МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

САЛИГА ТИМОФІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 621.05

СИНТЕЗ ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТІВ З ДИСКРЕТНИМ ТА ПРОПОРЦІЙНИМ УПРАВЛІННЯМ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Спеціальність 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконана на кафедрі гідравлічних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти й науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Черкашенко Михайло Володимирович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
завідувач кафедри гідравлічних машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Панченко Анатолій Іванович,
Таврійський державний агротехнологічний університет,
м. Мелітополь,
завідувач кафедри мобільних і енергетичних засобів

кандидат технічних наук, доцент
Дмитрієнко Ольга Вячеславівна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
доцент кафедри гідропневмоавтоматики і гідроприводу

Захист відбудеться «8» листопада 2012 р., о $14^{\underline{30}}$ годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.11 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «6» жовтня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Юдін Ю.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Широке поширення гідропневмоагрегатів пов’язано з необхідністю забезпечити швидке й точне управління переміщеннями з великими енергіями й зусиллями. Гідропневмоагрегати, завдяки своїй високій питомій потужності, мають невелику вагу, надійні й вимагають для розміщення невеликий простір. У зв'язку з тим, що для управління гідроапаратурою не потрібен великий тиск, пневмоапаратуру доцільно використовувати в комбінованих гідропневмоагрегатах, де пневмоапарати з дискретним управлінням відповідають за системи керування та автоматизації, а гідроапарати з пропорційним управлінням за силову частину гідроприводу. Сполучення переваг гідравлічних і пневматичних пристроїв у комбінованих пневмогідравлічних агрегатах має широкі можливості у мобільній сільськогосподарській техніці, одній з найбільших галузей машинобудування, у якій використовуються гідроагрегати.

Вдосканалення методів розрахунку та проектування гідропневмоагрегатів спрямоване на подальше підвищення ефективності і якості розробки комбінованих гідропневмоагрегатів.

Тому синтез комбінованих пневмогідравлічних агрегатів із дискретним пневматичним управлінням і гідравлічними розподільниками із пропорційним управлінням для мобільної сільськогосподарської техніки є актуальним завданням. Рішення зазначених завдань і визначило напрямок дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі гідравлічних машин НТУ «ХПІ» відповідно науковому напрямку в галузі підвищення технічного рівня гідропневмоагрегатів. У дисертаційній роботі використовуються результати, отримані при участі здобувача при виконанні держбюджетної теми «Розробка комплексу математичних моделей, проточних частин гідропневмоагрегатів і визначення характерних особливостей робочого процесу» (ДР №0106U001481) та договору НДР «Проведення досліджень гідророзподільників» (корпорація «Гідроелекс», м. Харків).

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – підвищення технічного рівня гідропневмоагрегатів шляхом удосконалення методу структурного синтезу, математичного моделювання робочого процесу розподільників із пропорційним управлінням з поліпшенням динамічних характеристик.

Для досягнення поставленої мети поставлені наступні завдання:

– вдосконалити метод синтезу схем гідропневмоагрегатів з урахуванням неоднозначності розбиття вхідної послідовності, що дозволяють спростити схему;

– розробити математичну модель робочого процесу розподільника із пропорційним управлінням за запропонованою схемою з урахуванням швидкодії блоку електрогідравлічного управління та динамічних характеристик гідроапаратури, що застосовується в гідроагрегатах сільськогосподарських машин;

– вдосконалити методику оцінки функціональних можливостей гідропневмоагрегатів, в яких застосовуються розподільники із пропорційним управлінням, що включає вибір їх конструктивних особливостей та параметрів.

Об'єктом дослідження є робочі процеси в гідропневмоагрегатах сільськогосподарських машин.

Предметом дослідження є вдосконалення параметрів гідропневмоагрегатів на основі структурного й динамічного синтезу та аналізу, що дозволяє синтезувати раціональні схеми комбінованих гідропневмоагрегатів сільськогосподарських машин.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційної роботи використовувалися фундаментальні положення теорії механіки рідини й газу, термодинаміки та структурного синтезу. Динамічні параметри розподільника із пропорційним управлінням гідропневмоагрегата визначалися за допомогою математичних моделей, з використанням теорії термодинаміки й структурного аналізу гідропневмоагрегатів. Реальні динамічні показники і якість перехідних процесів гідропневмоагрегатів з розподільниками із пропорційним управлінням визначалися експериментально на дослідних зразках.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

– розроблено узагальнені математичні моделі робочого процесу систем управління й метод проектування комбінованих гідропневмоагрегатів сільськогосподарських машин з урахуванням неоднозначності розбиття вхідної послідовності на основі методу повної мінімізації стандартної позиційної структури проф. М.В. Черкашенко;

– синтезовано математичну модель робочого процесу гідроагрегата з розподільником з пропорційним управлінням з урахуванням швидкодії блоку електрогідравлічного управління та динамічних характеристик гідроапаратури, що застосовується в гідроагрегатах сільськогосподарських машинах;

– вдосконалено методику оцінки функціональних можливостей гідроагрегатів, в яких застосовуються розподільники із пропорційним управлінням, що забезпечує швидкодію та точність відпрацювання сигналу, що задається.

Практичне значення одержаних результатів для машинобудівної галузі пов'язане з використанням резервів покращення технічного рівня сільськогосподарських машин з комбінованими пневмогідравлічними системами, за рахунок синтезу раціональних схем.

Розроблені математичні моделі робочого процесу розподільника з пропорційним управлінням та методи проектування схем з урахуванням неоднозначності розбиття вхідної послідовності є базою для проектування ефективної розподільної апаратури, раціональних гідравлічних схем та вдосконалення існуючих гідропневмоагрегатів.

Зокрема, результати дисертаційного дослідження використовуються при розробці та модернізації гідроагрегатів в корпорації «Гідроелекс», м. Харків.

Основні результати досліджень використовуються в навчальному процесі кафедри гідравлічних машин НТУ «ХПІ» у дисциплінах

«Гідропневмоавтоматика», «Пневматичні й гідравлічні системи керування», «Гідропневмоавтоматика нафтового обладнання».

Особистий внесок здобувача. Всі положення дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Серед них: розробка математичних моделей робочого процесу і методу проектування комбінованих гідропневмоагрегатів сільськогосподарських машин з урахуванням неоднозначності розбиття вхідної послідовності; для динамічного аналізу розроблені комплексні математичні моделі роботи розподільника із пропорційним управлінням з урахуванням динамічних особливостей гідропневмоагрегатів і реальної швидкодії розподільної апаратури; проведені дослідження запропонованої математичної моделі роботи розподільника із пропорційним управлінням, реалізованої в пакеті MATLAB, для використання у подальшому проектуванні гідропневмоагрегатів; розроблено методику оцінки функціональних можливостей розподільників із пропорційним управлінням.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: XVI, XVII, XX Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2008р., 2009р., 2012р.); VI та VIII Міжнародної науково-технічних конференціях «Проблемы энергосбережения Украины и пути их решения» (м. Харків, 2010р., 2012 р.); XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Черкаси 2012р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 7 наукових праць, серед них 5 статей у фахових наукових виданнях України, 2 тезисів конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Повний обсяг дисертації становить 162 сторінки; з них 54 рисунки по тексту; 1 рисунок на 1 окремій сторінці; 6 таблиць по тексту; 3 додатків на 16 сторінках; список використаних джерел з 125 найменувань на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, приведені мета і основні задачі досліджень, охарактеризовані новизна, теоретична й практична цінність отриманих результатів, приведені дані про апробацію і публікацію основних наукових положень, які вміщує дисертація.

У першому розділі проведено аналіз проблеми використання різних методів реалізації схем при проектуванні гідропневмоагрегатів сільськогосподарських машин. Зазначено , що вибір тієї або іншої структурної схеми може бути здійснений у результаті ретельного аналізу процесу роботи машини, виходячи з конкретних вимог замовника. Аналізуються існуючі методи синтезу структурних схем. Відзначається необхідність розробки удосконаленого методу синтезу схем з урахуванням неоднозначності розбиття вхідної послідовності.

