

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Фатєєва Надія Миколаївна

УДК 62-522

**СИНТЕЗ ВИСОКОНАДІЙНИХ ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТІВ
МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ**

Спеціальність 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Гідравлічні машини» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Степанов Михайло Сергійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
декан машинобудівного факультету

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Сухоробрий Петро Миколайович,
Інститут проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків,
старший науковий співробітник відділу
гідроаеромеханіки енергетичних машин

Захист відбудеться «04» червня 2009 р. о 12 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 в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «30» квітня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Юдін Ю.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні роки намітилася тенденція розширення сфери застосування гідропневмоагрегатів і збільшення кількості машин і устаткування, які оснащені гідропневмопристроями, тому з особливою гостротою встало питання про забезпечення надійності гідропневмоагрегатів і їх елементів. По-перше, надійність гідропневмоагрегатів багато в чому визначає надійність всієї машини або всього устаткування, і від справної роботи гідропневмоагрегатів часто залежить своєчасне виконання заданого обсягу робіт. Відмови гідропневмоагрегатів на машинах масового виробництва (верстати, сільгоспмашини трактори і т.п.) приводять до простоїв і істотних економічних втрат. По-друге, надійність гідропневмоагрегатів у великій мірі визначає безпеку роботи верстатів, металорізального устаткування, руху транспортних машин, польотів сучасних пасажирських літаків і їх відмови в ряді випадків можуть привести до аварій. Тому питання, що відносяться до компетенції науки про надійність гідропневмоагрегатів, зберігають актуальність і зараз.

Аналіз проведених раніше робіт, пов'язаних з розрахунками надійності гідропневмоагрегатів, показав, що дослідження і вирішення значної частини питань, що виникають в теорії надійності стосовно гідропневмоагрегатів, лише початі, і тому в ній багато проблем не отримали належного рішення. В останній час виникла необхідність значного підвищення, порівняно з тими, що існують, надійності нових високопродуктивних гідропневмоагрегатів і недостатньою розробкою теоретичних основ і практичних методів аналізу їх надійності на етапі проектування. Оперативний і достовірний аналіз надійності елементів гідропневмоагрегатів дозволяє обґрунтовано приймати прогресивні конструктивні та технологічні рішення для підвищення надійності елементів, гарантуючи тим самим оптимальні показники нової конструкції.

Таким чином, підвищення надійності та поліпшення й спрощення процесу вибору кращого варіанта гідропневмоагрегатів металорізального устаткування на етапі проектування шляхом проведення синтезу схем з врахуванням кількісних показників надійності і розподілу нормованих показників надійності, є актуальним науково-практичним завданням, вирішенню якого і присвячується дана робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі гідравлічних машин НТУ «ХП». Тема роботи відповідає науковому напрямку кафедри в області підвищення технічного рівня гідропневмоагрегатів. У дисертаційній роботі використовуються результати, отримані за участю здобувача при виконанні держбюджетної теми МОН України «Розробка комплексу математичних моделей, проточних частин гідропневмоагрегатів і визначення характерних особливостей робочого процесу» (ДР №0106U001481).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення надійності гідропневмоагрегатів металорізального устаткування шляхом проведення синтезу схем з врахуванням отриманих залежностей кількісних показників і нормування надійності на етапі проектування.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані й вирішені наступні завдання:

- аналіз існуючих методів проектування гідропневмоагрегатів технічних об'єктів;
- проведення порівняльного аналізу методів структурного синтезу гідропневмоагрегатів: стандартна позиційна організація і метод мінімізації;
- розробка науково обґрунтованої методики розрахунку кількісних показників надійності і розподіл нормованих показників надійності для гідропневмоагрегатів, синтезованих методом стандартної позиційної структури та методом мінімізації;
- встановлення загальних закономірностей і залежностей при розрахунку надійності для гідропневмоагрегатів, реалізованих методом стандартної позиційної структури та методом мінімізації;
- проведення динамічних досліджень з метою розрахунку часу спрацьовування пневмоагрегатів.

Об'єктом дослідження є робочі процеси гідропневмоагрегатів металорізального устаткування.

Предметом дослідження є показники надійності гідропневмоагрегатів та їх розподіл, підвищення яких дозволяє збільшити термін служби, поліпшити роботу гідропневмоагрегатів, що забезпечує стабільність виробничого процесу і поліпшення якості продукції.

Методи дослідження. Дисертаційна робота базується на основних положеннях теорії надійності і структурного синтезу гідропневмоагрегатів. Розрахунки кількісних показників надійності і їх нормований розподіл встановлені шляхом використання методів теорії імовірності. Математичні моделі для динамічних досліджень часу спрацьовування пневмоагрегатів представлені звичайними лінійними диференціальними рівняннями, які вирішувалися чисельними методами підвищеної точності.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше проведений системний аналіз існуючих підходів до синтезу гідропневмоагрегатів управляючих схем з точки зору надійності;
- вперше отримані залежності для розрахунку кількісних показників надійності в частині гідропневмоагрегатів, що синтезовані методом стандартної позиційної структури і методом мінімізації;
- вперше отримано нормування показників надійності на етапі проектування з урахуванням особливостей реалізації систем гідропневмоагрегатів;
- отримані закономірності, які визначають зв'язок між кількістю гідропневмоапаратів керуючих схем і імовірністю безвідмовної роботи гідропневмоагрегата, що дозволяє вже на етапі проектування отримати високонадійні гідропневмоагрегати металорізального устаткування;
- дістали подальший розвиток експериментальні і чисельні дослідження часу спрацьовування пневматичних ланок пневмоагрегатів, що дозволяє якісно підвищити результати проектування пневмоагрегатів металорізального устаткування.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена науково обґрунтована методика розрахунку кількісних показників надійності гідропневмоагрегатів на етапі їх проектування. Визначені показники надійності для гідропневмоагрегатів, які реалізовані на основі методу стандартної позиційної структури і методу мінімізації, що дає можливість отримати перспективне металорізальне устаткування з високим рівнем надійності. Запропоновані алгоритми розподілу нормованих показників надійності дозволяють вже на ранніх стадіях проектування гідропневмоагрегатів нормувати показники надійності та дають можливість отримувати оптимальні вирішення питань надійності на подальших етапах розробки життєвого циклу гідропневмоагрегатів.

