

УДК 62.82:62.85

**Н. М. ФАТЄЄВА, Н. Г. ШЕВЧЕНКО, О. М. ФАТЄЄВ****НАДІЙНІСТЬ ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТІВ МЕТАЛОРИЗАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ**

Наведено результати досліджень щодо розподілу нормованих показників надійності в системах гідропневмоагрегатів з використанням методів розподілу вимог по надійності – пропорційного і з урахуванням відносної уразливості елементів. Запропоновані алгоритми дозволяють вже на ранній стадії проектування систем гідро- та пневмоприводів нормувати показники надійності. Наведено алгоритми для розрахунку кількісних показників надійності на етапі проектування.

**Ключові слова:** надійність, гідропневмоагрегат, ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, метод розподілу норм надійності, коефіцієнт уразливості.

Приведены результаты исследований по распределению нормируемых показателей надежности в системах гидropневмоагрегатов с использованием методов распределения требований по надежности – пропорционального и с учетом относительной уязвимости элементов. Предложенные алгоритмы позволяют уже на ранней стадии проектирования систем гидро- и пневмоприводов нормировать показатели надежности. Приведены алгоритмы для расчета количественных показателей надежности на этапе проектирования.

**Ключевые слова:** надежность, гидropневмоагрегат, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, метод распределения норм надежности, коэффициент уязвимости.

Work is devoted to the increase of reliability of hydropneumounits 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 on the example of synthesis of pneumatic units is conducted. For hydropneumounits, 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 hydropneumounits 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 hydropneumounits 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.

**Keywords:** reliability, hydropneumounit, probability of failure-free operation, failure rate, method of distribution of norms of reliability, vulnerability factor.

**Вступ.** 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 та ін.) 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.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** 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 актуальною науково-практичною проблемою.

**Основні положення.** Етап проектування є визначальним у забезпеченні надійності. Основні завдання дослідження і розрахунку надійності на цьому етапі умовно можна розділити на три групи:

1) Обґрунтування вимог по надійності до основних елементів гідропневмоагрегата (завдання нормування надійності). Це завдання вирішується на ранній стадії проектування і передбачає попередню розробку структури агрегату і обґрунтування принципів проектування.

2) Забезпечення надійності елементів і агрегату в цілому. Ця група завдань включає дослідження і кількісну оцінку ефективності можливих способів забезпечення надійності; вибір основних проектних характеристик, статистичних запасів міцності і довговічності, запасів стійкості та інших показників; порівняльний аналіз варіантів і вибір оптимальних конструкцій.

© Н. М. Фатєєва, Н. Г. Шевченко, О. М. Фатєєв, 2016

3) Контрольні розрахунки надійності агрегату за проектною документацією.

**1. Алгоритми нормування показників надійності для гідропневмоагрегатів, реалізованих методом стандартної позиційної структури і методом мінімізації.** Розподіл норм надійності проводять на етапах ескізного і робочого проектування технічної системи. Передбачається, що на будь-якому з цих етапів конструювання систему можливо розбити на деяке число підсистем у вигляді окремих складальних одиниць і виходити з початкової надійності кожної підсистеми, отриманої розрахунком або за результатами випробувань підсистеми [1]. Використовуючи методи розподілу нормованих показників надійності, вже на стадії проектування можна закласти необхідну функціональність гідропневмоагрегату.

Для гідропневмоагрегатів, які синтезовані методом стандартної позиційної структури (СПС) [2, 3], 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 [1, 4] 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 І ( $\wedge$ ), елементу пам'яті (ЕП) і елементу АБО ( $\vee$ ), тобто  $k_i = 3$ ;

– визначаємо загальне число підсистем командоапарату:  $n$ ;

– задаємося необхідною імовірністю безвідмовної роботи  $P^{TP}(t)$ ;

– обчислюємо число «приведених» елементів:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot k_{lj}}{\sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot k_{ij}};$$

– визначаємо необхідну імовірність безвідмовної роботи підсистеми командоапарату  $P_i = \sqrt[n]{P^{TP}}$ ;

– визначаємо кількісний состав елементів, які залишилися: 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};

– застосовуємо до елементного составу, що залишився, метод розподілу вимог по надійності з

урахуванням відносної уразливості елементів;

– обчислюємо коефіцієнти уразливості:

$$\omega_j = \lambda_j / \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \right), \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

– визначаємо необхідні інтенсивності відмов елементів  $\lambda_j^{TP} = \omega_j \cdot \Lambda^{TP}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

– знаходимо необхідні значення імовірності безвідмовної роботи елементів.