Проаналізовані існуючі рішення з використанням розподільників із пропорційним управлінням. Відзначаються проблемні ситуації при застосуванні дискретних гідравлічних розподільників та для їх вирішення пропонується застосування розподільників із пропорційним управлінням із зворотнім зв'язком по навантаженню в комбінованих гідропневмоагрегатах сільськогосподарських машин.

У другому розділі запропоновано метод синтезу схем комбінованих гідропневмоагрегатів з урахуванням неоднозначності розбиття вхідної послідовності та запропоновано секційний розподільник із пропорційним управлінням та зворотнім зв'язком по навантаженню.

В якості об'єкту досліджування був вибраний гидропневмоагрегат трактора ХТЗ-16131 з комбінованою пневмогідравлічною системою управління та застосуванням розподільника із пропорційним управлінням з зворотнім зв'язком по навантаженню.

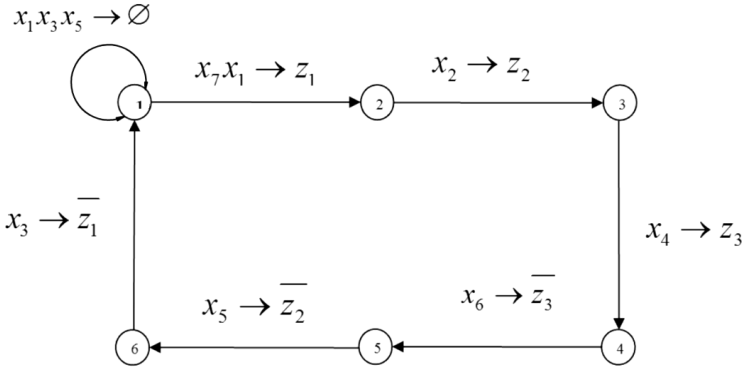

Рис. 1. Граф операцій
гідропневмоагрегата трактора ХТЗ-16131

Взаємодія вхідних сигналів і виконавчих пристроїв наведена в таблиці 1. Граф операцій, що описує роботу гідропневмоагрегату трактора ХТЗ-16131, подано на рис. 1.

Таблиця 1.

Взаємодія вихідних і вхідних сигналів

Вихідні сигнали		Вхідні сигнали	
Позначення	Найменування операцій	Початкове положення	Кінцеве положення
Z_1	Розблокування диференціалу	X_1	X_2
Z_2	Приведення в робоче положення та обробка культиватором	X_3	X_4
Z_3	Приведення в робоче положення та обробка валиком	X_5	X_6

Вершини графа – операції технологічного процесу; дуги – переходи від попередніх операцій до інших; X – вхідні сигнали; Z – вихідні сигнали, $\to$ – знак наслідку. Послідовність вхідних наборів має вигляд: $x_1x_3x_5 \to \varnothing$, $x_7x_1, x_3x_5 \to z_1$, $*x_2, x_3x_5 \to z_2$, $**x_4, x_2x_5 \to z_3$, $x_6, x_2x_4 \to \overline{z_3}$, $**x_5, x_4x_2 \to \overline{z_2}$, $*x_3, x_2x_5 \to \overline{z_1}$.

Матриця відповідностей має наступний вигляд

		x_7x_1	x_2y	x_4y	x_6	$x_5\bar{y}$	$x_3\bar{y}$
$\bar{y}$	$x_1x_3x_5 \to \varnothing$	0	0	0	0	1	1
$\bar{y}y\mathrm{S}$	$x_7x_1, x_3x_5 \to z_1$	**1**	0	0	0	1	1
$y*$	$x_2, x_3x_5 \to z_2$	0	**1**	0	0	0	0
$y**$	$x_4, x_2x_5 \to z_3$	0	1	**1**	0	0	0
$\bar{y}yR$	$x_6, x_2x_4 \to \overline{z_3}$	0	1	1	**1**	0	0
$\bar{y}**$	$x_5, x_4x_2 \to \overline{z_2}$	0	0	0	0	**1**	0
$\bar{y}*$	$x_3, x_2x_5 \to \overline{z_1}$	0	0	0	0	1	**1**

,

де S – включення елемента пам'яті (ЕП); R – відключення ЕП; $y, \bar{y}$ – виходи; X – вхідні сигнали; Z – вихідні сигнали.

Аналіз матриці показує, що дві обведені одиниці в рядку x_6,x_2x_4 зникають при перемиканні ЕП.

Структурні рівняння, що описують схему гідропневмоагрегата, мають вигляд: $z_1 = S = x_7x_1$; $z_2 = x_2y$; $z_3 = x_4y$; $\overline{z_3} = R = x_6$; $\overline{z_2} = x_5\bar{y}$; $\overline{z_1} = x_3\bar{y}$.

По отриманих формулах побудовано мінімізовану комбіновану пневмогідравлічну схему (рис. 2). Одержавши схему гідропневмоагрегату методом повної мінімізації стандартної позиційної структури замість двадцяти трьох розподільників і шести клапанів «або», які були б необхідні в системі управління, побудованої за допомогою командоапарата, мінімізація схеми дозволила реалізувати її за допомогою восьми пневматичних розподільників і трьох гідравлічних із пневматичним управлінням, що у значній мірі спростило структурну схему.

Використання в існуючий гідравлічній системі навісного обладнання трактора ХТЗ-16131 дискретного розподільника призводить до наступних істотних недоліків. Будь-яка зміна навантаження на робочому органі призводить до перерозподілу тисків і, відповідно, до необхідності коригувальних переміщень ручки управління золотником оператором, для забезпечення необхідної швидкості переміщення поршня гідроциліндра. Це знижує точність робочих рухів і підвищує стомлюваність оператора. При необхідності повільного переміщення поршнів гідроциліндрів, тобто пропущення через золотники частини витрати робочої рідини, що подається насосом, частина витрати, що залишається, зливається в бак під тиском, рівним величині налаштування клапана запобіжного, що призводить до перегріву й підвищеного окислювання робочої рідини, погіршенню її можливостей змащення і, як наслідок, підвищеному зношуванню пар тертя гідроапаратів, а також до збільшення непродуктивної витрати палива.

