

УДК 62-522

Н.Н. ФАТЕЕВА, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХПИ»

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ГИДРОПНЕВМОАГРЕГАТОВ

Приведены результаты исследований по распределению нормируемых показателей надежности в системах гидропневмоагрегатов 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, гидропневмоагрегат, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, метод распределения норм надежности, коэффициент уязвимости.

Введение. В настоящее время существует необходимость значительного повышения надежности новых высокопроизводительных гидропневмоагрегатов, разработки практических методов анализа их надежности на этапе проектирования. Оперативный и достоверный анализы надежности элементов гидропневмоагрегатов позволяют обоснованно принимать прогрессивные конструктивные и технологические решения для повышения надежности элементов, гарантируя тем самым оптимальные показатели новой конструкции.

Анализ проведенных ранее работ, связанных с расчетами надежности гидропневмоагрегатов, показал, что исследование и решение значительной части вопросов, возникающих в теории надежности применительно к гидропневмоагрегатам, только еще начаты, и поэтому в ней многие проблемы не получили должного решения.

Целью работы является повышение надежности, улучшение и упрощение процесса выбора лучшего варианта гидропневмоагрегатов металлорежущего оборудования на этапе проектирования путем проведения синтеза схем с учетом количественных показателей надежности и распределения нормируемых показателей надежности.

Основные положения. Этап проектирования является определяющим в обеспечении надежности. Основные задачи исследования и расчета надежности на этом этапе условно можно разделить на три группы:

1) Обоснование требований по надежности к основным элементам гидропневмоагрегата (задача нормирования надежности). Эта задача решается на ранней стадии проектирования и предусматривает предварительную проработку структуры агрегата и обоснование принципов проектирования.

2) Обеспечение надежности элементов и агрегата в целом. Эта группа задач включает исследование и количественную оценку эффективности возможных способов обеспечения надежности; выбор основных проектных характеристик, статистических запасов прочности и долговечности, запасов устойчивости и других показателей; сравнительный анализ вариантов и выбор оптимальных конструкций.

3) Контрольные расчеты надежности агрегата по проектной документации.

Алгоритмы нормирования показателей надежности для гидропневмоагрегатов, реализованных методом стандартной позиционной структуры и методом минимизации. Распределение норм надежности проводят на этапах эскизного и рабочего проектирования технической системы. Предполагается, что на любом из этих этапов конструирования систему можно разбить на некоторое

© Н.Н. Фатеева, 2013

число подсистем в виде отдельных сборочных единиц и исходить из начальной надежности каждой подсистемы, полученной расчетом или по результатам испытаний подсистемы [1]. Используя методы распределения нормируемых показателей надежности, уже на стадии проектирования можно заложить требуемую безотказность работы гидропневмоагрегатов.

Для гидропневмоагрегатов, реализованных методом стандартной позиционной структуры (СПС) [2, 3], распределение нормируемых показателей надежности на этапе проектирования наиболее предпочтительно проводить двумя методами: методом пропорционального распределения и методом распределения требований по надежности с учетом относительной уязвимости элементов [1, 4]. Алгоритм распределения нормируемых показателей надежности для гидропневмоагрегатов, реализованных методом СПС, выглядит следующим образом:

1) проводим декомпозицию – разбиваем исходную сложную систему на простые элементы;

2) для командоаппарата применяем метод пропорционального распределения показателей надежности, так как командоаппарат рассматривается как система, состоящая из последовательно соединенных подсистем, содержащих k_i элементов;

3) определяем количественный состав подсистем в командоаппарате: каждая подсистема состоит из элемента И (\wedge), элемента памяти (ЭП) и элемента ИЛИ (\vee), т.е. $k_i = 3$;

4) определяем общее число подсистем командоаппарата: n ;

5) задаемся требуемой вероятностью безотказной работы $P^{TP}(t)$;

6) вычисляем число «приведенных» элементов $\alpha_i = \frac{\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot k_{lj}}{\sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot k_{ij}}$, где λ_j –

интенсивность отказов j -го элемента;

7) определяем требуемую вероятность безотказной работы подсистемы командоаппарата $P_{КА}^{под} = \sqrt[n]{P^{TP}}$;

8) определяем количественный состав оставшихся элементов: выделяем базис и промежуточные элементы (ПЭ);

9) применяем к оставшемуся элементному составу метод распределения требований по надежности с учетом относительной уязвимости элементов;

10) вычисляем коэффициенты уязвимости $\omega_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$, $j = 1, 2, \dots, n$, где n –

число элементов, входящих в систему;

11) определяем требуемые интенсивности отказов элементов $\lambda_j^{TP} = \omega_j \cdot \Lambda^{TP}$, $j = 1, 2, \dots, n$, где Λ^{TP} – требуемая интенсивность отказов системы;