Результати дисертаційної роботи використовуються в практиці інженерних розрахунків ОПК «Гідроелекс», м. Харків (акт впровадження від 10. 09. 2008 р.).

Основні результати досліджень використовуються в навчальному процесі НТУ «ХПІ» кафедри гідравлічних машин в дисциплінах «Надійність гідропневмообладнання», «Гідропневмоавтоматика» (акт впровадження від 12. 02. 2008 р.) та при виконанні курсового проекту по дисципліні «Пневмогідравлічні системи управління і автоматизація виробничих процесів».

Особистий внесок здобувача складається в наступному:

- проведено порівняльний аналіз і порівняльна оцінка методів проектування для подальшого дослідження в області надійності гідропневмоагрегатів;
- розроблена обґрунтована методика і алгоритми розрахунку кількісних показників надійності гідропневмоагрегатів на етапі їх проектування;
- розроблено і запропоновано розподіл нормованих показників надійності для гідропневмоагрегатів, синтезованих методом стандартної позиційної структури та методом мінімізації;
- установлені загальні закономірності й залежності при розрахунку надійності для гідропневмоагрегатів, які реалізовані методом стандартної позиційної структури та методом мінімізації;

– проведені експериментальні та чисельні дослідження часу спрацьовування пневматичних ланок пневмоагрегатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертаційної роботи докладалися й обговорювалися на наукових конференціях: XIII міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2005 р.); XIV міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2006 р.); XVI міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2008 р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 4 наукових праці у фахових виданнях ВАК України.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Загальний об'єм дисертації складає 210 сторінок, з них 32 ілюстрацій по тексту, 13 ілюстрацій на 13 окремих сторінках, 18 таблиць по тексту, 6 таблиць на 6 окремих сторінках, 3 додатка на 17 сторінках, найменувань використаних джерел літератури на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі проводиться аналітичний огляд робіт щодо аналізу існуючих методів проектування систем гідропневмоагрегатів технічних об'єктів, зокрема роботи М. В. Черкашенко, С. А. Юдицького, Ю. І. Келлермана, Я. Рейдзо, В. Гедеке, Г. Бельфорте. Розглянуто аналіз стану проблеми синтезу систем гідропневмоагрегатів і їх надійності.

Значний внесок у розвиток теорії надійності було зроблено такими вченими та дослідниками як Т. О. Сиріцин, Б. В. Гнеденко, О. С. Проніков, Б. І. Костецький, Д. М. Решетов, В. М. Труханов, В. О. Острейковський, О. І. Кубарев, І. О. Ушаков та ін. На основі аналізу наукових робіт з теорії надійності було проведено короткий огляд методів розрахунку надійності технічних систем по надійності їх елементів, розглянуті основні закони розподілу, які використовуються в теорії надійності. Обґрунтовано необхідність значного підвищення надійності перспективних, нових та високопродуктивних гідропневмоагрегатів, розробки практичних методів аналізу їх надійності на етапі проектування.

На основі аналітичного огляду спеціальної літератури запропоновані і сформульовані напрями і завдання дослідження.

У другому розділі проводиться порівняльний аналіз методів структурного синтезу для подальших досліджень надійності гідропневмоагрегатів. З існуючих підходів до синтезу схем гідропневмоагрегатів відзначимо агрегатний – стандартне розміщення пам'яті пристрою з одночасною індикацією тимчасових інтервалів реалізованого процесу (з використанням командоапарату) і запропонований М. В. Черкашенко підхід з повною мінімізацією агрегатного.

Агрегатний підхід дозволяє синтезувати схеми управляючих автоматів (УА) з окремих блоків, що спрощує її побудову і скорочує строки проектування. Основним недоліком агрегатного підходу є надмірність структури, що ускладнює схему УА. Підхід з повною мінімізацією дозволяє значно скоротити число елементів схем.

Порівняльна оцінка схем, побудованих з використанням формалізованих алгоритмів синтезу схем гідропневмоагрегатів, заснованих на використанні агрегатного підходу і підходу з повною мінімізацією до їх побудови, для подальшого розрахунку надійності показана аналітичними залежностями і проілюстрована на прикладі синтезу пневмоагрегатів. Дано кількісну оцінку і показано вигреш при використанні підходу з повною мінімізацією по відношенню до агрегатного.

В основу принципу побудови схем з використанням стандартної позиційної структури покладено метод побудови схеми безпосередньо по графу операцій. Тут використовується

командоапаратний спосіб побудови. Число елементів пам'яті (ЕП) командоапарату вибирається рівним числу вершин графа операцій. Таким чином, здійснюється одиничне кодування внутрішніх станів системи, а число внутрішніх станів збігається з числом операцій технологічного процесу.