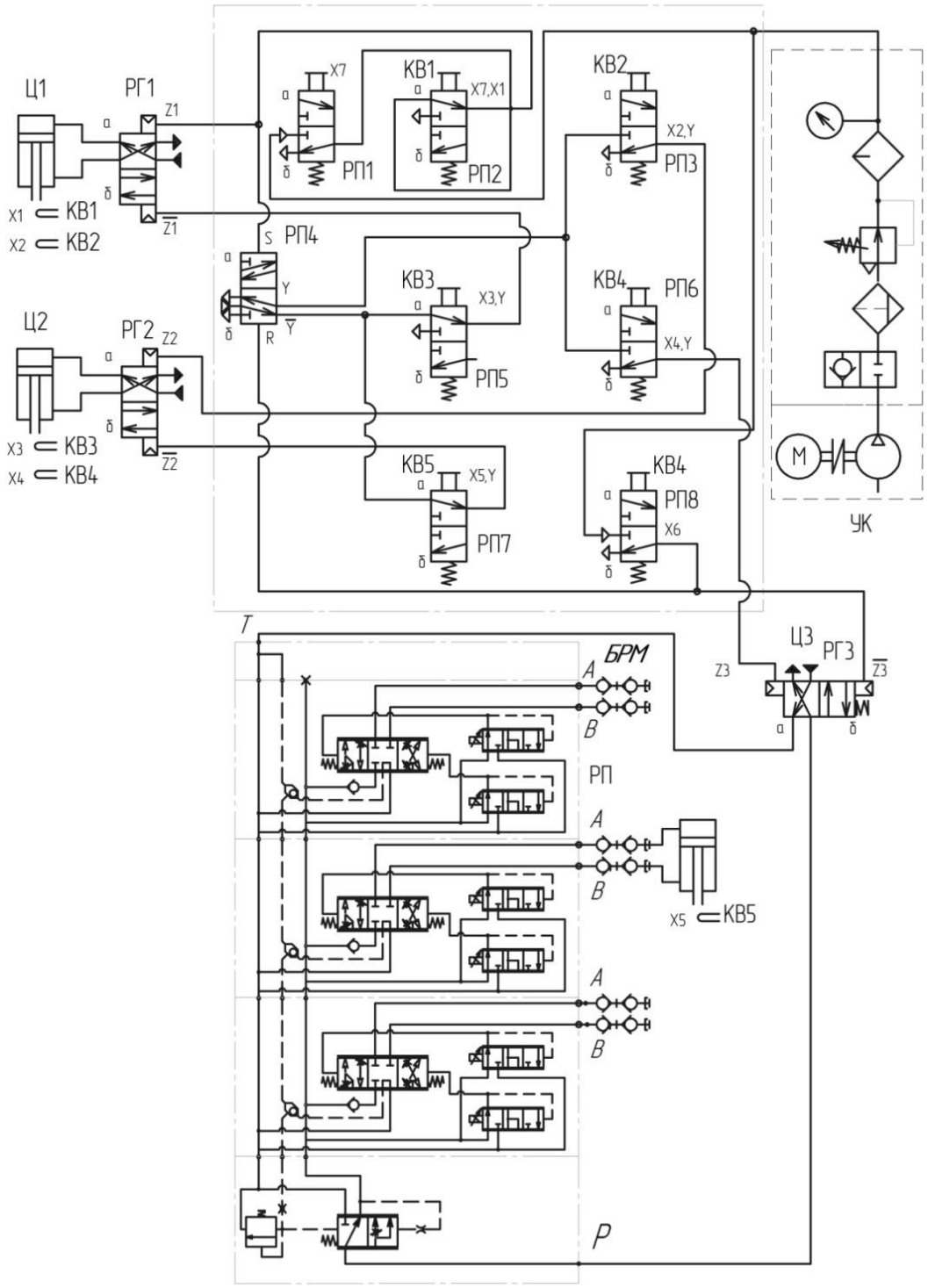

Рис.2. Схема пневмогідравлічна гідропневмоагрегата навісного встаткування трактора ХТЗ-16131

Тому запропонована схема секційного розподільника із пропорційним управлінням та зворотнім зв’язком по навантаженню (рис. 3). У розподільнику застосовується гідроклапан різниці тиску 1, що дозволяє підтримувати постійний перепад тиску на щілині, що дроселює. Перепад тиску на розподільнику лежить у межах 0,3–1,6 МПа. На цій схемі: 1 – гідроклапан різниці тиску; 2 – секції гідророзподільника; 3 – щілина, що дроселює; 4 – елемент АБО; 5 – клапан запобіжний; 6 – дросель постійний; 7 – клапан зворотній.

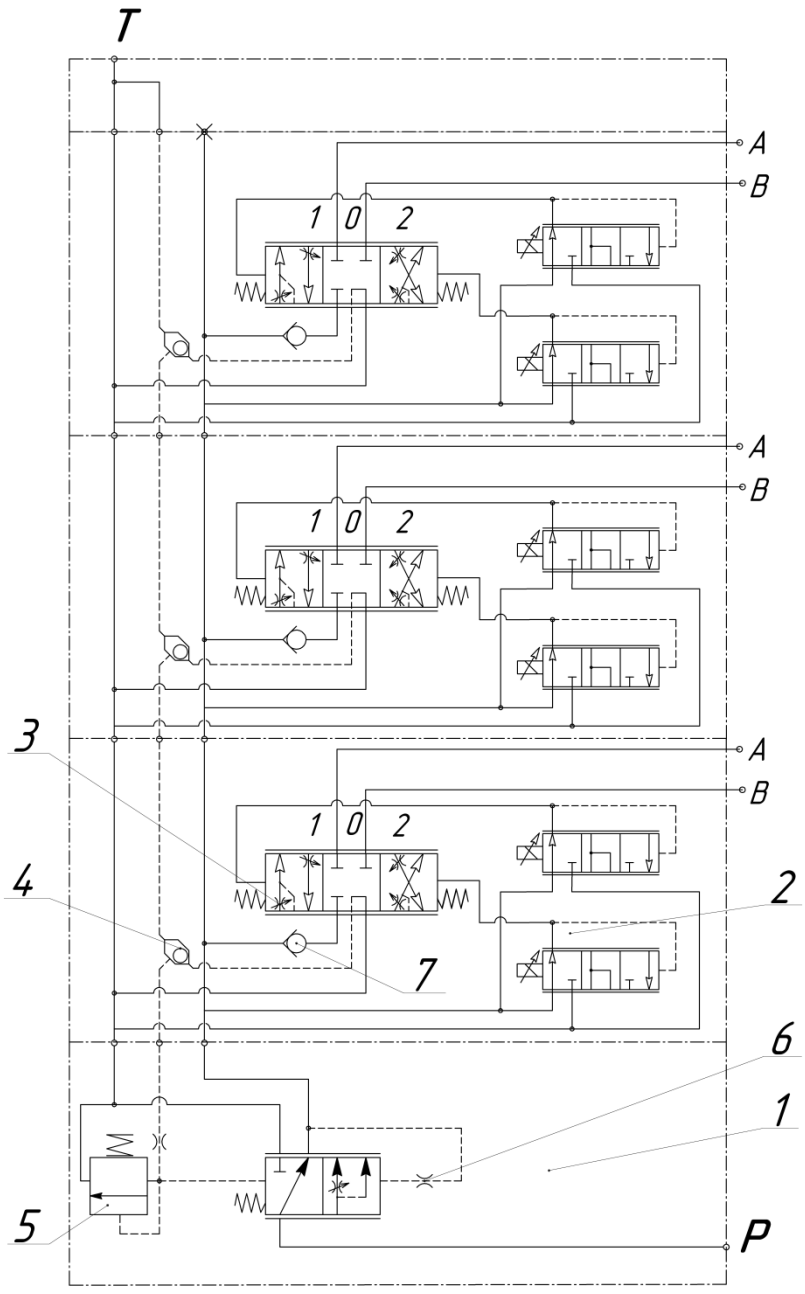

Рис. 3. Схема гідравлічна принципова секційного розподільника із пропорційним управлінням

Оскільки на обраному об'єкті досліджень не вдалося визначити вплив неоднозначності розбиття вхідної послідовності, проведено дослідження з рядом схем комбінованих пневмогідроагрегатів сільськогосподарських машин. Вплив неоднозначності розбиття вхідної послідовності на складність схеми вдалося виявити при синтезі комбінованої пневмогідравлічної схеми гідропневмоагрегата сільськогосподарської машини для пересадження дерев МПД 1800.

Взаємодія вхідних і вихідних сигналів наведена в таблиці 2.

Граф операцій, що описує роботу гідропневмоагрегата, представлений на рис. 4. У першій вершині записується вхідний набір, що характеризує вихідний стан виконавчих пристроїв.

Таблиця 2.

Взаємодія вхідних і вихідних сигналів

Найменування операції	Вихідні сигнали	Вхідні сигнали	
		Вихідне положення	Кінцеве положення
Підйом установки	z_1	x_2	x_3
Поворот установки	z_2	x_4	x_5
Розсування сектора ножів	z_3	x_6	x_7
Висування ножів	z_4	x_8	x_9

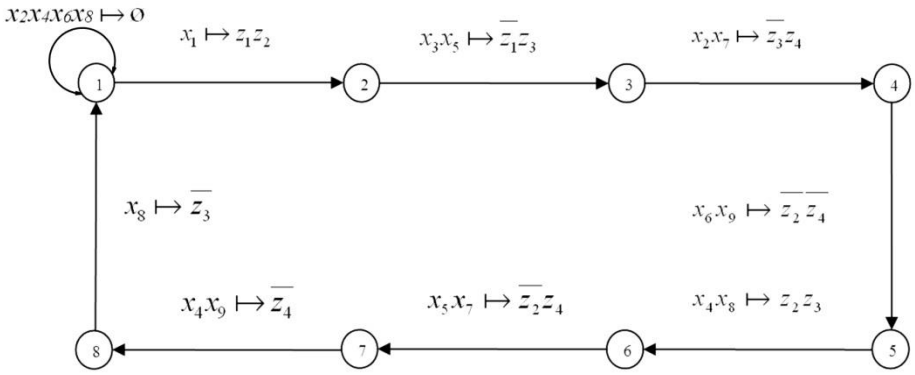

Рис. 4. Граф операцій гидропневмоагрегата МПД 1800

Послідовність вхідних наборів має вигляд: $p_1=ø, x_2x_4x_6x_8^1$; $p_2=x_1$, $x_2x_4x_6x_8$; $p_3=x_3x_5$, x_6x_8 ; $p_4=x_2x_7$, $x_5x_8^2$; $p_5=x_6x_9$, x_2x_5; $p_6=x_4x_8$, $x_2x_6^1$; $p_7=x_5x_7$, $x_2x_8^2$; $p_8=x_4x_9, x_2x_7$; $p_9=x_8x_2, x_4x_7$, де x_1 – кнопка пуск.

