

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГІДРООБ'ЄМНОЇ СИСТЕМИ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ САМОХІДНОЇ МАШИНИ З МОДЕРНІЗОВАНИМ НАСОСОМ-ДОЗАТОРОМ

## THE MATHEMATICAL MODEL RESEARCH METHODOLOGY OF THE SELF-PROPELLED MACHINERY HYDROSTATIC STEERING SYSTEM WITH THE IMPROVED STEERING UNIT

*Розглядається задача аналізу гідрооб'ємної системи рульового керування самохідної машини з модернізованим насосом-дозатором. Запропоновано алгоритм дослідження перехідного процесу, який враховує відповідно етапи роботи системи, а саме початок подачі робочої рідини від насоса живлення, початок обертання керма та початок дії навантаження на шток гідроциліндра.*

*Проаналізовані умови функціонування системи гідрооб'ємного рульового керування та визначені можливі режими її роботи. Показано, що в якості навантаження для насоса-дозатора доцільно розглядати не зусилля на виконавчому гідроциліндрі, а перепад тиску в його вихідних каналах, що дозволяє оцінювати функціонування насосів-дозаторів при ідентичному навантаженні незалежно від їх робочого об'єму. Визначені діапазони зміни частоти обертання вхідного вала насоса-дозатора та навантаження в його вихідних каналах. Запропоновано під час дослідження математичної моделі формувати файл бази динамічних даних у вигляді реляційної бази даних та формувати текстовий файл, які дозволяють в подальшому проводити детальний аналіз системи в середовищі програми Mathcad для любых числових експериментів, що були проведені.*

*Ключові слова: система рульового керування, насос-дозатор, методика дослідження, показники якості, база даних.*

### Вступ

Гідрооб'ємні системи рульового керування на сьогодні широко використовуються на різноманітних машинах спеціального призначення (сільськогосподарських, дорожніх, будівельних, лісотехнічних, комунальних та ін.) [1], що пов'язано із низкою переваг таких систем.

Запропоновано вдосконалену конструкцію насоса-дозатора [2, 3], що дозволило покращити технічні характеристики системи рульового керування в цілому. У подальшому постала задача аналізу роботи складної гідромеханічної системи [4] на основі її математичної моделі.

### Постановка задачі

На сьогодні ведуться роботи по дослідженню системи гідрооб'ємного рульового керування з насосом-дозатором вдосконаленої конструкції з метою детального аналізу особливостей роботи даної гідросистеми в статичних і динамічних режимах при виконанні робочих операцій.

Для цього розроблено математичну модель системи [5, 6], яка включає рівняння, що описують зміну тиску на характерних ділянках гідросистеми та переміщення механічних ланок, і представлено системою диференціальних рівнянь, загальний порядок яких є 18-й.

Характерною ознакою розробленої математичної моделі є наявність значної кількості нелінійних залежностей, які описують поведінку елементів даної гідромеханічної системи. Нелінійний характер розробленої

математичної моделі та високий порядок системи диференціальних рівнянь ускладнює її дослідження. Виникла необхідність розроблення методики проведення дослідження цієї математичної моделі.

### Вирішення поставленої задачі

На сьогодні існують аналітичні методи дослідження математичних моделей, але їх недоліком є низька придатність до дослідження нелінійних систем високого порядку і втрата великої кількості інформації про систему при її лінеаризації. Останнім часом завдяки швидкому розвитку обчислювальної техніки значного поширення набули числові методи дослідження таких систем [7]. Такі методи дозволяють отримати інформацію про поведінку системи протягом будь-якого часу через обчислення перехідних процесів, що виникають при роботі системи.

Слід зазначити, що для дослідження нелінійних систем пропонується досить багато прикладних математичних пакетів, таких як *MathCad*, *Maple*, *MathLab*, але недоліком даного програмного забезпечення є відсутність доступу до внутрішніх змінних вбудованих функцій розв'язку систем диференціальних рівнянь, що значно ускладнює процес моделювання та відлагодження моделі. Тому автором створено розрахункову програму за допомогою мови програмування *Borland Delphi* [8].

Упродовж аналізу системи гідрооб'ємного рульового керування розглядаються різноманітні режими її роботи, які визначаються можливими частотами обертання

вхідного вала та навантаженнями на виконавчому гідроциліндрі.