– перевіряємо правильність нормування показників надійності елементів, обчисливши загальну імовірність безвідмовної роботи гідропневмоагрегату:

$$P_{СПС}(t) = (P_{КА}^{под})^n \cdot P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t) = P^{TP}(t),$$

якщо гідропневмоагрегат не містить проміжних елементів:

$$P_{СПС}(t) = (P_{КА}^{под})^n \cdot P_{Базис}(t) = P^{TP}(t).$$

Для гідропневмоагрегатів, які синтезовані методом мінімізації [2, 3], розподіл нормованих показників надійності на етапі проектування переважно провадити методом розподілу вимог по надійності з урахуванням відносної уразливості елементів [1, 4] 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:

$$\omega_j = \lambda_j / \left( \sum_{i=1}^n \lambda_i \right), \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

– визначаємо необхідні інтенсивності відмов елементів  $\lambda_j^{TP} = \omega_j \cdot \Lambda^{TP}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

– 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 [5].

**2. Алгоритми розрахунку кількісних показників надійності для гідропневмоагрегатів, реалізованих методом стандартної позиційної структури і методом мінімізації.** Всі показники надійності проєктованих систем повинні забезпечувати нормальне функціонування систем протягом заданого терміну експлуатації. Відомо, що основні показники надійності однозначно пов'язані

між собою відповідними математичними залежностями. Тому досить визначити деякі з них. При аналізі гідропневмоагрегатів як систем, що складаються з деякого числа елементів, зручно використовувати такий показник, як ймовірність безвідмовної роботи, який відноситься до кількісних показників надійності [6].

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

– 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 ймовірність безвідмовної роботи командоапарату, використовуючи залежність:

$P_{КА}(t) = P_{ЕП}(t) \cdot P_{V}(t) \cdot P_{\wedge}(t)$ . У випадках, розглянутих в роботі, ця залежність в загальному вигляді представлена таким чином:

$P_{КА}(t) = \exp\{-tn(\lambda_{ЕП} + \lambda_{V} + \lambda_{\wedge})\}$ , але може видозмінюватися залежно від елементного і кількісного состава командоапарату;

– визначаємо інші елементи, що входять до складу гідропневмоагрегату: виділяємо базис і проміжні елементи;

– розраховуємо функцію надійності – ймовірність 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 ймовірність безвідмовної роботи гідропневмоагрегату, який синтезовано з використанням стандартної позиційної структури  $P_{СПС}(t) = P_{КА}(t) \cdot P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t)$ .

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 ймовірність безвідмовної роботи ЕП при наявності його в составі гідропневмоагрегату;

– знаходимо ймовірність 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 ймовірність безвідмовної роботи гідропневмоагрегату, який синтезовано

методом мінімізації  $P_{мин}(t) = P_{ЕП}(t) \cdot P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t)$  – за наявності ЕП в системі або  $P_{мин}(t) = P_{Базис}(t) \cdot P_{ПЕ}(t)$  – за відсутності ЕП. Поступаємо аналогічно, якщо гідропневмоагрегат не містить проміжних елементів або, якщо гідропневмоагрегат не містить і ЕП і проміжні елементи [7].

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 змінюється структура побудови функціональних ділянок гідропневмоагрегатів.

**Висновки.** Отримані алгоритми для розподілу нормованих показників надійності на етапі проектування для гідропневмоагрегатів, реалізованих методом стандартної позиційної структурою і методом мінімізації, дозволяють вже на ранніх стадіях проектування гідропневмоагрегатів нормувати показники надійності, що дає можливість отримувати оптимальні рішення питань надійності на наступних етапах розробки життєвого циклу агрегату.

Обрані методи розрахунку і визначення розрахункових співвідношень для знаходження кількісних характеристик показників безвідмовності проєктованих гідропневмоагрегатів, реалізованих методом стандартної позиційної структури і методом мінімізації, дозволяють проєктувати високонадійні гідропневмоагрегати нового металорізального обладнання.

Оцінка показників надійності гідропневмоагрегатів на етапі ескізного проектування дозволяє здійснити раціональний вибір конструктивної схеми і параметрів, підібрати відповідні матеріали і елементи реалізацій схем.

