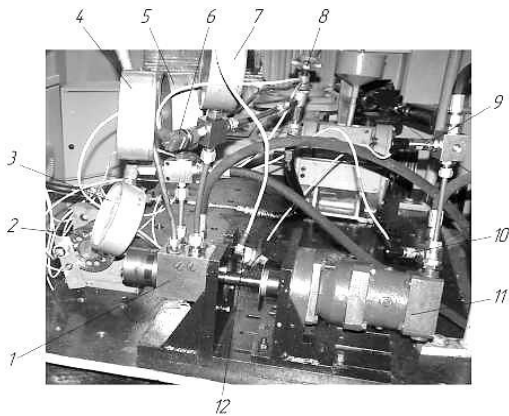
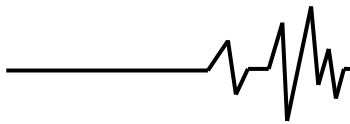


Рис. 6. Фото стенда для випробувань насоса-дозатора при зустрічному навантаженні

1 – насос – дозатор системи рульового керування, 2 - датчик витрати робочої рідини, 3, 4, 5, 7 - манометр, 6, 9, 10 - датчики тиску, 8 - дросель, що створює зустрічний удар, 11 - гідромотор, який задає керуючий сигнал, 12 - датчик швидкості обертання вхідного вала.

Контрольно-вимірювальна система стенду містить датчик кутової швидкості вхідного вала блоку рульового керування. Датчик частотно-імпульсного типу і для вимірювання частоти електричних імпульсів в статистиці використовується низькочастотний вимірювач марки ЧЗ-49.

Для вимірювання кутової швидкості обертання валів гідромоторів було застосовано тахогенератори типу ТЕ-204 (клас точності 1,5), які являють собою трьохфазні синхронні генератори з ротором в вигляді конічного магніту, що приводиться в рух від валу порошкового гальма. Тахогенератор ТЕ-204 використовується для отримання значень кутової швидкості обертання в діапазоні 300-1500 об/хв і розвиває напругу 10 В на кожні 1000 об/хв. В робочому діапазоні напруга лінійно залежить від кутової швидкості обертання валу гідромотора.

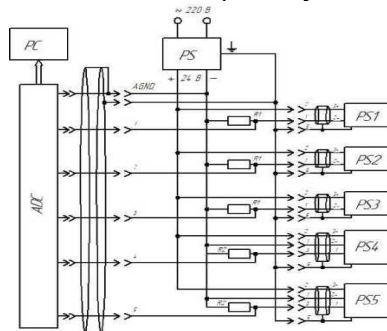
Технічна характеристика тахогенератора ТЕ-204 наведена у таблиці 4.

Таблиця 4. - Технічні характеристики тахогенератора ТЕ-204:

Характеристика	Діапазон вимірювання
Робочий діапазон температур	від -60°C до + 60 °C
Частота обертання ротора приладу датчик тахометра ТЕ-204	500 ... 3500 об/хв
Кількість систем вимірювачів типу ІТЕ, що підключаються до датчика	2
Габарити приладу датчик тахометра ТЕ-204	69x123x115мм
Вага	1,2кг

На стенді встановлений датчик витрати, який дозволяє контролювати витрату робочої рідини в різних ділянках гідросистеми. На схемі даний датчик показаний при вимірюванні витрати робочої рідини у вихідних каналах блоку рульового керування, яка в системі рульового керування під дією керуючого сигналу подається на виконавчий гідроциліндр. Для реєстрації динамічних сигналів використовується

комп'ютеризована система реєстрації та обробки результатів вимірювань досліджуваних параметрів (рис. 7) з використанням персонального комп'ютера ПК, аналого-цифрового перетворювача АЦП та програми вимірювання результатів вимірювання. Структурна схема системи реєстрації результатів вимірювань наведена на рисунку (рис. 7, а), а на її фотографії (рис. 7, б).



a)



b)

Рис. 7. Комп'ютеризована система вимірювання-реєстрації: (а) блок-схема, (б) фотографія

На комп'ютері для отримання, запису, зберігання та обробки інформації

використовувалося програмне забезпечення Power Graph, яке забезпечує індивідуальне



налаштування та калібрування каналів і дозволяє використовувати будь-які одиниці вимірювання сигналу. Програма дозволяє реєструвати серію вимірювань у вигляді незалежних блоків даних, кожен з яких має безперервний масив випадкових каналних даних.