Навантаженням в системі рульового керування є зусилля на виконавчому гідроциліндрі. Це зусилля суттєво різне для гідрооб'ємних систем рульового керування з різними ефективними площами поршня виконавчого гідроциліндра, що відповідає системам з насосами-дозаторами з різними робочими об'ємами. Але для насосів-дозаторів навантаженням є перепад тиску в його вихідних каналах. Такий параметр навантаження дозволяє оцінювати працездатність насосів-дозаторів при ідентичному навантаженні незалежно від їх робочого об'єму. Тому в якості універсального параметра навантаження насоса-дозатора  $R_n$  розглядається саме перепад тиску  $\Delta p_n$  в вихідних каналах насоса-дозатора.

Важливою характеристикою гідрооб'ємної системи рульового керування самохідної машини є нормальна робота при попутному навантаженні [9]. При попутному навантаженні сила, яка діє на керовані колеса самохідної машини, співпадає з напрямком дії перепаду тиску в порожнинах гідроциліндра. Це може виникати при певному профілю поверхні, по якій рухається самохідна машина, а також при русі машини із конструктивними особливостями — тракторів з ламаною рамою, а також для технологічних машин з причепом.

При дії попутного навантаження можливе виникнення ситуації, при якій гідроциліндр починає працювати в режимі насоса, що може призвести до виникнення порушень нерозривності робочої рідини та виникнення вакууму в даній порожнині. З іншого боку, при недостатньому опорі з боку робочого вікна золотникового розподільника, який з'єднує порожнину гідроциліндра із зливною гідролінією, тиск, який виникає у даній порожнині, недостатній для стримування попутного навантаження.

У такому випадку можливе некероване зростання швидкості повороту керованих коліс машини та можливе порушення зв'язку між кутом повороту керма і переміщенням штока керованого гідроциліндра. Внаслідок цього колеса розвертаються на досить значний кут поперек руху машини, що, в свою чергу, призводить до втрати транспортним засобом керованості і значних механічних пошкоджень, що може призвести до аварійної ситуації. Особливо актуальною ця проблема є для машин з ламаною рамою, що складається з двох половин, або для технологічних машин з причепом.

Забезпечення надійного запобігання виникненню критичного режиму роботи гідрооб'ємної системи рульового керування, при якій відбувається надмірне зростання швидкості повороту керованих коліс машини, являє актуальну задачу, вирішення якої дозволить забезпечити надійну роботу даної гідросистеми при різних значеннях попутного навантаження.

Тому при моделюванні гідрооб'ємної системи рульового керування навантаження задавалось у діапазоні від  $+10,0$  до  $-10,0$  МПа. Мінімальне навантаження

задавалось  $\pm 2,0$  МПа. Позитивне значення навантаження відповідає зустрічному (пасивному) навантаженню на виконавчий гідроциліндр, а від'ємне — попутному (активному) навантаженню.

У відповідності до технічної характеристики насосів-дозаторів максимальна частота обертання їх вхідного вала  $n_{в}$  дорівнює  $75$  об/хв. Але при моделюванні частоти обертання вхідного вала  $\omega_{вх}$  максимальне її значення задавалось  $80$  об/хв, а мінімальне приймалось  $20$  об/хв.

Досліджувались насоси-дозатори з робочим об'ємом від  $q_{\delta} = 80$  см<sup>3</sup> до  $q_{\delta} = 1000$  см<sup>3</sup>. При цьому для кожного типорозміру насоса-дозатора задавались відповідні номінальні витрати насоса живлення та ефективна площа виконавчого гідроциліндра.

Для визначення динамічних та якісних характеристик досліджуваної гідрооб'ємної системи рульового керування виконувався аналіз перехідного процесу системи [4]. Якщо система стійка, що є безумовною вимогою для працездатної системи рульового керування, перехідний процес має згасаючий характер і керована величина виходить на усталене значення, що дозволяє визначити якість роботи системи рульового керування. Таким чином, використання регулярного збуджуючого сигналу дозволяє отримати вичерпну інформацію про стан системи та її характеристики якості.