Можливі варіанти розбивок: розбивка $\pi=\{\{...,p_j\},\{\ p_\xi,\ p_j\ ...\}\}$ не задовольняє умові $\pi=\ldots,\{\ldots,p_j\},\{\ldots,p_j,\ \ldots\},\ \ldots$ розбивка $\pi=\{\{...,\ p_j\},\ \{p_\xi\},\{\ p_j...\}\}$ не задовольняє умові мінімальності підмножин. Отже, можлива єдина розбивка $\pi=\{\{...,\ p_j,\ p_\xi\},\ \{\ p_j,...\}\}$. Аналогічні міркування можливо будувати при існуванні декількох однакових, що йдуть через один, вхідних наборів. У нашому випадку одержуємо дві можливі розбивки $\pi_1=\{\{p_9, p_1^1\ ,p_2,p_{3,}\ p_4^2\ ,p_5,\},\{\ p_6^1\ ,\ p_7^2\ ,p_8\}\}$ і $\pi_2=\{\{\ p_1^1\ ,p_2,p_{3,}\ p_4^2\ ,p_5,\},\ \{\ p_6^1\ ,\ p_7^2\ ,p_8\ ,p_9\}\}$ Отже, систему управління має два внутрішніх стани 1 та 2. Введемо матрицю R, рядки якої відповідають вхідним наборам, а стовпці – можливим розбивкам π вхідних наборів. Тоді елемент, що стоїть на перетинанні рядка j і стовпця ρ матриці R, $r_{ip}=m$, якщо набір p_j у розбивці π переходить до внутрішнього стану m. Так, матриця R має вигляд

$$R=\begin{array}{c} \begin{array}{ccccccccc} p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 & p_9 \end{array} \\ \left\| \begin{array}{ccccccccc} 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & A_1 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & A_2 \end{array} \right| \begin{array}{c} \pi_1 \\ \pi_2 \end{array} \end{array},$$

де A_1 і A_2 – стан можливих перемикань ЕП.

		x_1	x_3x_5	$x_2x_7\overline{y}$	x_6x_9	x_4x_8в	x_5x_7в	x_4x_9	$x_8\,x_4\,x_7$	
*$x_2x_4x_6x_8$	p_1	0	0	0	0	0	0	0	1	ø
$x_1,x_2x_4x_6x_8$	p_2	**1**	0	0	0	0	0	0	1	z_1z_2
x_3x_5,x_6x_8	p_3	0	**1**	0	0	0	0	0	0	$\overline{z_1}z_3$
**x_2x_7,x_5x_8	p_4	0	0	**1**	0	0	0	0	1	$\overline{z_3}z_4$
x_6x_9,x_2x_5	p_5	0	0	0	**1**	0	0	0	0	$\overline{z_2}\,\overline{z_4}$
*x_4x_8,x_2x_6	p_6	0	0	0	0	**1**	0	0	1	z_2z_3
**x_5x_7,x_2x_8	p_7	0	0	0	0	0	**1**	0	1	$\overline{z_2}z_4$
x_4x_9,x_2x_7	p_8	0	0	A_1	0	0	0	**1**	0	$\overline{z_4}$
$x_8,x_2x_4x_7$	p_9	0	0	A_2	0	1	0	0	**1**	$\overline{z_3}$

Так як останні набори в кожній підмножині розбивок діють у двох сусідніх станах (у своєму й наступному), а наступним останньому набору впорядкованої множені наборів P є перший набір з P, тоді такими є набори p_5 і для розбивки $\pi_1 - p_8$, і для розбивки $\pi_2 - p_9$. Для синтезу рівнянь побудовано матрицю відповідностей.

Розбивка π_1 вимагає додаткове подовження сигналом x_5 і надалі робить функції z_3 і z_4 складнішими. Розбивка π_2 не вимагає подовження сигналом x_5, і тому в остаточному підсумку переваго надано розбивці π_2. Рівняння, що отримані з матриці відповідностей, мають вигляд: $z_1=x_1$; $z_2=x_1+x_4x_8y$; $z_3=x_3x_5+x_4x_8y$; $z_4=x_2x_7\overline{y}+x_5x_7y$; $\overline{z_1}=x_3x_5$; $\overline{z_2}=x_6x_9+x_5x_7y$; $\overline{z_3}=x_2x_7\overline{y}+x_4x_7x_8$; $\overline{z_4}=x_6x_9+x_4x_9$; $R=x_4x_7$; $S=x_6x_9$. Систему рівнянь, після введення проміжних змінних, представлено у вигляді: $w_1=x_4x_8$; $w_2=w_1y$; $w_3=w_1x_7$; $w_4=yx_5x_7$; $w_5=x_2x_7$; $w_6=x_6x_9$; $w_7=x_3x_5$. Тоді: $S=w_3$; $R=w_6$; $z_1=x_1$; $z_2=x_1+w_2$; $z_3=w_7+w_2$; $z_4=w_5+w_4$; $\overline{z_1}=w_7$; $\overline{z_2}=w_6+w_4$; $\overline{z_3}=w_5+w_3$; $\overline{z_4}=w_6+x_4x_9$; де $w_1 \div w_7$ – найбільш повторювані загальні частини рівняння; S, R – функції перемикання ЕП; $z_1 - z_4$ – функції виходів.

По отриманій системі рівнянь складено схему, показану на рис. 5.

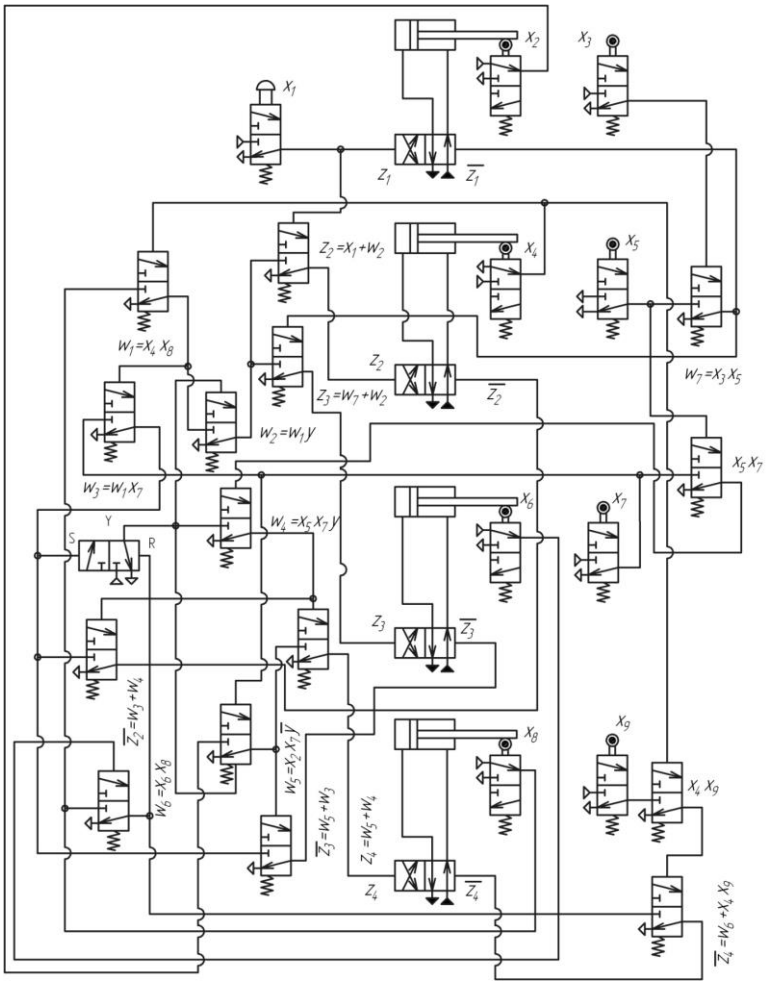

Рис. 5. Схема комбінованого гидропневмоагрегата машини для пересадження дерев

Третій розділ присвячено аналізу динаміки розподільника з пропорційним управління та зворотнім зв'язком по навантаженню.