Осцилограма показує зміни тиску P_1 , P_2 , P_3 , P_4 і P_5 у відповідних ділянках гідросистеми рульового керування. По вертикальній осі на осцилограмі відкладено напругу, але датчики тиску різних типів мають різну чутливість і різні нульові точки відповідно до графіків тари. Для зручності в лівій частині осцилограми нанесено шкали відповідності зареєстрованих сигналів значенням тиску.

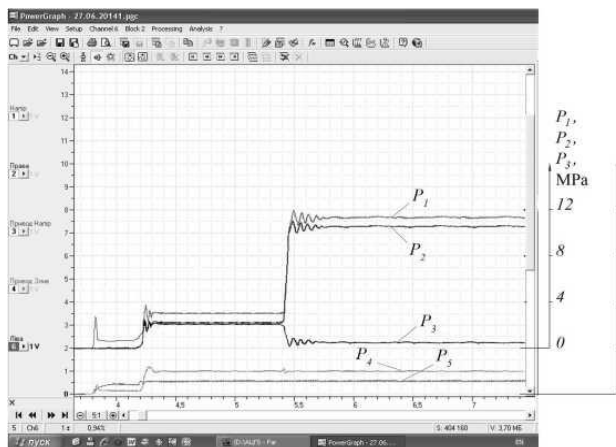


Рис. 8. Осцилограма блоку рульового керування робочим об'ємом 160 см³ при частоті обертання вхідного вала $n = 80$ об/хв та дії зустрічного навантаження із перепадом тиску $\Delta p = 10$ МПа

Для органолептичної оцінки якості насосно-дозувального пристрою на стенді від'єднано гідромотор ГМ1, а замість нього встановлено кермо, що дозволяє отримати відповідну оцінку роботи насосно-дозаторного пристрою на різних режимах його роботи.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Запропоновано методику експериментального дослідження насосно-дозуючих пристроїв систем гідростатичного рульового керування спецмашин. Особливістю даної техніки є те, що навантаження на блок рульового управління створюється у вигляді різниці тиску в його вихідних каналах без використання навантажувальних гідроциліндрів.

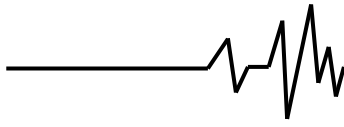
Електрогідравлічну схему стенду розроблено для реалізації запропонованої методики випробувань вузлів рульового керування. На стенді реалізована система формування керуючого сигналу у вигляді обертання вхідного вала насосно-дозувальної

установки та система формування навантаження у вигляді різниці тиску в його вихідних каналах. Для формування зустрічного або супутнього навантаження підставка виготовляється зі змінною структурою. Дано характеристику контрольно-вимірювальної апаратури.

Таке виконання стенду дозволяє оцінити якість роботи насосів-дозаторів незалежно від їх робочого об'єму та визначити параметри блоку рульового керування в умовах, що відповідають різним режимам роботи рульової системи. Крім того, це спрощує аналіз і дослідження поведінки блоку рульового управління протягом тривалого часу, яке не обмежується ходом виконавчого гідроциліндра рульової системи або системи навантаження гідроциліндра.