Функції включення ЕП $S=f(P,Y)$ залежать від відповідної вхідної дії і від значення виходу попереднього ЕП $S_i=p_i y_{i-1}$, де S_i – сигнал включення i -го ЕП; p_i – вхідний набір, що переводить систему з одного стану до іншого в i -ом переході; y_{i-1} – вихід ЕП у попередньому переході ($i-1$). Наступним переходом після останнього є перший. Функція вимикання ЕП $R=f(y) - R_i=y_{i+1}$, де y_{i+1} – вихід наступного за i -м ЕП. Функції виходів $Z=f(y)$ залежать лише від внутрішніх станів і не залежать від вхідних наборів $Z_m=y_i$, де Z_m – функція виходу m . Функції включення «пам'яті» і виходів при підході з повною мінімізацією визначаються наступними залежностями: $S=f_1(X,Y)$; $Z=f_2(X,Y)$.

Оцінимо складність схеми, побудованої за допомогою підходу з повною мінімізацією, приймаючи, що ЕП, двохвідна й тривідна кон'юнкція (диз'юнкція) реалізуються одним елементом. При цьому будемо розрізняти два випадки: число вершин графа G_r , $|B|>2$ і $|B|=2$. У першому випадку складність схеми для k контурів графа

$$L_1=|B|+k_1+2k_2+2\sum_{\zeta=1}^m k_{3_\zeta} - 1 + \sum_{\alpha=1}^{|B|} k_{4_\alpha} - 1 - \Delta s,$$

де $|B|$ – максимальне число блоків для однієї розбивки; k_1 – мінімальне число подовжених наборів Q за рахунок сигналів з множини X_c або Y без урахування обов'язкового подовження однакових наборів з множини P ; k_2 – число однакових вхідних наборів УА; k_{3_ζ} – число включень z_ζ виконавчих пристроїв (ВП); m – число ВП; k_{4_α} – число включень ЕП α для k контурів графа G ; Δs – виграш від декомпозиції і факторизації системи логічних рівнянь.

У другому випадку – $L_2 = k_1 + 2k_2 + \sum_{\zeta=1}^m k_{3_\zeta} - 1 + 2k_{4_\alpha} - 1 - \Delta s$, оскільки в цьому випадку

$|B|=2$, вибираємо один ЕП з використанням двох інверсних виходів. Значення вибираємо з розрахунку реалізації багатьох контурів графа операцій із спільною пам'яттю, тому що контури УА працюють не одночасно.

За визначенням $L_2 < L_1$. При агрегатному підході $L'_1 = 3k$, де k – число ЕП, число елементів «АЛЕ» (\vee), число елементів «І» (\wedge). $L'_1 \geq L_1$, тобто

$$3k \geq |B| + k_1 + 2k_2 + 2\sum_{\zeta=1}^m (k_{3_\zeta} - 1) + \sum_{\alpha=1}^{|B|} (k_{4_\alpha} - 1) - \Delta s, \text{ оскільки } L'_1 \text{ – це граничний випадок для } L_1 \text{ і як}$$

показує практика L_1 завжди значно менше L'_1 .

У формулах для розрахунку L_1 , L'_1 і L_2 не включені елементи з реалізації піднаборів Q , тому що вони є обов'язковими за технічним завданням на проектування УА у всіх випадках.

Проведено синтез пневмоагрегатів об'єктів металорізального устаткування таких, як, наприклад, пневмоагрегат автоматизованого токарного верстата, який має автоматичний режим роботи. Призначення ВП, а також їх взаємодія з вхідними пристроями показані в табл. 1. Кожний цикл роботи верстата починається після повернення у вихідне положення пневмоагрегату затиску заготовки ($X_3=1$) при включеному пневмотумблері ($X_5=1$). При відключенні пневмотумблера ($X_5=0$) робота верстата припиняється.

Виходячи з технічного завдання, побудовано орієнтований граф операцій (рис. 1), тобто вершини графа відповідають кількості технологічних операцій, а дуги графа відповідають переходам від однієї операції до іншої. Функції включення (відключення) ВП мають вигляд:

$$Z_1 = y_1; \bar{Z}_1 = y_4; Z_2 = y_3; \bar{Z}_2 = y_6; Z_3 = y_1; \bar{Z}_3 = y_4; Z_4 = y_2; \bar{Z}_4 = y_5.$$

Отримані умови включення і відключення пам'яті:

$$S_1 = X_3 X_5; R_1 = y_2; S_2 = \bar{X}_1 X_5 y_1; R_2 = y_3; S_3 = X_2 \bar{X}_4 X_5 y_2; R_3 = y_4; S_4 = \bar{X}_3 X_5 y_3;$$

$$R_4 = y_5; S_5 = X_1 X_5 y_4; R_5 = y_6; S_6 = X_4 X_5 y_5; R_6 = y_1.$$

Взаємодія вхідних сигналів і ВП

Вихідні сигнали		Вхідні сигнали			
Позначення	Найменування	Автоматичний режим		Налагодження	
		Вихідне положення	Кінцеве положення	Включено	Відключено
Z_1	Завантаження (живильником з магазину)	X_1	X_2	X_{11}	\bar{X}_{11}
Z_2	Затиск заготовки	X_3	–	X_{22}	\bar{X}_{22}
Z_3	Відвід супорта у вихідне положення	–	–	X_{33}	\bar{X}_{33}
Z_4	Включення руху подачі супорта назад	–	X_4	X_{44}	\bar{X}_{44}

Використовуючи отримані залежності реалізована схема пневмоагрегату автоматизованого токарного верстата, яка синтезована за допомогою стандартної позиційної структури (рис. 2).