Складено розрахункові схеми для золотника блоку гідравлічного управління й золотника основної секції розподільника та лінії управління. Розрахункові схеми представлені відповідно на рис. 6 та рис. 7.

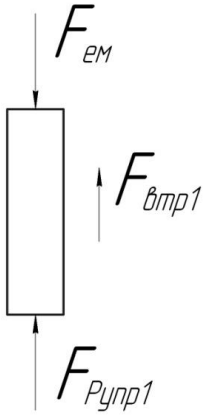

Рис. 6. Розрахункова схема системи, що складається з золотника блоку електрогідравлічного управління

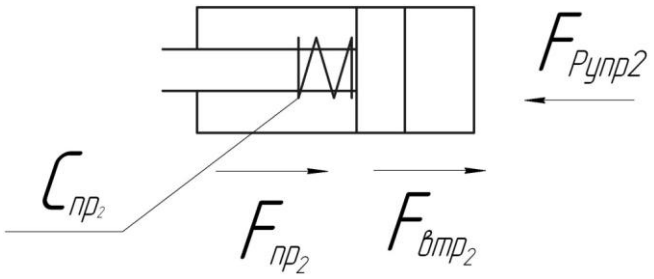

Рис. 7. Розрахункова схема системи, що складається з лінії управління та золотника розподільника

У схемах на рис. 6 та рис. 7 прийняті наступні позначення (таблиця 3).

Таблиця 3

Позначення елементів математичної моделі

Позначення параметра	Назва	Одиниця виміру
$F_{ем}$	Зусилля, що управляє та діє з боку пропорційного електромагніта (ПЕМ)	кгс
$F_{Рупр1}$	Сила впливу тиску робочої рідини на торець золотника пілота	кгс
$F_{Рупр2}$	Сила впливу тиску робочої рідини на торець основного золотника	кгс
$F_{втр1}$	Сила в'язкого тертя, що впливає на золотник управління	кгс
$F_{втр2}$	Сила в'язкого тертя, що впливає на основний золотник	кгс
$F_{пр}$	Сила, з якої на золотник діє пружина	кгс
$C_{пр}$	Жорсткість пружини	кгс/см

Рівняння рівноваги золотника блоку гідравлічного управління $F_{ем} = F_{ін1} + F_{Рупр1} + F_{втр1}$, де $F_{ін1}$ – сила інерції золотника редукційного клапана. Сили інерції завжди буде протидіяти зміні напряму руху золотника й визначатися по формулі $F_{ін1} = m_1 \times \frac{d^2x}{dt^2}$, де x – переміщення золотника пілота. Сила, що діє на торець золотника пілота (золотника

управління) $F_{Pупр1} = p_{упр} S_1$, де S_1 – площа торця золотника пілота. Сила в'язкого тертя для золотника пілота визначається як $F_{втр} = k_{втр1} \frac{dx}{dt}$, де m_1 – маса золотника пілота; $k_{втр1}$ – коефіцієнт в'язкого тертя. Вхідне у формулу зусилля, що управляє та діє з боку ПЕМ – $F_{ем}$ у свою чергу буде визначаться силою струму I і коефіцієнтом пропорційності ПЕМ – $k_{ем}$.

Рівняння рівноваги основного золотника $F_{Pупр2} = F_{ін2} + F_{пр} + F_{пр10} + F_{втр2} + F_{сух}$, де $F_{ін2}$ – сила інерції золотника розподільника. $F_{ін2} = m_2 \frac{d^2 y}{dt^2}$, де m_2 – маса золотника розподільника. $F_{пр10}$ – зусилля попереднього підтискання пружини, що центрує. Зусилля стислої пружини, що центрує: $F_{пр} = C_{пр} y$, де y – переміщення золотника розподільника. Сила впливу тиску робочої рідини на торець золотника розподільника: $F_{Pупр2} = p_{упр2} S_2$, де S_2 – площа торця основного золотника розподільника; $p_{упр2}$ – тиск що діє на торець золотника розподільника.

Сила в'язкого тертя для основного золотника: $F_{втр2} = k_{втр2} \frac{dy}{dt}$, де $k_{втр2}$ – коефіцієнт в'язкого тертя.

Сімейство витратних характеристик золотника визначається рівняннями Бернуллі й рівняннями нерозривності потоку рідини. З умови нерозривності потоку рідини схеми балансу витрат будуть мати вигляд: для пілота (рис. 8); для основного розподільника (рис. 9). У схемах (рис. 8 та рис. 9) прийняті наступні позначення (табл. 4).

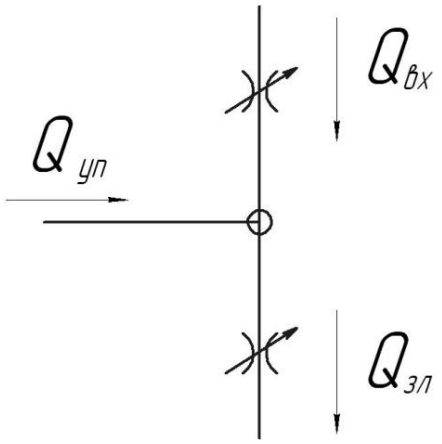

Рис. 8. Витратна схема для каскаду управління (пілоту)

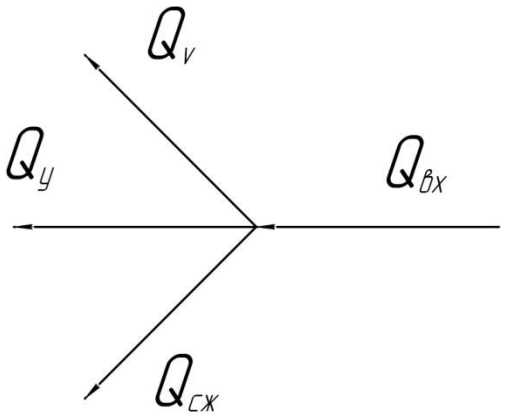

Рис. 9. Витратна схема для розподільника

Таблиця 4

Позначення елементів схеми балансів витрати

Позначення параметра	Назва	Одиниця виміру
$Q_{уп}$	Витрата, що йде на каскад управління	см^3/с
$Q_{вх}$	Витрата через напірну крайку	см^3/с
$Q_{зл}$	Витрата через зливальну щілину редукційного клапана	см^3/с
Q_y	Витрата на переміщення золотника розподільника	см^3/с
Q_V	Витрата, що йде на витоки	см^3/с
$Q_{вх}$	Витрата, що йде на основний розподільник	см^3/с
$Q_{ст}$	Витрата на стискання обсягу робочої рідини	см^3/с

По витратних схемах складено наступні рівняння балансу витрат: $Q_{вх} = Q_V + Q_{ст} + Q_y + Q_{зл}$. У свою чергу витрата на переміщення золотника розподільника буде дорівнювати $Q_V = S_2 \dfrac{dy}{dt}$. Розглянутий гідророзподільник із пропорційним управлінням гідропневмоагрегата трактора ХТЗ-16131 розташовують у безпосередній близькості від виконавчих пристроїв. Тому втрати тиску у виконавчих гідролініях малі, ними можливо знехтувати. Однак необхідно врахувати витрати, що виникають через стискання робочої рідини.

Втрати об'єму на стискання робочої рідини: $Q_{ст} = \dfrac{V}{E}\dfrac{dp_{упр}}{dt}$, де V – об'єм лінії управління; E – модуль пружності робочої рідини що знаходиться у лінії управління. Вираз для визначення площі напірної щілини, що дроселює, $S_{щ} = \frac{8}{3} \cdot h \cdot \sqrt{h \cdot (D-h)}$, де h – величина позитивного перекриття робочої щілини, що дроселює; D – діаметр отвору, що підводить, у корпусі блоку гідравлічного управління. Крім того, витрату при позитивному й нульовому перекритті щілин будемо вважати рівній нулю.