#### Список літератури

1. Труханов В. М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе их проектирования и испытания опытных образцов / В. М. Труханов. – М. : Машиностроение, 2003. – 320 с.
2. Черкашенко М. В. Гидропневмоавтоматика / М. В. Черкашенко. – Харьков : Гидроэлекс, 2002. – 75 с.
3. Черкашенко М. В. Автоматизация проектирования систем гидро- и пневмоприводов с дискретным управлением : навч. посіб. / М. В. Черкашенко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2001. – 182 с.
4. Ушаков И. А. Надежность технических систем : справочник / И. А. Ушаков, Ю. К. Беляев. – М. : Радио и связь, 1983. – 606 с.
5. Фатеева Н. Н. Оценка количественных показателей надежности гидропневмоагрегатов на этапе их синтеза / Н. Н. Фатеева, А. Н. Фатеев // Вісник НТУ «ХПІ». – 2005. – № 29. – С. 95–98.
6. Кудрявцев А. И. Монтаж, наладка и эксплуатация пневматических приводов и устройств / А. И. Кудрявцев, А. П. Пятидверный, Е. А. Рагулин. – М. : Машиностроение, 1990. – 208 с.
7. Фатеева Н. Н. К вопросу расчета надежности

гидропневмоагрегатов / *Н. Н. Фатеева* // Вісник НТУ «ХПІ». Сер.: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – 2013. – № 14 (988). С. 108–112.

#### References (transliterated)

1. Trukhanov, V. M. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem tipa podvizhnykh ustanovok na etape ikh proektirovaniya i ispytaniya opytnykh obraztsov*. Moscow: Mashinostroenie, 2003. Print.
2. Cherkashenko, M. V. *Gidropnevmoavtomatika*. Kharkov: Hidroelekts, 2002. Print.
3. Cherkashenko, M. V. *Avtomatyzatsiya proektuvannya system hidro- i pnevmopryvodiv z dyskretnym upravlinnyam: navch. posib*. Kharkiv: NTU "HPI", 2001. Print.

4. Ushakov, I. A., and Yu. K. Belyaev. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem : spravochnik*. Moscow: Radio i svyaz', 1983. Print.
5. Fateeva, N. N., and A. N. Fateev. "Otsenka kolichestvennykh pokazateley nadezhnosti gidropnevmoagregatov na etape ikh sinteza." *Visnyk NTU "HPI"*. No. 29. 2005. 95–98. Print.
6. Kudryavtsev, A. I., A. P. Pyatidvernyy and E. A. Ragulin. *Montazh, naladka i ekspluatatsiya pnevmaticheskikh privodov i ustroystv*. – Moscow: Mashinostroenie, 1990. Print.
7. Fateeva, N. N. "K voprosu rascheta nadezhnosti gidropnevmoagregatov." *Visnyk NTU "HPI". Ser.: Energetichni ta teplotekhnichni protsesi y ustakuvannya*. No. 14 (988). 2013. 108–112. Print.

Надійшла (received) 15.09.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Надійність гідро-пневмоагрегатів металорізального устаткування / Н. М. Фатеева, Н. Г. Шевченко, О. М. Фатеев** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 41 (1213). – С. 84–87. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2411-3441.

**Надежность гидропневмоагрегатов металлорежущего оборудования / Н. Н. Фатеева, Н. Г. Шевченко, А. Н. Фатеев** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 41 (1213). – С. 84–87. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2411-3441.

**Reliability of hydropneumounits of metal-cutting equipment / N. N. Fatieieva, N. G. Shevchenko, A. N. Fatyeyev** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydrounits. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 41 (1213). – P. 84–87. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2411-3441.

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Фатеева Надія Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідравлічні машини»; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Фатеева Надежда Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры «Гидравлические машины»; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Fatieieva Nadezhda Nikolaevna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of "Hydraulic machines"; tel.: (057) 707-66-46; e-mail: gmntukhpi@gmail.com.

**Шевченко Наталія Григорівна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідравлічні машини»; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: shevng@ukr.net.

**Шевченко Наталья Григорьевна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры «Гидравлические машины»; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: shevng@ukr.net.

**Shevchenko Natal'ja Grigor'evna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of "Hydraulic machines"; tel.: (057) 707-66-46; e-mail: shevng@ukr.net.

**Фатеев Александр Миколайович** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідравлічні машини»; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: fatyan1@mail.ru.

**Фатеев Александр Николаевич** – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры «Гидравлические машины»; тел.: (057) 707-66-46; e-mail: fatyan1@mail.ru.

**Fatyeyev Aleksandr Nikolaevich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of "Hydraulic machines"; tel.: (057) 707-66-46; e-mail: fatyan1@mail.ru.