12) находим требуемые значения вероятности безотказной работы элементов (\wedge и/или ЭП и/или \vee);

13) определяем вероятность безотказной работы базиса $P_{\text{Базис}}(t)$ и вероятность безотказной работы промежуточных элементов $P_{\text{ПЭ}}(t)$;

14) проверяем правильность нормирования показателей надежности элементов, вычислив общую вероятность безотказной работы гидропневмоагрегата $P_{\text{СПС}}(t) = (P_{\text{КА}}^{\text{ПОД}})^n \cdot P_{\text{Базис}}(t) \cdot P_{\text{ПЭ}}(t) = P^{\text{ТР}}(t)$, если гидропневмоагрегат не содержит промежуточных элементов, то по зависимости: $P_{\text{СПС}}(t) = (P_{\text{КА}}^{\text{ПОД}})^n \cdot P_{\text{Базис}}(t) = P^{\text{ТР}}(t)$.

Для гидропневмоагрегатов, реализованных методом минимизации [2, 3], распределение нормируемых показателей надежности на этапе проектирования предпочтительно проводить методом распределения требований по надежности с учетом относительной уязвимости элементов [1, 4]. Алгоритм распределения нормируемых показателей надежности для гидропневмоагрегатов, реализованных методом минимизации, выглядит следующим образом:

1) проводим декомпозицию – разбиваем исходную сложную систему на простые элементы и рассматриваем количественный и элементный состав гидропневмоагрегата: выделяем базис, ПЭ и ЭП – если они предусмотрены реализацией схемы;

2) задаемся требуемой вероятностью безотказной работы $P^{\text{ТР}}(t)$;

3) вычисляем коэффициенты уязвимости $\omega_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$, $j = 1, 2, \dots, n$;

4) определяем требуемые интенсивности отказов элементов $\lambda_j^{\text{ТР}} = \omega_j \cdot \Lambda^{\text{ТР}}$, $j = 1, 2, \dots, n$;

5) находим требуемые значения вероятности безотказной работы элементов (\wedge и/или ЭП и/или \vee);

6) определяем вероятность безотказной работы базиса $P_{\text{Базис}}(t)$ и вероятность безотказной работы промежуточных элементов $P_{\text{ПЭ}}(t)$;

7) проверяем правильность нормирования показателей надежности элементов, вычислив общую вероятность безотказной работы гидропневмоагрегата $P_{\text{min}}(t) = P_{\text{ЭП}}(t) \cdot P_{\text{Базис}}(t) \cdot P_{\text{ПЭ}}(t) = P^{\text{ТР}}(t)$. Если гидропневмоагрегат не содержит ЭП, то $P_{\text{min}}(t) = P_{\text{Базис}}(t) \cdot P_{\text{ПЭ}}(t) = P^{\text{ТР}}(t)$. Поступаем по аналогии, если гидропневмоагрегат не содержит промежуточных элементов или, если гидропневмоагрегат не содержит и ЭП и промежуточных элементов.

Алгоритмы расчета количественных показателей надежности для гидропневмоагрегатов, реализованных методом стандартной позиционной структуры и методом минимизации. Все показатели надежности проектируемых систем должны обеспечивать нормальное функционирование систем в течение заданного срока эксплуатации. Известно, что основные показатели надежности однозначно связаны между собой соответствующими математическими зависимостями. Поэтому достаточно определить некоторые из них. При анализе гидропневмоагрегатов как систем, состоящих из определенного числа элементов, удобно использовать такой показатель, как вероятность безотказной работы, который относится к количественным показателям надежности [5].

Для гидропневмоагрегатов, реализованных методом стандартной позиционной структуры, алгоритм расчета количественных показателей надежности на этапе проектирования выглядит следующим образом:

1) проводим декомпозицию – разбиваем сложную систему на элементы и рассматриваем количественный и элементный состав командоаппарата, опираясь на граф операций и принципиальную схему гидропневмоагрегата;

2) используя статистические и эксплуатационные данные гидропневмоагрегатов, подобных проектируемым, определяем среднюю интенсивность отказов элементов (λ_{\wedge} , $\lambda_{\text{ЭП}}$, λ_{\vee}), входящих в состав агрегата;

3) находим вероятность безотказной работы командоаппарата, используя зависимость: $P_{\text{КА}}(t) = P_{\text{ЭП}}(t) \cdot P_{\vee}(t) \cdot P_{\wedge}(t)$. В случаях, рассматриваемых в работе [6], данная зависимость в общем виде представлена таким образом: $P_{\text{КА}}(t) = \exp\{-tn \cdot (\lambda_{\text{ЭП}} + \lambda_{\vee} + \lambda_{\wedge})\}$;