Збурений режим роботи системи гідрооб'ємного рульового керування задавався за таким алгоритмом. Спочатку при початкових умовах, що задають стан системи, який відповідає відсутності потоку робочої рідини від насоса живлення, моделювалось ступінчасте зростання цього потоку до номінального значення. Це призводить до підйому тиску в напірній порожнині системи, який задає зміщення зливного золотника та відведення всього потоку робочої рідини на злив.

Протягом часу  $T_{вр}$ , коли гідравлічна система приходила до стану рівноваги, задавалось зростання частоти обертання керма системи рульового керування від нуля до постійного значення  $\omega_{вх}$ , яке, відповідно, задавало таку частоту обертання золотнику золотникової пари насоса-дозатора.

Для наближення до реальних умов роботи гідрооб'ємної системи рульового керування задавалась зміна цієї швидкості по аперіодичному закону 1-го порядку, що моделювалось у вигляді диференціального рівняння, яке в змінних моделі на ПЕОМ задано наступним чином

$$T_v y[17] + y[17] = n_{\delta} \quad (1)$$

де  $T_v$  — постійна часу аперіодичної ланки першого порядку, яка задавалась за умови забезпечення тривалості зростання частоти до заданої величини не більше  $0,005$  с,  $y[17]$  — змінна, яка моделює зміну частоти обертання керма,  $n_{\delta}$  — постійне значення частоти обертання керма, яке приймає змінна  $y[17]$ .

Далі через час  $T_n$  моделювалось зростання навантаження на шток гідроциліндра у вигляді сили  $PR_{16}$ .