Тоді рівняння витрат через щілину, що дроселює складатиметься з двох складових:

1). Для напірної щілини:

$$\text{при } x - l_0 \le 0 \qquad Q_{вх} = 0,$$

$$\text{при } x - l_0 > 0 \quad Q_{вх} = \begin{cases} \mu\sqrt{\dfrac{2}{\rho}} S_{вх} \sqrt{p_{упр2} - p_{упр1}} \\ S_{вх} = \dfrac{8}{3}(x - l_0)\sqrt{(x - l_0)(D - (x - l_0))} \end{cases}, \qquad (1)$$

де x – переміщення золотника управління; μ – коефіцієнт витрати (const); $p_{упр1}$ – тиск управління що діє на пілотний золотник; $p_{упр2}$ – тиск, що діє на торець основного золотника; ρ – щільність робочої рідини; $S_{вх}$ – площа прохідного

перетину напірної щілини, що дроселює; l_0 – початкове позитивне перекриття щілини, що дроселює.

2) Для зливної щілини:

$$\text{при } x + l_0 \geq 0 \qquad Q_{вых} = 0,$$

$$\text{при } x + l_0 < 0 \quad Q_{вых} = \begin{cases} \mu \sqrt{\frac{2}{\rho}} S_{вх} \sqrt{p_{упр1}} \\ S_{вsх} = \frac{8}{3} |x + l_0| \sqrt{|x + l_0| \times (D - |x + l_0|)} \end{cases}. \qquad (2)$$

У результаті узагальнення рівнянь отримаємо співвідношення:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{m_1}(F_{ем} - p_{упр} S_1 - k_{втр1} \frac{dx}{dt}), \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{1}{m_2}(p_{упр} S_1 - C_{пр2} y - F_{пр10} - k_{втр2} \frac{dy}{dt} - p_{упр} S_2), \\ \frac{dp_{упр}}{dt} = \frac{E}{V}(Q_{вх} - S_2 \frac{dy}{dt} - k_{ут} p_{упр} - Q_{вых}). \end{cases} \qquad (3)$$

Рівняння (1–3) утворять математичну модель системи: золотник розподільника – блок гідравлічного управління, в якій враховується швидкодія блоку електрогідравлічного управління та його динамічні характеристики.

У четвертому розділі наводитися вибір основних параметрів розподільника з пропорційним управлінням, знайдена залежність тиску управління від току управління ПЕМ, побудована статична характеристика зворотного клапану.

За знайденими параметрами синтезовано секцію пропорційного розподільника (рис. 10).

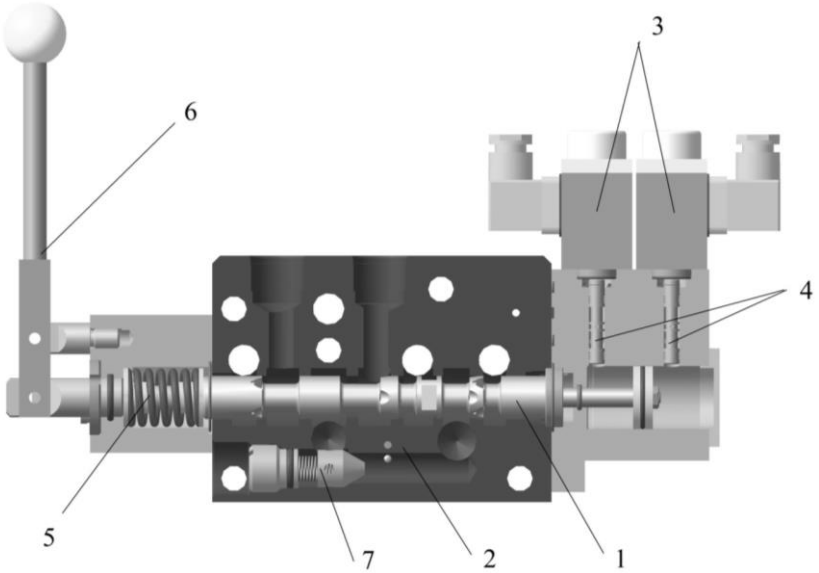

Рис. 10. Секція пропорційного розподільника

1 – основний золотник; 2 – корпус секції розподільника; 3 – пропорційні електромагніти; 4 – золотники пілоту; 5 – пружина; 6 – блок ручного управління; 7 – зворотній клапан.

Для моделювання динамічних процесів використано систему імітаційного моделювання Matlab додатку Simulink.

Загальна схема системи рівняння для знаходження витрати напірної щілини та зливної щілини має вигляд (рис. 11 та рис. 12).

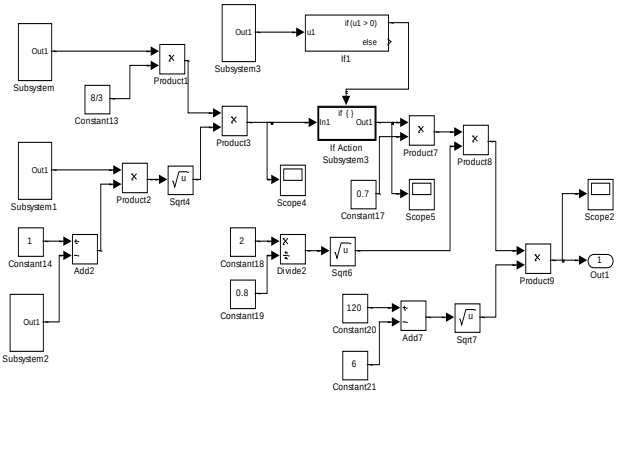

Рис. 11. Схема системи рівняння для знаходження витрати напірної щілини

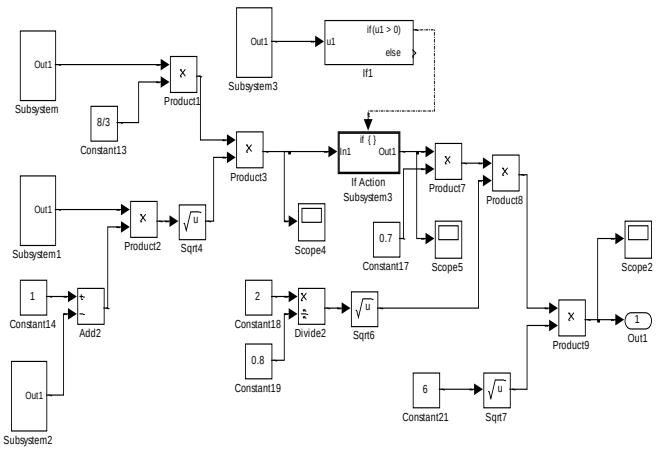

Рис. 12. Схема системи рівняння для знаходження витрати зливної щілини

Рух золотника основного розподільника й пілота, представлений у вигляді блоків Simulink, представлений на рис. 13.

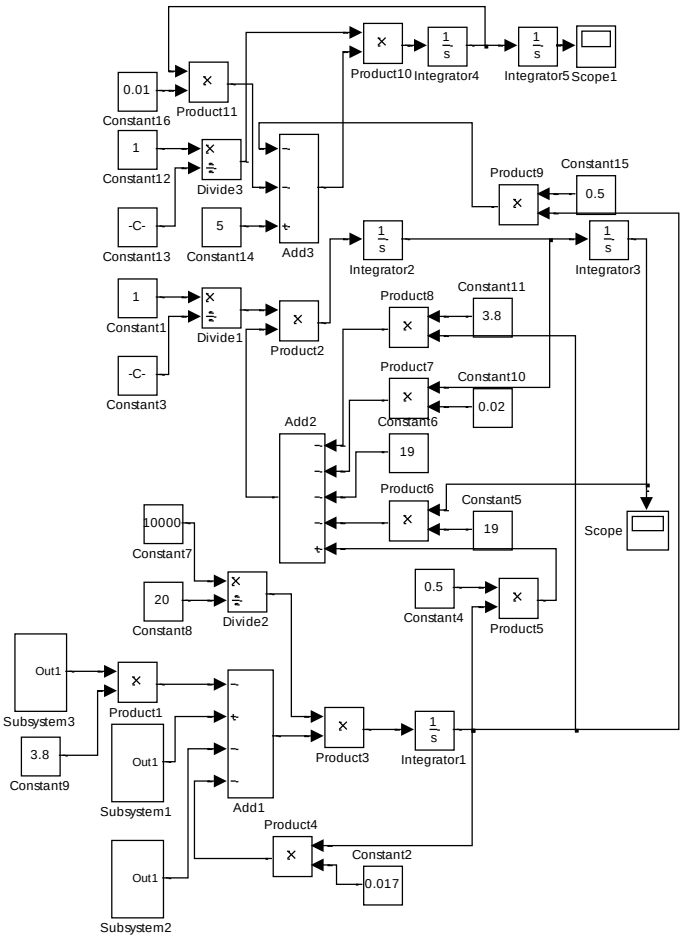

Рис. 13. Схема руху золотника основного розподільника й пілота

Результати моделювання представлені на графіках перехідних процесів (рис. 14 та рис. 15).