Проведено мінімізацію системи управління пневмоагрегату автоматизованого токарного верстата. Внутрішньої пам'яті в даному випадку не потрібно, тому що вхідна послідовність не містить однакові вхідні набори.

Для мінімізації системи управління пневмоагрегату автоматизованого токарного верстата побудована матриця відповідностей, стовпці якої відповідають послідовності вхідних наборів, що здійснюють переходи, а рядки – послідовності повних вхідних наборів, що діють в переходах (табл. 2). В даному випадку суперечливих вихідних сигналів немає, тому подовження сигналів не потрібно.

Логічні рівняння включення ВП й ЕП отримані в зборках логічних виразів, записаних зверху матриці відповідностей, для відповідного переходу («жирна» одиниця матриці відповідностей). Після аналізу матриці отримано систему логічних співвідношень: $Z_1 = X_3 X_5$; $\bar{Z}_1 = \bar{X}_3 X_5$; $Z_2 = X_2 \bar{X}_4 X_5$; $\bar{Z}_2 = X_4 X_5$; $Z_3 = X_3 X_5$; $\bar{Z}_3 = \bar{X}_3 X_5$; $Z_4 = \bar{X}_1 X_5$; $\bar{Z}_4 = X_1 X_5$. Використовуючи отримані співвідношення реалізована схема пневмоагрегату автоматизованого токарного верстата, яка синтезована методом мінімізації (рис. 3).

Таблиця 2

Матриця відповідностей

	$X_3 X_5$	$\bar{X}_1 X_5$	$X_2 \bar{X}_4 X_5$	$\bar{X}_1 X_5$	$\bar{X}_1 X_5$	$X_4 X_5$	
$X_1 X_3 X_4$	0	0	0	0	0	0	\emptyset
$X_1 X_3 X_4 X_5$	1	0	0	0	1	1	$Z_1 Z_3$
$X_3 X_4 X_5$	1	1	0	0	0	1	Z_4
$X_2 X_3 X_5$	1	1	1	0	0	0	Z_2
$X_2 X_5$	0	1	1	1	0	0	$\bar{Z}_1 \bar{Z}_3$
$X_1 X_5$	0	0	0	1	1	0	\bar{Z}_4
$X_1 X_4 X_5$	0	0	0	1	1	1	\bar{Z}_2

Як видно з приведених схем, в схемі, побудованій з використанням агрегатного підходу (рис. 2), число розподільників значно більше, ніж в схемі, реалізованій за допомогою підходу з повною мінімізацією, яка представлена на рис. 3.

Таким чином, схеми, отримані за допомогою третього підходу більш практичні з точки зору технічного обслуговування, монтажу, а також більш економічні в експлуатації.

У третьому розділі розглядається вибір методу розрахунку і визначення розрахункових співвідношень для знаходження кількісних характеристик показників безвідмовності проектного пневмоагрегату; проведено розрахунок кількісних показників безвідмовності й отримано алгоритм для розрахунку кількісних показників надійності на етапі проектування.

Для гідропневмоагрегатів, які реалізовані методом стандартної позиційної структури, запропоновано алгоритм розрахунку кількісних показників надійності на етапі проектування:

- проводимо декомпозицію – розбиваємо складну систему на елементи і розглядаємо кількісний і елементний состав командоапарату, спираючись на граф-операцій і принципову схему гідропневмоагрегату;

- використовуючи статистичні і експлуатаційні дані гідропневмоагрегатів, подібних до проєктованих, визначаємо середню інтенсивність відмов елементів, що входять до складу агрегату;

- знаходимо імовірність безвідмовної роботи командоапарату, використовуючи залежність: $P_{КА}(t) = P_{ЕП}(t) \cdot P_{\vee}(t) \cdot P_{\wedge}(t)$. У випадках, розглянутих в роботі, ця залежність в загальному вигляді представлена таким чином: $P_{КА}(t) = \exp\{-tn(\lambda_{ЕП} + \lambda_{\vee} + \lambda_{\wedge})\}$, але може видозмінюватися залежно від елементного і кількісного состава командоапарату;

- визначаємо інші елементи, що входять до складу гідропневмоагрегату: виділяємо базис і проміжні елементи {базис є постійна апаратна частина гідропневмоагрегату, яка залишається незмінною як при реалізації схеми методом стандартної позиційної структури, так і при реалізації методом мінімізації. Варійованою частиною гідропневмоагрегату є проміжні елементи, кількість яких, в загальному випадку, залежить від способів реалізації логічних функцій};

- розраховуємо функцію надійності – імовірність безвідмовної роботи базису $P_{Базис}(t)$ й проміжних елементів $P_{ПЕ}(t)$ (за наявності проміжних елементів у складі гідропневмоагрегату відповідно), враховуючи їх елементний состав;

- знаходимо загальну імовірність безвідмовної роботи гідропневмоагрегату, який синтезовано з використанням стандартної позиційної структури $P_{СИС}(t) = P_{КА}(t) \cdot P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t)$.