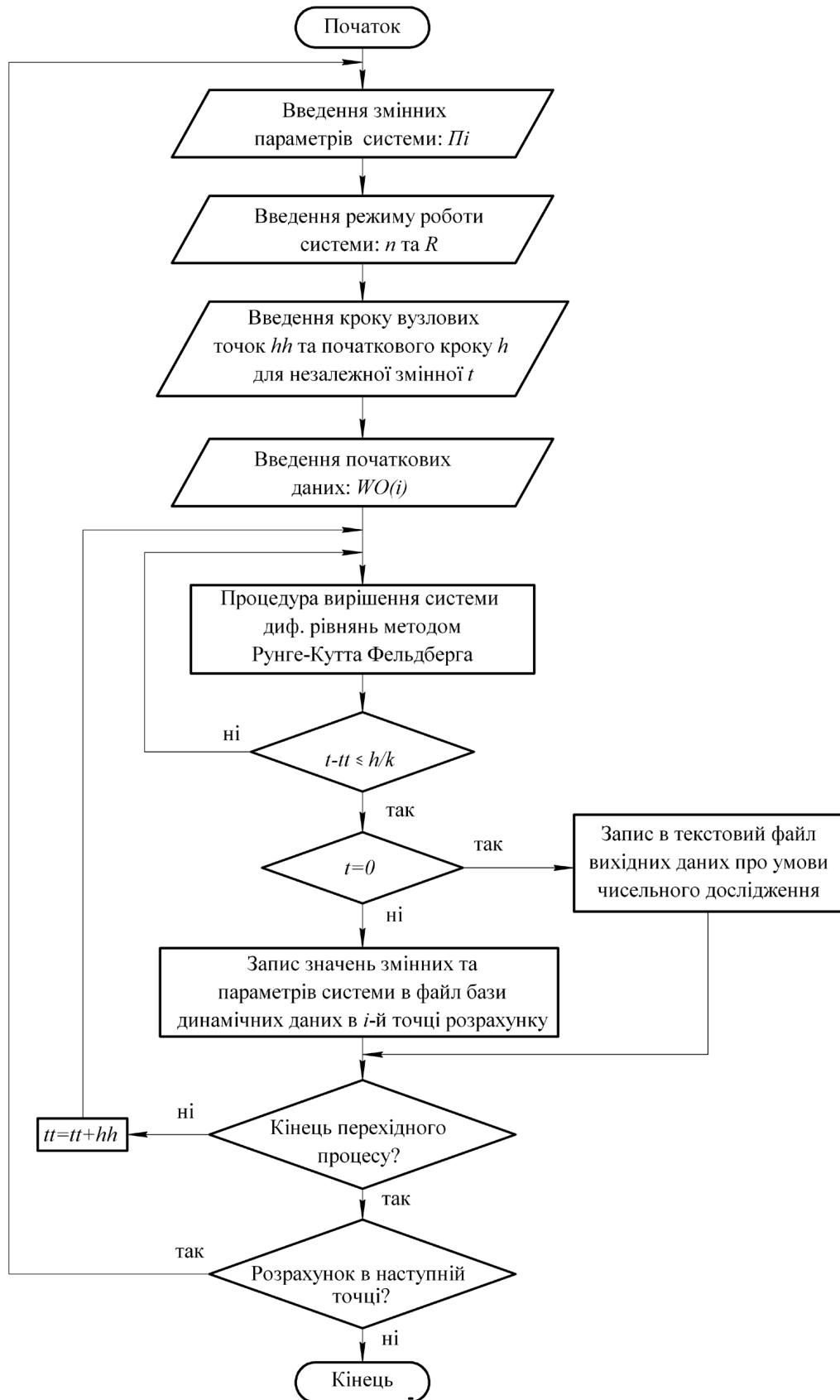


Рисунок 1 — Блок-схема алгоритму розрахункової програми дослідження системи нелінійних диференціальних рівнянь



Для наближення до реальних умов роботи гідро-об'ємної системи рульового керування задавалась зміна цієї сили по аперіодичному закону 2-го порядку, що моделювалось у вигляді диференціального рівняння, яке в змінних моделі на ПЕОМ задано наступним чином

$$T_{nч}^2 y[15] + \xi_n T_{nч} y[15] + y[15] = PR_{16}, \quad (2)$$

де  $T_{nч}$  — постійна часу аперіодичної ланки 2-го порядку,  $\xi_n$  — коефіцієнт затухання цієї ланки,  $y[15]$  — змінна, яка моделює зміну навантаження на штоці виконавчого гідроциліндра через час  $T_n$  після подачі робочої рідини від насоса живлення,  $PR_{16}$  — постійне значення навантаження, яке приймає змінна  $y[15]$ .

Значення  $T_n$  та  $\xi_n$  задавались за умови забезпечення тривалості зростання навантаження до заданої величини не більше, ніж за 0,06 с.

Блок-схему алгоритму розробленої програми показано на рисунку 1. Вона працює наступним чином.

1. Вводяться змінні параметри системи, що досліджується.
2. Вводяться параметри режиму роботи системи — частота обертання вхідного вала та величина і характер навантаження у вихідних каналах насоса-дозатора.
3. Задаються вузлові точки у часі, в яких фіксуються результати розрахунку, та початковий крок зміни часу.
4. Вводяться початкові данні  $w_0(i)$ .
5. Запускається процедура розрахунку перехідного процесу. За відомим методом числового рішення системи диференціальних рівнянь Рунге–Кутта–Фельдберга 4–5 порядку із змінним кроком диференціювання знаходиться рішення математичної моделі на проміжку часу, що відповідає перехідному процесу.
6. Упродовж рішення отримані для кожного  $j$ -го моменту часу в вузловій точці змінні  $y(i)$  та проміжні параметри, які необхідні у подальшому для аналізу поведінки системи, записуються в файл бази динамічних даних.
7. На етапі першого звернення до системи збереження інформації паралельно з файлом бази динамічних даних формується файл вихідних даних, при яких проводиться числовий експеримент.
8. Процедура розрахунку завершується, коли перехідний процес у системі приходить до стану рівноваги.

Через обчислення процесів роботи системи рульового керування моделюється поведінка даної гідросистеми на різних робочих режимах. При дослідженні системи відтворювалась дія різних сигналів керування, що відповідає дії на рульове колесо (кермо), та дія різного зовнішнього навантаження, що відповідає навантаженню на шток виконавчого гідроциліндра.

Розроблена модель та відпрацьована методика її дослідження дозволяють детально проаналізувати характер та особливості динамічних процесів при роботі гідросистеми. Застосований числовий метод Рунге–Кутта–Фельдберга 4–5-го порядку із автоматичною зміною кроку інтегрування дозволяє суттєво зменшити похибку інтегрування та досягти заданої точності обчислення.

До розробленої програми включено графічний редактор, який дозволяє оперативно представити результати розрахунків в графічному вигляді. Це дає можливість спостерігати певні змінні системи у реальному часі, в якому виконуються розрахунки, що дозволяє виконати попередню оцінку стану системи у відповідний час.