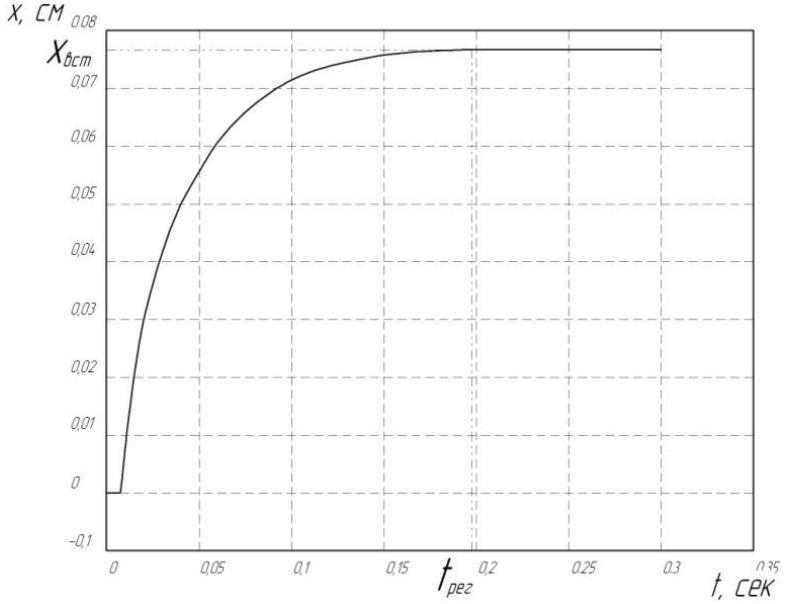

Рис. 14. Хід золотника пілота

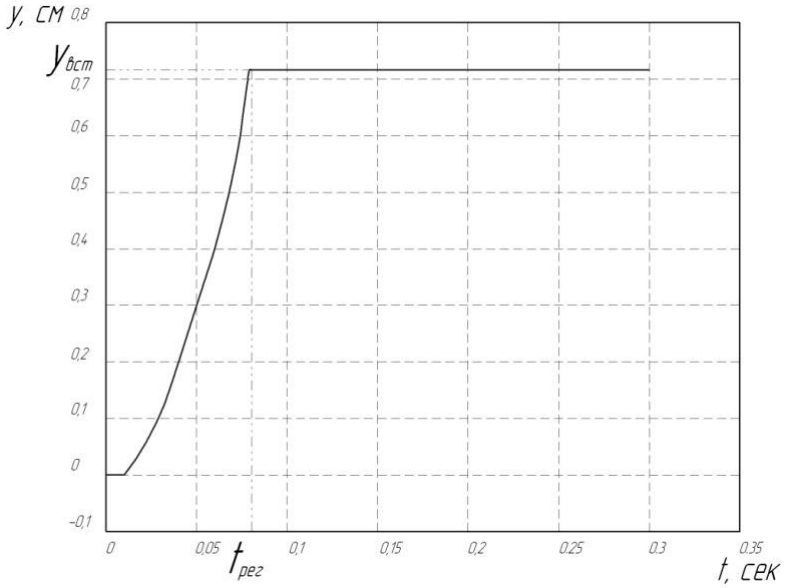

Рис. 15. Хід золотника розподільника

З отриманих графіків зроблені висновки про високі динамічні показники моделі. Для золотника пілота час регулювання $t_{вст}$ становить 0,196с, переміщення, що встановилися, дорівнює максимальному переміщенню $x_{вст} = x_{\max}$ і становить 0,077см. Величина перерегулювання: $\sigma = \frac{x_{\max} - x_{вст}}{x_{\max}} \cdot 100$, $\sigma = \frac{0{,}077 - 0{,}077}{0{,}077} \cdot 100 = 0\%$. Для золотника основного розподільника час регулювання $t_{вст}$ становить 0,08с, переміщення, що встановилося $y_{вст} = 0{,}72$ й максимальне переміщення $y_{\max} = 0{,}725$. Величина перерегулювання: $\sigma = \frac{0{,}725 - 0{,}72}{0{,}72} \cdot 100 = 0{,}7\%$.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена підвищенню технічного рівня гідропневмоагрегатів за рахунок структурного синтезу раціональних схем і динамічного аналізу розподільників із пропорційним управлінням. Основні результати й виводи дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Розроблено математичні моделі й метод проектування комбінованих гідропневмоагрегатів сільськогосподарських машин з урахуванням неоднозначності розбиття вхідної послідовності на основі методу повної мінімізації стандартної позиційної структури. Це дозволило скоротити кількість використаних апаратів у машині для пересадження дерев МПД 1800 на один у порівнянні з методом без врахування неоднозначності розбиття і в три рази в порівнянні з методом синтезу із застосуванням стандартної позиційної структури.

2. Синтезована математична модель робочого процесу гідроагрегата з розподільником з пропорційним управлінням з урахуванням швидкодії блоку електрогідравлічного управління та динамічних характеристик гідроапаратури, що застосовується в гідроагрегатах сільськогосподарських машин.

3 Вдосконалено методику оцінки функціональних та динамічних можливостей гідропневмоагрегата, в якому застосовуються розподільники з пропорційним управлінням, що забезпечує виконання необхідних по технологічному процесу характеристик, таких як: швидкодія, точність відпрацьовування сигналу, що задається.

4. На основі розробленого методу аналізу динамічних процесів, реалізованого в середовищі Matlab, отримані закони руху золотників основної та керуючої секцій розподільника із пропорційним управлінням, що дозволяє забезпечити задані технічні характеристики, та підвищує динамічні характеристики гідропневмоагрегата.

5. Аналіз результатів моделювання динамічних процесів показав, що розглянутий розподільник має високі динамічні показники – час регулювання золотника основного каскаду становить 0,08с, максимальне переміщення 0, 725 см, величина перерегулювання 0,7%.

6. Результати дисертаційної роботи використовуються в практиці інженерних розрахунків ОП Корпорації «Гідроелекс» (м. Харків), а також у навчальному процесі кафедри «Гідравлічні машини» НТУ «ХПИ» у дисциплінах: «Гідропневмоавтоматика», «Пневматичні й гідравлічні системи керування», «Гідропневмоавтоматика нафтового встаткування» і ін.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Салига Т. С. К вопросу синтеза схем пневмогидроагрегатов / М. В. Черкашенко, Т. С. Салига // Інтегровані технології та енергозбереження // – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – №2. – С. 51–56.

Здобувачем проведено синтез гидропневмоагрегата та знайдене оптимальне розбиття наборів вхідної послідовності при наявності неоднозначності розбиття вхідної послідовності.

2. Салига Т. С. Оптимизация пневматической системы управления гидравлической системой сельскохозяйственных машин / Т. С. Салига, А. В. Красильник // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – №2. – С. 124–128.

Здобувачем проведено синтез гидропневмоагрегата трактора ХТЗ 150 з використанням метода повної мінімізації стандартної позиційної структури.

3. Салига Т. С. К вопросу диагностики гидроагрегатов. / Коваль А. А., Коваль Е. С., Салыга Т. С., Фатеев А. Н., Корень Е. А. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №7. – С. 160 – 164.

Здобувачем виконано розробку та оптимізацію гідравлічної схеми гідроагрегата.

4 Салига Т. С. Динамический анализ гидравлического управления мотовилом зерноуборочного комбайна / Т. С. Салига, А. В. Красильник // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №18. – С. 3–8.