Для гідропневмоагрегатів, які синтезовані методом мінімізації, реалізовано алгоритм розрахунку кількісних показників надійності на етапі проектування:

- проводимо декомпозицію – розбиваємо складну систему на складові і визначаємо елементний состав гідропневмоагрегату, спираючись на систему логічних співвідношень і синтезовану за ними принципову схему даного агрегату;

- виділяємо базис і проміжні елементи гідропневмоагрегату;

- розраховуємо імовірність безвідмовної роботи ЕП при наявності його в составі гідропневмоагрегату;

- знаходимо імовірність безвідмовної роботи базису $P_{Базис}(t)$ й проміжних елементів $P_{ПЕ}(t)$ (за наявності проміжних елементів у складі гідропневмоагрегату відповідно), враховуючи їх елементний состав;

- знаходимо загальну імовірність безвідмовної роботи гідропневмоагрегату, який синтезовано методом мінімізації $P_{\min}(t) = P_{ЕП}(t) \cdot P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t)$ – за наявності ЕП в системі або $P_{\min}(t) = P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t)$ – за відсутності ЕП. Поступаємо аналогічно, якщо гідропневмоагрегат не містить проміжних елементів або, якщо гідропневмоагрегат не містить і ЕП і проміжні елементи.

Якщо розрахункові показники безвідмовності виявляються нижче потрібних, то визначаються вузли і ділянки гідропневмоагрегату, які найбільше впливають на безвідмовність агрегату в цілому, і розробляються заходи щодо підвищення їх надійності. До таких заходів відносяться: заміна елементів на надійніші; полегшення режимів роботи елементів, наприклад переміщення елемента із зони підвищених температур; резервування елементів або окремих ділянок гідропневмоагрегатів; зміна конструкції або технології виготовлення окремих деталей і вузлів агрегатів, що мають низьку надійність. При необхідності міняється структура побудови функціональних ділянок гідропневмоагрегатів.

Визначено методи розподілу нормованих показників надійності: для гідропневмоагрегатів, реалізованих методом стандартної позиційної структури (СПС) та методом мінімізації. Для гідропневмоагрегатів, реалізованих методом СПС розподіл нормованих показників надійності на етапі проектування переважно провадити двома методами: методом пропорційного розподілу і методом розподілу вимог по надійності з урахуванням відносної уразливості елементів; а для гідропневмоагрегатів, реалізованих методом мінімізації, розподіл нормованих показників надійності на етапі проектування переважно провадити методом розподілу вимог по надійності з урахуванням відносної уразливості елементів. Наведено алгоритми розрахунку нормованих показників надійності на етапі проектування.

Для гідропневмоагрегатів, які синтезовані методом стандартної позиційної структури, розподіл нормованих показників надійності на етапі проектування переважно провадити двома методами: методом пропорційного розподілу й методом розподілу вимог по надійності з урахуванням відносної уразливості елементів і його алгоритм реалізовано таким чином:

- проводимо декомпозицію – розбиваємо вихідну складну систему на прості елементи;
- для командоапарату застосовуємо метод пропорційного розподілу показників надійності, оскільки командоапарат розглядається як система, що складається з послідовно з'єднаних підсистем, що містять k_i елементів;
- визначаємо кількісний состав підсистем у командоапараті: кожна підсистема складається з елементу \wedge , ЕП і елементу \vee , тобто $k_i=3$;
- визначаємо загальне число підсистем командоапарату: n ;
- задаємося необхідною імовірністю безвідмовної роботи $P^{TP}(t)$;
- обчислюємо число «приведених» елементів;
- визначаємо необхідну імовірність безвідмовної роботи підсистеми командоапарату;
- визначаємо кількісний состав елементів, які залишилися: виділяємо базис і проміжні елементи;
- застосовуємо до елементного составу, що залишився, метод розподілу вимог по надійності з урахуванням відносної уразливості елементів;
- обчислюємо коефіцієнти уразливості;
- визначаємо необхідні інтенсивності відмов елементів;
- знаходимо необхідні значення імовірності безвідмовної роботи елементів.

перевіряємо правильність нормування показників надійності елементів, обчисливши загальну імовірність безвідмовної роботи гідропневмоагрегату $P_{СПС}(t) = (P_{КА}^{nod})^n \cdot P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t) = P^{TP}(t)$, якщо гідропневмоагрегат не містить проміжних елементів $P_{СПС}(t) = (P_{КА}^{nod})^n \cdot P_{Базис}(t) = P^{TP}(t)$.

Для гідропневмоагрегатів, які синтезовані методом мінімізації, розподіл нормованих показників надійності на етапі проектування переважно провадити методом розподілу вимог по надійності з урахуванням відносної уразливості елементів і його алгоритм реалізовано таким чином:

- проводимо декомпозицію – розбиваємо вихідну складну систему на прості елементи і розглядаємо кількісний і елементний состав гідропневмоагрегату: виділяємо базис, проміжні елементи і ЕП – якщо вони передбачені реалізацією схеми;
- задаємося необхідною імовірністю безвідмовної роботи $P^{TP}(t)$;
- обчислюємо коефіцієнти уразливості;
- визначаємо необхідні інтенсивності відмов елементів;
- знаходимо необхідні значення імовірності безвідмовної роботи елементів;
- перевіряємо правильність нормування показників надійності елементів, обчисливши загальну імовірність безвідмовної роботи гідропневмоагрегату

$P_{\min}(t) = P_{ЕП}(t) \cdot P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t) = P^{TP}(t)$. Якщо гідропневмоагрегат не містить ЕП, то $P_{\min}(t) = P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t) = P^{TP}(t)$. Поступаємо аналогічно, якщо гідропневмоагрегат не містить проміжних елементів або, якщо гідропневмоагрегат не містить і ЕП і проміжні елементи.