Для наступного детального аналізу системи в програмі формується файл бази динамічних даних у вигляді реляційної бази даних, яка має можливість накопичувати великий масив значень параметрів системи, що досліджується. У подальшому інформація файлу бази динамічних даних використовується у середовищі програми *Mathcad* для побудови довільних залежностей, що дозволяє після завершення розрахунку перехідного процесу детально проаналізувати поведінку як окремих елементів насоса-дозатора, так і гідросистеми у цілому. Це дозволяє детально дослідити вплив певних конструктивних параметрів на роботу гідросистеми рульового керування.

У результаті виконання обчислень за описаним вище алгоритмом для кожного числового експерименту, який відповідає певним вихідним даним, у папці результатів дослідження формуються два файли з однаковими номерами, які відповідають номеру числового експерименту.

Текстовий файл (файл з розширенням *.txt*) включає інформацію про вихідні дані, при яких проводився числовий експеримент. Копію текстового файлу показано на рисунку 2. Позначення параметрів у цьому файлі відповідає позначенням у розрахунковій програмі. Він містить рядок з даними типорозміру насоса-дозатора

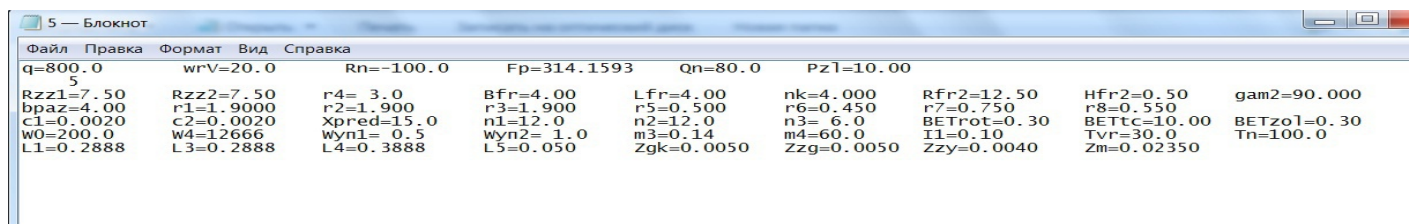


Рисунок 2 — Приклад текстового файлу з інформацією про вихідні дані, при яких проводився числовий експеримент



Одним з основних показників якості гідрооб'ємної системи рульового керування є зв'язок переміщення штока гідроциліндра з сигналом керування. Для оцінки цього показника введено відносний показник якості у вигляді відношення дійсної швидкості штока гідроциліндра до номінальної, що задається частотою повороту золотника золотникової пари.

Для спрощення розрахунку запропонованого критерію величини швидкостей переміщення штока гідроциліндра замінено пропорційними параметрами витрати робочої рідини, а саме

$$Q_{ц.від} = Q_{ц} / Q_{ц.н}, \quad (3)$$

де  $Q_{ц.від}$  — відносні витрати, що пов'язані з переміщенням поршня виконавчого гідроциліндра, які і є показником якості роботи системи гідрооб'ємного рульового керування,  $Q_{ц}$  — дійсні витрати робочої рідини, що пов'язані з переміщенням поршня виконавчого гідроциліндра,  $Q_{ц.н}$  — номінальні (теоретичні) витрати робочої рідини, що задаються частотою обертання вхідного вала.

Чим більше відхилення показника якості  $Q_{ц.від}$  від одиниці, тим нижче якість роботи системи гідрооб'ємного рульового керування.

На рисунку 5, б показано зміну відносного показника якості  $Q_{ц.від}$  роботи системи гідрооб'ємного рульового керування та графік зміни сигналу керування, а саме частоти обертання  $\omega_{вх}$  золотника золотникової пари. Також для оцінки якості роботи системи рульового керування побудовані для порівняння криві зміни кута повороту вхідного вала  $\varphi_{зол}$  і переміщення штока виконавчого гідроциліндра  $u$ , які зв'язані масштабним коефіцієнтом для зведення цих залежностей до одного масштабу. Крім того, на цьому рисунку показано графік зміни навантаження швидкості обертання вхідного вала  $n_{зол}$ .