Список використаних джерел

1. Casoli, P.; Gamba A.; Pompini, N.; Ricco, L. Hybridization methodology based on DP algorithm for hydraulic mobile machinery— Application to a middle size excavator. *Autom. Constr.* 2016. № 61. P. 42-57.
2. Rossetti, A.; Macor, A.; Scamperle, M. (2017) Optimization of components and layouts of hydromechanical transmissions. *Int. J. Fluid Power*, 18, 123-134.
3. Zardin, Barbara & Borghi, M. & Gherardini, Francesco & Zanasi, Nicholas. (2018). Modelling and Simulation of a Hydrostatic Steering System for Agricultural Tractors. *Energies*. 11. 230. 10.3390/en11010230.
4. Daher, N.; Ivantysynova, M. (2014) Energy analysis of an original steering technology that saves fuel and boosts efficiency. *Energy Convers. Manag.* 86, 1059-1068.
5. Gultekin, I.Y.; Comert, S.; Erkal, G.; Balkan, T.; Unlusoy, Y.S. (2016) Modeling and simulation of power steering system for agricultural tractors. In Proceedings of the International Conference on Advances in Automotive Technologies, Istanbul, Turkey, 11-14 October 2016; pp. 1-6.
6. Oksanen, T.; Backman, J. (2013) Guidance system for agricultural tractor with four wheel steering. In Proceedings of the IFAC Bio-Robotics Conference, Sakai, Japan, 27-29 March 2013.
7. Sakthivel, A.; Sriraman, S.; Verma, R. Study of Vibration from Steering Wheel of an Agricultural Tractor. *SAE Int. J. Commer. Veh.* 2012. № 5. P. 441-454.
8. Ammon, D.; Borner, M.; Rauh, J. Simulation of the perceptible feed-forward and feed-back properties of hydraulic power-steering systems on the vehicle's handling behavior using simple physical models. *Veh. Syst. Dyn.* 2006, № 44. P. 158-170.



9. Panetta, G.; Mancarella, F.; Borghi, M.; Zardin, B.; Pintore, F. Dynamic Modelling of an Off-Road Vehicle for the Design of a Semi-Active, Hydropneumatic Spring-Damper System. In *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Volume 4B: Dynamics, Vibration, and Control, Houston, TX, USA, 13-19 November 2015*.

10. Sun, Y.; He, P.; Zhang, Y.; Chen, L. Modeling and Co-simulation of Hydraulic Power Steering System. In *Proceedings of the Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Shangshai, China, 6-7 January 2011*.

11. Іванов, М., Шаргородський С., Руткевич В. Математична модель гідропривода блочно-порційного відокремлювача консервованих кормів. *MOTROL*. 2013. №5. С. 83–91.

12. Іванов М.І., Шаргородський С.А., Руткевич В.С. Підвищення експлуатаційної ефективності блочно-порційного вивантажувача консервованих кормів шляхом гідрофікації привода робочих органів. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2013. №1(39). С. 91–96.

References

1. Casoli, P.; Gamba A.; Pompini, N.; Ricco, L. (2016) Hybridization methodology based on DP algorithm for hydraulic mobile machinery—Application to a middle size excavator. *Autom. Constr.* 61, 42-57. [in English].

2. Rossetti, A.; Macor, A.; Scamperle, M. (2017) Optimization of components and layouts of hydromechanical transmissions. *Int. J. Fluid Power*, 18, 123-134. [in English].

3. Zardin, Barbara & Borghi, M. & Gherardini, Francesco & Zanasi, Nicholas. (2018). Modelling and Simulation of a Hydrostatic Steering System for Agricultural Tractors. *Energies*. 11. 230. 10.3390/en11010230.

4. Daher, N.; Ivantysynova, M. (2014) Energy analysis of an original steering technology that saves fuel and boosts efficiency. *Energy Convers. Manag.* 86, 1059-1068. [in English].

5. Gultekin, I.Y.; Comert, S.; Erkal, G.; Balkan, T.; Unlusoy, Y.S. (2016) Modeling and simulation of power steering system for agricultural tractors. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Automotive Technologies, Istanbul, Turkey, 11-14 October 2016*; pp. 1-6. [in English].

6. Oksanen, T.; Backman, J. (2013) Guidance system for agricultural tractor with four wheel steering. In *Proceedings of the IFAC Bio-Robotics Conference, Sakai, Japan, 27-29 March 2013*. [in English].

7. Sakthivel, A.; Sriraman, S.; Verma, R.

(2012) Study of Vibration from Steering Wheel of an Agricultural Tractor. *SAE Int. J. Commer. Veh.* 2012, 5, 441-454. [in English].