Запропонований підхід дозволяє вже на ранніх стадіях проектування гідропневмоагрегатів нормувати показники надійності, що дає можливість отримувати оптимальні вирішення питань надійності на подальших етапах розробки життєвого циклу агрегату.

У четвертому розділі проводяться експериментальні та чисельні дослідження часу спрацьовування пневматичних ланок пневмоагрегатів. Динамічний розрахунок пневмоагрегатів полягає у визначенні часу спрацьовування робочого циклу, тобто в послідовному знаходженні окремих інтервалів часу, з яких воно складається: часу спрацьовування ланок управляючого блоку; часу спрацьовування ланок виконавчого блоку; часу спрацьовування виконавчого пристрою.

Час спрацьовування найбільш типових схем реалізації ланок управляючого блоку на пневмоапаратурі високого тиску отримано експериментально. Отримано графіки процесів включення й відключення ланок управляючого блоку. Наприклад, одна з типових ланок – функція $Y = \bar{X}_1 X_2 X_3$ припускає включення одного розподільника двома способами, оскільки його перемикання може здійснюватися сигналами, що подаються на входи X_2 і X_1 (табл. 3).

В разі перемикання розподільника сигналом, що подається на вхід X_2 розподільника, на вхід X_3 подається живлення ($x_3=1$), а вхід X_1 сполучається з атмосферою ($x_1=0$). Тоді крива 1 (рис. 4) відповідає включенню ($x_2=1$), а крива 2 відключенню ($x_2=0$) такої ланки. Якщо розподільник перемикається сигналом x_1 , то в цьому випадку на входи X_2 і X_3 подається тиск живлення ($x_2=1$ і $x_3=1$). Для цього випадку крива 3 відповідає включенню, а крива 4 – відключенню ланки.

Таблиця 3

Типова ланка №1 – функція $Y = \bar{X}_1 X_2 X_3$

№ ланки	Логічна функція на виході ланки	Схема реалізації	Схема випробувань
1	$Y = \bar{X}_1 X_2 X_3$		а) б)

Як приклад наведено графіки процесів включення і відключення при тиску 0,6 МПа ланки за схемою 1а (табл. 3) і ланки за схемою 1б (табл. 3), які представлені на рис. 5. Тут: а) і б) – включення і відключення запропонованої схеми відповідно; криві 1 відповідають сигналу $P_{вх}$; а криві 2 – $P_{вих}$.

Час спрацьовування виконавчого пневмоагрегату було отримано шляхом чисельних досліджень. Для визначення часу руху поршня виконавчого пневмоагрегату була спільно вирішена система диференціальних рівнянь чисельним методом Рунге-Кутта IV порядку:

де P_m – вага поступально-рухомих частин; P – результуюча зовнішніх сил, що діють на поршень, окрім сил тиску повітря; x – координата переміщення поршня; p_1, p_2 – тиск повітря в робочій і вихлопній порожнинах; p_m – тиск в магістралі; F_1, F_2 – площі торців поршня; $K=[2g \cdot k/(k-1)]^{1/2}$; k – показник адіабати; $x_{01}=V_{01}/F_1$ – приведена початкова координата положення поршня; $x_{02}=V_{02}/F_2$ – приведена кінцева координата положення поршня; $f_1^{\circ} = \mu_1 \cdot f_1$ – ефективна площа вхідного отвору; $f_2^{\circ} = \mu_2 \cdot f_2$ – ефективна площа вихідного отвору; μ_1 – коефіцієнт витрати лінії підведення; μ_2 – коефіцієнт витрати лінії зливу; f_1 – площа вхідного отвору; f_2 – площа вихідного отвору; V_{01} – початковий об'єм робочої порожнини; V_{02} – початковий об'єм вихлопної порожнини; R – газова постійна для повітря; T_m – абсолютна температура в магістралі; s – хід поршня.

$\sigma_1=p_1/p_m$ – відносний тиск в робочій порожнині, причому при $0,528 < \sigma_1 < 1$; $\varphi(\sigma_1)=0,2588$ при $0 < \sigma_1 < 0,528$.

$\sigma_2 = p_2/p_m$ – відносний тиск в вихлопній порожнині, $\sigma_a = p_a/p_m$, причому при $0,528 < \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) < 1$;

$\varphi\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) = 0,2588$ при $0 < \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_2}\right) < 0,528$; p_a – атмосферний тиск.

Оскільки перше рівняння системи – диференціальне рівняння другого порядку, позначимо $\frac{dx}{dt} = z$, іншими словами $x' = z$, тоді отримаємо:

i.

Остаточний вигляд системи:

Початкові умови $T_0=0$; $z_0=0$; початкове значення $x(T_0, z_0)=0$; $x_0=0$; $V_0=0$; $p_1=p_m$; $p_2=p_a$.

Інтегрування продовжується до тих пір, поки значення переміщення поршня не стане рівним робочому ходу $x=s$. Час, відповідний цьому моменту, дорівнює часу переміщення поршня.

Приведено загальні рекомендації для розрахунку часу спрацьовування як окремих елементів пневмоагрегату, так і всього агрегату в цілому.