## Висновки

Розроблено методику аналізу математичної моделі гідрооб'ємної системи рульового керування самохідної машини з модернізованим насосом-дозатором. Запропоновано алгоритм дослідження перехідного процесу, який враховує відповідно етапи роботи системи, а саме початок подачі робочої рідини від насоса живлення, початок обертання керма та початок дії навантаження на шток гідроциліндра.

Проаналізовано умови функціонування системи гідрооб'ємного рульового керування та визначено можливі режими її роботи. Показано, що в якості навантаження для насоса-дозатора доцільно розглядати перепад тиску в його вихідних каналах. Визначені діапазони зміни частоти обертання вхідного вала насоса-дозатора та навантаження в його вихідних каналах.

Методика дослідження передбачає в процесі вирішення системи диференціальних рівнянь формування файлу бази динамічних даних у вигляді реляційної бази даних та формування текстового файлу, який включає

інформацію про вихідні дані, при яких проводився числовий експеримент. Це дозволяє в подальшому проводити детальний аналіз системи в середовищі програми *Mathcad* для будь-яких числових експериментів, що було проведено.

## Література

1. Sauer-Danfoss. General, Steering Components. Technical Information. Mobile Power and Control Systems 520L0468, [Электронный ресурс] / Rev BB, Feb 2010. — Режим доступу: <http://www.sauer-danfoss.com/Products/Steering/index.htm>.

2. Пат. 86521 Україна, МПК (2013.01) B62D 5/00. Гідравлічний рульовий механізм транспортного засобу / М.І. Іванов, Л.П. Серета, О.О. Моторна, Ю.М. Козак, О.М. Переяславський; заявник і патентовласник Вінницький державний аграрний університет. — № u 2013 01264; заявл. 04.02.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1, 2014 р.

3. Серета, Л.П. Підвищення технічних характеристик системи рульового керування сільськогосподарських машин за рахунок розробки нової конструкції насос-дозатора / Л.П. Серета, М.І. Іванов, О.О. Переяславська. // Промислова гідравліка і пневматика. — 2005. — №1(7). — С. 101—103.

4. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д. Н. Попов. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — М.: Машиностроение, 1987. — 464 с.

5. Моторна, О.О. Математична модель системи гідравлічного об'ємного рульового керування / О.О. Моторна. // Промислова гідравліка і пневматика. — 2007. — №4(18). — С. 95—102.

6. Моторная, О.О. Усовершенствование конструкции насоса-дозатора системы гидрообъемного рулевого управления самоходных машин / О. Моторная, Н. Иванов, Л. Серета, А. Переяславский. // MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. — Lublin. 2014. — Vol. 16, №5. — С. 103—114.

7. Лямаев, Б.Ф. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. Методы расчета на ЭВМ / Б.Ф. Лямаев, Г.П. Небольсин, В.А. Нелюбов.; под ред. Б.Ф. Лямаева. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. — 192 с.

8. Прайс, Д. Программирование на языке Паскаль: практическое руководство / Д. Прайс; [пер. с англ.]. — М.: Мир, 1995. — 257 с.

9. Іванов, М.І. Вплив попутного навантаження на роботу системи гідрооб'ємного рульового керування мобільних машин / М.І. Іванов, С.А. Шаргородський. // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. — Вінниця. — 2002. — Вип.11. — С. 204—210.