8. Ammon, D.; Borner, M.; Rauh, J. (2006) Simulation of the perceptible feed-forward and feed-back properties of hydraulic power-steering systems on the vehicle's handling behavior using simple physical models. *Veh. Syst. Dyn.* 2006, 44, 158-170. [in English].

9. Panetta, G.; Mancarella, F.; Borghi, M.; Zardin, B.; Pintore, F. (2015) Dynamic Modelling of an Off-Road Vehicle for the Design of a Semi-Active, Hydropneumatic Spring-Damper System. In *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Volume 4B: Dynamics, Vibration, and Control, Houston, TX, USA, 13-19 November 2015*. [in English].

10. Sun, Y.; He, P.; Zhang, Y.; Chen, L. (2011) Modeling and Co-simulation of Hydraulic Power Steering System. In *Proceedings of the Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Shangshai, China, 6-7 January 2011*. [in English].

11. Ivanov, N., Sharhorodskyi, S., Rutkevych V. (2013) Matematicheskaia model hidroprivoda blochno-portsionoho otdelitelia konservirovannykh kormov. *MOTROL*. – № 5. – S. 83–91. [in Ukrainian]

12. Ivanov, M.I., & Sharhorodskyi, S.A., & Rutkevych, V.S. (2013). Pidvyshchennia ekspluatatsiinoi efektyvnosti blochno-portsiinoho vyvantazhuvacha konservovanykh kormiv shliakhom hidrofikatsii pryvoda robocnykh organiv [Improving the operational efficiency of the block-batch unloader of canned fodder by hydration of the drive of working bodies.]. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka – Industrial hydraulics and pneumatics*. №1(39). 91-96 [in Ukrainian].

DEVELOPMENT OF THE STAND FOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE DOSER PUMP OF THE HYDROSTATIC STEERING SYSTEM OF SELF-PROPELLED AGRICULTURAL MACHINERY

Hydrovolumetric steering systems have today become widely used in heavy agricultural machines, such as combines, loaders, etc. The reliability and quality of operation of these machines largely depends on the quality of these systems and their elements. During the operation of these systems, a number of shortcomings were identified, which require additional research and the application of new design solutions. From the analysis of modern developments of the leading manufacturers of elements of these hydraulic systems, it follows that the main design changes are caused by the need to ensure the operability of these systems in abnormal or emergency



situations. To check the performance of these devices in laboratory conditions, it is necessary to provide bench equipment with the ability to simulate abnormal situations and ensure the recording of the received information for the purpose of its further analysis and the formation of a set of measures aimed at eliminating the identified deficiencies and meeting the requirements of current standards.

The authors have developed an original method of experimental research of individual steering control units for hydrostatic steering systems of special vehicles. It is proposed to create a load on the steering control unit in the form of a

pressure difference in its output channels without using supporting hydraulic cylinders. To implement the proposed method, an electro-hydraulic scheme of the stand was developed. This makes it possible to analyze the quality of the steering unit's operation in conditions corresponding to different operating modes of the steering system, and to determine the corresponding characteristics of the steering unit under oncoming and passing loads.

Keywords: steering system, steering control unit, test bench, test procedure, system parameters, meter and corresponding load

Відомості про авторів

Шаргородський Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: sergey20@vsau.vin.ua).

Замрій Михайло Анатолійович – аспірант, асистент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: zamrij99@gmail.com).

Кондратюк Дмитро Анатолійович – магістр, Вінницький національний технічний університет (Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, e-mail: 1at15b.kondratiuk@gmail.com)

Shargorodskiy Serhiy – PhD, Associate Professor of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna str., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: sergey20@vsau.vin.ua).

Zamrii Mykhailo – postgraduate student, assistant at the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety of the Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: zamrij99@gmail.com).

Kondratuk Dmutro - master's degree, Vinnytsia National Technical University (95 Khmelnytske Shosse, Vinnytsia, 21021, e-mail: 1at15b.kondratiuk@gmail.com)