Результатом динамічних досліджень часу спрацьовування пневмоагрегатів є отримання чисельних значень, необхідних в тих випадках, коли основними умовами проектування пневмоагрегатів є: заданий час руху робочого органу, тривалість циклу, максимальна швидкодія пневмоагрегату, що характерно як для металорізального устаткування, так і для машинобудівної галузі в цілому.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена рішення науково-практичного завдання підвищення надійності, поліпшення й спрощення процесу вибору кращого варіанта гідропневмоагрегатів металорізального устаткування на етапі проектування шляхом проведення синтезу схем з врахуванням кількісних показників надійності і розподілу нормованих показників надійності. Основні результати й висновки дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Проведений аналіз літературних джерел, присвячених розрахункам надійності гідропневмоагрегатів, показав, що для дослідження і вирішення значної частини питань, що виникають у теорії надійності гідропневмоагрегатів, виявляються необхідними методи визначення кількісних показників надійності і нормування цих показників, що дає можливість забезпечувати необхідний рівень надійності гідропневмоагрегатів на стадії проектування.

2. Проведена порівняльна оцінка схем, побудованих з використанням формалізованих алгоритмів синтезу схем гідропневмоагрегатів, заснованих на використанні агрегатного підходу і підходу з повною мінімізацією до їх побудови, що дає можливість порівняти апаратні витрати при використанні різних методів.

3. Розроблено загальний алгоритм розрахунку кількісних показників безвідмовності, а також отримані алгоритми розрахунку кількісних показників надійності на етапі проектування для конкретних пневмоагрегатів, реалізованих різними методами: стандартною позиційною структурою і методом мінімізації, що дозволяє на етапі проектування дати оцінку надійності гідропневмоагрегатів в очікуваних умовах експлуатації.

4. На основі аналізу основних моделей розподілу вимог по надійності визначено, що для гідропневмоагрегатів, реалізованих стандартною позиційною структурою або методом мінімізації, застосовні: метод пропорційного розподілу й метод розподілу вимог по надійності з урахуванням відносної уразливості елементів.

5. В результаті досліджень розроблено алгоритми розподілу нормованих показників надійності для гідропневмоагрегатів, реалізованих різними методами: стандартною позиційною структурою і методом мінімізації, що дає можливість вирішити завдання оптимального розподілу вимог до рівнів надійності гідропневмоагрегатів і їх елементів на етапі проектування.

6. В результаті розрахунку показників надійності, визначено, що оцінка надійності гідропневмоагрегатів на етапі проектування дозволяє здійснити раціональний вибір конструктивної схеми і параметрів, підібрати відповідні матеріали і елементи гідропневмоагрегатів.

7. Проведено динамічний аналіз типових ланок пневмоагрегатів, включаючи виконавчі пристрої, шляхом проведення чисельних та експериментальних досліджень часу спрацьовування ланок, синтезованих різними методами, що дозволяє провести всебічний порівняльний аналіз та скоротити строки проектування пневмоагрегатів нового металорізального устаткування.

9. Результати дисертаційної роботи використовуються в практиці інженерних розрахунків ОПК «Гідроелекс», (м. Харків), а також в навчальному процесі кафедри гідравлічних машин НТУ «ХПІ» в дисциплінах «Надійність гідропневмообладнання», «Гідропневмоавтоматика».

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фатеева Н. Н. Синтез гидроагрегатов с параллельными алгоритмами условиями работы / Н. Н. Фатеева, А. Н. Фатеев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2005. – №6. – С. 173–176.

Здобувачем проведені дослідження методів проектування гідропневмоагрегатів.

2. Фатеева Н. Н. Оценка количественных показателей надежности гидропневмоагрегатов на этапе их синтеза / Н. Н. Фатеева, А. Н. Фатеев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2005. – №29. – С. 95–98.

Здобувачем розроблено алгоритм розрахунку кількісних показників надійності для гідропневмоагрегатів, які реалізовані методом стандартної позиційної структури або методом мінімізації.

3. Фатеева Н. Н. Распределение нормируемых показателей надежности в системах гидропневмоагрегатов на этапе их синтеза / Н. Н. Фатеева, А. Н. Фатеев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2006. – №27. – С. 108–113.

Здобувачем проведені дослідження методів нормування показників надійності й запропоновано використовувати в системах гідропневмоагрегатів два методи: метод пропорційного розподілу і метод розподілу вимог по надійності з урахуванням відносної уразливості елементів.

4. Фатеева Н. Н. К вопросу синтеза схем гидропневмоагрегатов / М. В. Черкашенко, Н. Н. Фатеева, А. Н. Фатеев // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2007. – №4. – С. 57–63.

Здобувачем проведено синтез пневмоагрегата автоматизованого токарного верстата методом стандартної позиційної структури і методом мінімізації.

АНОТАЦІЯ

Фатеева Н.М. Синтез високонадійних гідропневмоагрегатів металорізального устаткування. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2009 р.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню надійності гідропневмоагрегатів шляхом проведення синтезу схем з врахуванням отриманих залежностей кількісних показників і нормування надійності на етапі проектування. Проведено порівняльну оцінку схем, побудованих з використанням формалізованих різних алгоритмів синтезу пневмоагрегатів. Для гідропневмоагрегатів, реалізованих сучасними методами, розроблені алгоритми розрахунку кількісних показників надійності та алгоритми розподілу нормованих показників надійності на етапі проектування. Запропонований підхід дозволяє вже на ранніх стадіях проектування гідропневмоагрегатів нормувати показники надійності, що дає можливість одержувати

раціональні вирішення питань надійності на подальших етапах розробки життєвого циклу агрегатів. Оцінка показників надійності гідропневмоагрегатів на етапі проектування дозволяє здійснити вибір конструктивної схеми і параметрів, підібрати відповідні матеріали і елементи реалізацій схем. Проведено динамічний аналіз пневмоагрегатів і їх типових ланок, з метою одержання часу спрацьовування пневматичних ланок і виконавчих пристроїв, що дозволяє провести всебічний порівняльний аналіз та скоротити строки проектування пневмоагрегатів нового металорежущого устаткування.