**References**

1. Sauer-Danfoss. General, Steering Components. Technical Information. Mobile Power and Control Systems 520L0468, [Elektronnyi resurs] / Rev BB, Feb 2010. — Rezhym dostupu: <http://www.sauer-danfoss.com/Products/Steering/index.htm>.
2. Pat. 86521 Ukraina, MPK B62D 5/00. Hidravlichnyi rulovyi mekhanizm transportnoho zasobu / M.I. Ivanov, L.P. Sereda, O.O. Motorna, Yu.M. Kozak, O.M. Pereiaslavsky; zaiavnyk i patentovlasnyk Vinnytskyi derzhavnyi ahrarnyi universytet. — № u 2013 01264; zaiavl. 04.02.2013; opubl. 10.01.2014, Biul. № 1, 2014 r.
3. Sereda, L.P. Pidvyshchennia tehnichnykh kharakteristik systemy rulovogo keruvannia silskogospodarskykh mashin za rakhunok rozrobky novoi konstruktsii nasos-dozatora / L.P. Sereda, M.I. Ivanov, O.O. Pereiaslavska. // Promyslova gidravlika i pnevmatyka. — 2005. — № 1(7). — S. 101—103.
4. Popov, D.N. Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem / D.N. Popov. — [2-e izd., pererab. i dop.]. — M.: Mashinostroenie, 1987. — 464 s.
5. Motorna, O.O. Matematichna model systemy gidravlichnogo obemnogo rulovogo keruvannia / O.O. Motorna. // Promyslova gidravlika i pnevmatyka. — 2007. — № 4(18). — S. 95—102.
6. Motornaia, O. Uovershenstvovanie konstruktsii nasosa-dozatora systemy gidroobimnogo rulevogo upravleniya samokhodnykh mashin / O. Motornaia, N. Ivanov, L. Sereda, A. Pereiaslavskii. // MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. — Lublin. 2014. — Vol. 16, №5. — S. 103—114.
7. Liamaev, B.F. Statsionarnye i perekhodnye protsessy v slozhnykh gidrosistemakh. Metody rascheta na EVM / B.F. Liamaev, G.P. Nebolsin, V.A. Neliubov.; pod red. B.F. Liamaeva. — L.: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1978. — 192 s.
8. Prais, D. Programmirovaniye na yazyke Paskal: prakticheskoe rukovodstvo / D. Prais ; [per. s angl.]. — M.: Mir, 1995. — 257 s.
9. Ivanov, M.I. Vplyv poputnogo navantazhennia na robotu systemy gidroobimnogo rulovogo keruvannia mobilnykh mashin / M.I. Ivanov, S.A. Shargorodskiy. // Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskogo derzhavnogo agrarnogo universytetu. — Vinnytsia. — 2002. — Vyp. 11. — S. 204—210.

Надійшла 15.02.2016 року

УДК 001.8: 519.876.2: 631.3: 62-585.2: 62-514.5

**Методика исследования математической модели гидрообъемной системы рулевого управления самоходной машины с модернизированным насосом-дозатором**

**О.А. Моторная**

Рассматривается задача анализа гидрообъемной системы рулевого управления самоходной машины с модернизированным насосом-дозатором. Предложен алгоритм исследования переходного процесса, который учитывает соответствующие этапы работы системы, а именно, начало подачи рабочей жидкости от насоса питания, начало вращения руля и начало воздействия нагрузки на шток гидроцилиндра.

Проанализированы условия функционирования системы гидрообъемного рулевого управления и определены возможные режимы ее работы. Показано, что в качестве нагрузки для насоса-дозатора целесообразно рассматривать не усилие на исполнительном гидроцилиндре, а перепад давления в его выходных каналах, что позволяет оценивать функционирование насосов-дозаторов при идентичном нагружении независимо от их рабочего объема. Определены диапазоны изменения частоты вращения входного вала насоса-дозатора и нагрузки в его выходных каналах. Предложено во время исследования математической модели формировать файл базы динамических данных в виде реляционной базы данных и формировать текстовый файл, которые позволяют в дальнейшем проводить детальный анализ системы в среде программы *Mathcad* для любых числовых экспериментов, которые были проведены.

*Ключевые слова:* система рулевого управления, насос-дозатор, методика исследования, показатели качества, база данных.

UDC 001.8: 519.876.2: 631.3: 62-585.2: 62-514.5

**The mathematical model research methodology of the self-propelled machinery hydrostatic steering system with the improved steering unit**

**O.O. Motorna**

The self-propelled machinery hydrostatic steering system with upgraded steering unit problem is considered. The transmission process research algorithm that considers system

operational stages: the working fluid supply start from supply pump, the steering wheel rotation start and the onset of the load action on the hydrocylinder rod was offered.

The hydrostatic steering system functioning conditions were analyzed and possible operational modes were identified. The expedience to consider not load on the operational hydrocylinder but pressure difference in it's output channels as load for steering unit is showed, that allows to estimate steering units functioning under identical load independently from their

working volume. The steering unit input shaft rotation speed range and it's input channels loads were defined. During mathematical model research was suggested to create the dynamic database file in relational database form and to create the text file that allow in future to provide detailed system analysis in *Mathcad* program environment for any numerical tests that were done.

*Keywords: the steering system, the steering unit, research methodology, quality indicators, database*