Здобувачем складені розрахункові схеми для пошуку динамічних характеристик каскаду управління мотовилом зернозбирального комбайна.

5 Салига Т. С. Динамічний аналіз гідроприводу навісного обладнання трактора Т-150 / Т. С. Салига А. В. Красильник // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №26. – С. 41–46.

Здобувачем складені математична модель робочого процесу пропорційного розподільника гідравлічної системи навісного обладнання трактора Т-150.

6. Салига Т. С. Синтез систем управления гидропневмоагрегатов / М. В. Черкашенко, Т. С. Салига // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XX міжнародної науково-практичної конференції, Ч. І (15-17 травня 2012р., Харків, секція №5) / за ред.. проф.. Товажнянського Л. Л. – Харків, НТУ «ХПІ». – С. 287.

Здобувачем запропоновано метод розбиття вхідної послідовності при наявності неоднозначності розбиття вхідної послідовності

7. Салига Т. С. К вопросу синтеза схем гидропневмоагрегатов / Т. С. Салига М. В. Черкашенко // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали XVII міжнародної науково-технічної конференції, (17-20 квітня 2012р) – Черкаси, «АПБ ім.Героїв Чоронобиля». – С. 141.

Здобувачем виконано оптимізацію гідравлічної схеми гідроагрегата машини для пересадження дерев.

АНОТАЦІЇ

Салига Т.С. Синтез гідропневмоагрегатів з дискретним та пропорційним управлінням для сільськогосподарських машин. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2012.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню технічного рівня гідропневмоагрегатів за рахунок структурного синтезу раціональних схем і динамічного аналізу розподільників із пропорційним управлінням. Розроблено математичні моделі робочого процесу й метод проектування комбінованих гидропневмоагрегатов сільськогосподарських машин з урахуванням неоднозначності розбиття вхідної послідовності на основі методу повної мінімізації стандартної позиційної структури. Складено математичні моделі розподільника із пропорційним управлінням з урахуванням динамічних особливостей гідропневмоагрегатів. Розроблено методику оцінки функціональних можливостей гідропневмоагрегату, з погляду його динаміки. На основі розробленого методу аналізу динамічних процесів, отримані закони руху золотників основної та керуючої секцій розподільника із пропорційним управлінням, що дозволяє забезпечити задані технічні характеристики, і призводить до підвищення динамічних характеристик гідропневмоагрегата. Виконано експериментальне дослідження динамічних процесів, що дозволяє провести аналіз динамічних характеристик розподільника з пропорційним управлінням та поліпшити якість проектування гідропневмоагрегатів для сільськогосподарської техніки.

Результати дисертаційної роботи використовуються в практиці інженерних розрахунків ОП Корпорації «Гидроелекс» (м. Харків), а також у навчальному процесі кафедри «Гідравлічні машини» НТУ «ХПІ» у дисциплінах: «Гідропневмоавтоматика», «Пневматичні й гідравлічні системи керування», «Гідропневмоавтоматика нафтового устаткування» та ін.

Ключові слова: гідропневмоагрегат, структурний синтез, неоднозначність розбиття вхідної послідовності, розподільник з пропорційним управлінням, зворотний зв'язок по навантаженню.

Салыга Т.С. Синтез гидропневмоагрегатов с дискретным и пропорциональным управлением для сельскохозяйственных машин. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2012.

Диссертационная работа посвящена повышению технического уровня гидропневмоагрегатов за счет структурного синтеза рациональных схем и динамического анализа распределителей с пропорциональным управлением.

В настоящее время, при проектировании гидропневмоагрегатов сельскохозяйственных машин используются различные методы реализации. Выбор той или иной структурной схемы может быть осуществлен в результате глубокого анализа процесса работы машины, исходя из конкретных требований заказчика. Рассматриваются существующие методы синтеза схем. Делается вывод о необходимости разработки нового метода синтеза схем с учетом неоднозначности разбиения входной последовательности.

Рассматриваются существующие решения с использованием распределителей с пропорциональным управлением, конструкции распределителей с пропорциональным управлением. Делается вывод о необходимости применения распределителей с пропорциональным управлением с управлением по нагрузке в комбинированных гидропневмоагрегатах сельскохозяйственной техники.

Для решения поставленных в работе задач разработаны математические модели и метод проектирования комбинированных гидропневмоагрегатов сельскохозяйственных машин с учетом неоднозначности разбивки входной последовательности на основе метода полной минимизации стандартной позиционной структуры, что позволило упростить схему и реализовать ее меньшим количеством элементов. Для устранения недостатков существующих гидроагрегатов предложено применение распределителя с пропорциональным управлением и обратной связью по нагрузке, выполнен синтез его схемы и элементов. Для динамического анализа распределителя с пропорциональным управлением разработаны комплексные математические модели. Проведено исследование предложенной математической модели распределителя с пропорциональным управлением с учетом динамических особенностей гидропневмоагрегатов и реального быстродействия распределительной аппаратуры, реализованной в пакете MATLAB. Это позволило учесть его физические параметры и использовать при дальнейшем проектировании гидропневмоагрегатов. Разработана методика оценки функциональных возможностей гидропневмоагрегатов, в которых применяются распределители с пропорциональным управлением, что позволяет провести выбор их конструктивных особенностей и их параметров. Разработана методика оценки функциональных возможностей гидропневмоагрегата, с точки зрения его динамики. На основе разработанного метода анализа динамических процессов, получены законы движения золотников основной и управляющей секций распределителя с пропорциональным управлением, что позволяет обеспечить заданные технические характеристики, и приводит к повышению динамических характеристик гидропневмоагрегата. Выполнено экспериментальное исследование динамических процессов, что позволяет провести анализ динамических характеристик распределителя с пропорциональным управлением и улучшить качество проектирования гидропневмоагрегатов для сельскохозяйственной техники.

Результаты диссертационной работы используются в практике инженерных расчетов ОП Корпорации «Гидроэлекс» (г. Харьков), а также в учебном процессе кафедры «Гидравлические машины» НТУ «ХПИ» в

дисциплинах: «Гидропневмоавтоматика», «Пневматические и гидравлические системы управления», «Гидропневмоавтоматика нефтяного оборудования».

Ключевые слова: гидропневмоагрегат, структурний синтез, неоднозначность разбиения входной последовательности, распределитель с пропорциональным управлением, обратная связь по нагрузке.

Salyha T.S. Synthesis of hydropneumounits with discrete and proportional control for agricultural machines. – As the manuscript.

Thesis for submitting of the scientific degree of Candidate of Technical Science in specialty 05.05.17 - hydraulic machines and hydropneumatic units. – National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, 2012.

Thesis work is about increasing of a technological level of hydropneumounits with the help of structural synthesis of rational schemes and the dynamic analysis of distributors with proportional control. Mathematical models and a method of designing of the combined hydropneumounits of agricultural machines taking into account ambiguity of breakdown of entrance sequence on the basis of a method of complete minimization of standard item structure are developed. Mathematical models of the valve with proportional control taking into account dynamic features of hydropneumounits are developed. The methodology of an assessment of functionality of the hydropneumounit from the point of view of its dynamics is developed. Principles of movement of valves of the main and the controlling sections of the valve with proportional control are received on the basis of the developed method of the analysis of the dynamic processes. That allows to provide the set of the technical characteristics, and leads to increasing of dynamic characteristics of the hydropneumounit. The experimental study of dynamic processes that allows to carry out the analysis of dynamic characteristics of the valve with proportional control and to improve quality of projectingof hydropneumounits for agricultural machinery.

Results of thesis work are used in practice of engineering calculations of OP of Gidroeleks Corporation (Kharkov), and also in educational process of department «Hydraulic machines» in NTU «HPI» in disciplines: «Hydro pneumatic automation», «Pneumatic and hydraulic control systems», «Hydro pneumatic automation of the oil equipment», etc.

Keywords: the hydropneumounit, structural synthesis, ambiguity of splitting of entrance sequence, the valve with proportional control, feedback on loading.

Підписано до друку 01.10.2012 р. Формат 60х90 1/16.
Папір офсетний. Друк - ризографія. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. № 116963

Надруковано в СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 2 480 017 0000 040432 від 21.03.2001 р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16.