Результати роботи використані в навчальному процесі НТУ «ХПІ» у дисциплінах «Надійність гідропневмообладнання», «Гідропневмоавтоматика» і в практиці інженерних розрахунків ОПК «Гідроелекс», м. Харків.

Ключові слова: гідропневмоагрегат, виконавчий пристрій, елементи схем, надійність, імовірність безвідмовної роботи.

АННОТАЦИЯ

Фатеева Н.Н. Синтез высоконадежных гидропневмоагрегатов металлорежущего оборудования. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, 2009 г.

Диссертационная работа посвящена повышению надежности гидропневмоагрегатов путем проведения синтеза схем с учетом полученных зависимостей количественных показателей и нормирования надежности на этапе проектирования. Проведена сравнительная оценка схем, построенных с использованием формализованных различных методов синтеза пневмоагрегатов. Приведена оценка сложности схем, реализованных различными методами. Проведены анализ и оценка надежности пневмоагрегатов, основанные на расчете количественных показателей безотказности их отдельных подсистем и функциональных участков. При анализе гидропневмоагрегатов как систем, состоящих из определенного числа элементов, использован показатель вероятности безотказной работы. Для гидропневмоагрегатов, реализованных методом стандартной позиционной структуры и методом минимизации, разработаны алгоритмы расчета количественных показателей надежности на этапе проектирования. Для гидропневмоагрегатов, реализованных методом стандартной позиционной структуры, предложено производить распределение нормируемых показателей надежности на этапе проектирования двумя методами: методом пропорционального распределения и методом распределения требований по надежности с учетом относительной уязвимости элементов. Для гидропневмоагрегатов, реализованных методом минимизации, предложено проводить распределение нормируемых показателей надежности на этапе проектирования методом распределения требований по надежности с учетом относительной уязвимости элементов. Разработаны алгоритмы распределения нормируемых показателей надежности для гидропневмоагрегатов. Предложенный подход позволяет уже на ранних стадиях проектирования гидропневмоагрегатов нормировать показатели надежности, что дает возможность получать рациональное решение вопросов надежности на последующих этапах разработки жизненного цикла системы. Оценка показателей надежности гидропневмоагрегатов на этапе проектирования позволяет осуществить выбор конструктивной схемы и параметров, подобрать соответствующие материалы и элементы реализаций схем.

Проведен динамический анализ типовых звеньев пневмоагрегатов, который заключается в определении времени срабатывания рабочего цикла, т.е. в последовательном нахождении отдельных интервалов времени, а именно: времени срабатывания звеньев управляющего блока; времени срабатывания звеньев исполнительного блока; времени срабатывания исполнительного устройства, что позволяет провести всесторонний анализ и сократить сроки проектирования пневмоагрегатов нового металлорежущего оборудования. Время срабатывания звеньев управляющего блока на пневмоаппаратуре высокого давления получено путем физического эксперимента, получены динамические характеристики процессов включения и отключения

звеньев управляющего блока. Для определения времени движения исполнительного устройства были проведены численные исследования.

Результаты работы использованы в учебном процессе НТУ «ХПИ» в дисциплинах «Надежность гидropневмооборудования», «Гидropневмоавтоматика» и в практике инженерных расчетов ОПК «Гидроэлекс», г. Харьков.

Ключевые слова: гидropневмоагрегат, исполнительное устройство, элементы схем, надежность, вероятность безотказной работы.

ABSTRACT

Fateeva N.N. Synthesis highly reliable hydropneumatic units of metal-cutting equipment – 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, Ukraine, 2009.

Dissertation work is devoted to the increase of reliability of hydropneumatic units by development of method of calculation of quantitative reliability indexes and distributing of the rationed reliability indexes. The comparative estimation of charts, built with the use of the formalized algorithms of synthesis of pneumatic units is conducted. For hydropneumatic units, realized by modern methods the algorithms of calculation of quantitative reliability indexes and algorithms of distributing of the rationed reliability indexes are developed on the stage of planning. Offered approach allows already on the early stages of planning of hydropneumatic units to ration reliability indexes, that enables to get the optimum decisions of questions of reliability on further design of life cycle of units times. Estimation of reliability of hydropneumatic units indexes on the stage of the preliminary planning allows to carry out the rational choice of structural chart and parameters, pick up the proper materials and elements of realization of charts. As a result of synthesis of charts of pneumatic units, based on the use of units approach and approach with complete minimization, the dynamic analysis of pneumatic units and their model links is conducted, with the purpose of receipt of time of working of pneumatic links and executive devices, that allows to conduct the comprehensive comparative analysis of units at planning of new metal-cutting equipment.

The results of the work have been used at the practice of engineering calculations of Corporation «Гидроэлекс», Kharkov. Job performances are used into educational process of on disciplines: «Reliability Hydropneumoequipments» and «Hydropneumoautomatics».

Keywords: hydropneumatic units, executive device, elements of charts, reliability, probability of faultless work.

Підписано до друку 16.04.09 р. Формат 60x84¹/₁₆.
Папір офсетний. Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. №592640

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16.