4) определяем остальные элементы, входящие в состав гидропневмоагрегата: выделяем базис и промежуточные элементы;

5) рассчитываем вероятность безотказной работы базиса $P_{\text{Базис}}(t)$ и промежуточных элементов $P_{\text{ПЭ}}(t)$ (при наличии промежуточных элементов в составе гидропневмоагрегата соответственно), учитывая их элементный состав;

6) находим общую вероятность безотказной работы гидропневмоагрегата, синтезированного с использованием стандартной позиционной структуры по зависимости: $P_{\text{СПС}}(t) = P_{\text{КА}}(t) \cdot P_{\text{Базис}}(t) \cdot P_{\text{ПЭ}}(t)$.

Для гидропневмоагрегатов, реализованных методом минимизации, алгоритм расчета количественных показателей надежности на этапе проектирования выглядит следующим образом:

1) проводим декомпозицию – разбиваем сложную систему на составляющие и определяем элементный состав гидропневмоагрегата, опираясь на систему логических уравнений и построенную по ним принципиальную схему данного агрегата;

2) выделяем базис и промежуточные элементы гидропневмоагрегата;

3) рассчитываем вероятность безотказной работы ЭП при наличии его в составе гидропневмоагрегата;

4) находим вероятность безотказной работы базиса $P_{\text{Базис}}(t)$ и промежуточных элементов $P_{\text{ПЭ}}(t)$ (при наличии промежуточных элементов в составе гидропневмоагрегата соответственно), учитывая их элементный состав;

5) находим общую вероятность безотказной работы гидропневмоагрегата, синтезированного методом минимизации по зависимости:

$P_{\text{min}}(t) = P_{\text{ЭП}}(t) \cdot P_{\text{Базис}}(t) \cdot P_{\text{ПЭ}}(t)$ – при наличии ЭП в системе или

$P_{\text{min}}(t) = P_{\text{Базис}}(t) \cdot P_{\text{ПЭ}}(t)$ – при отсутствии ЭП (наличие в гидропневмоагрегате ЭП

обусловлено содержанием одинаковых наборов во входной последовательности). Поступаем по аналогии, если гидропневмоагрегат не содержит промежуточных элементов или, если гидропневмоагрегат не содержит и ЭП и ПЭ.

Если расчетные показатели безотказности оказываются ниже требуемых, то определяются узлы и участки гидропневмоагрегата, оказывающие наибольшее влияние на безотказность агрегата в целом, и разрабатываются мероприятия по повышению их надежности. К таким мероприятиям относятся: замена элементов на более надежные; облегчение режимов работы элементов, например перемещение элемента из зоны

повышенных температур; резервирование элементов или отдельных участков гидропневмоагрегатов; изменение конструкции или технологии изготовления отдельных деталей и узлов агрегатов, имеющих низкую надежность. При необходимости меняется структура построения функциональных участков гидропневмоагрегатов.

Выводы. Полученные алгоритмы для распределения нормируемых показателей надежности на этапе проектирования для гидропневмоагрегатов, реализованных методом стандартной позиционной структурой и методом минимизации, позволяют уже на ранних стадиях проектирования гидропневмоагрегатов нормировать показатели надежности, что дает возможность получать оптимальные решения вопросов надежности на последующих этапах разработки жизненного цикла агрегата.

Выбранные методы расчета и определения расчетных соотношений для нахождения количественных характеристик показателей безотказности проектируемых гидропневмоагрегатов, реализованных методом стандартной позиционной структуры и методом минимизации, позволяют проектировать высоконадежные гидропневмоагрегаты нового металлорежущего оборудования.

Оценка показателей надежности гидропневмоагрегатов на этапе эскизного проектирования позволяет осуществить рациональный выбор конструктивной схемы и параметров, подобрать соответствующие материалы и элементы реализаций схем.

Список литературы: 1. Труханов, В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе их проектирования и испытания опытных образцов [Текст] / В.М. Труханов. – М.: Машиностроение, 2003. – 320 с. 2. Черкашенко, М.В. Гидропневмоавтоматика [Текст] / М.В. Черкашенко. – Х.: Гидроэлек, 2002. – 75 с. 3. Черкашенко, М.В. Автоматизация проектирования систем гидро- і пневмоприводів з дискретним управлінням [Текст]: навч. посіб / М.В. Черкашенко. – Х.: НТУ «ХП», 2001. – 182 с. 4. Надежность технических систем [Текст]: справочник / Ю.К. Беляев, И.А. Ушаков – М.: Радио и связь, 1983. – 606 с. 5. Кудрявцев, А.И. Монтаж, наладка и эксплуатация пневматических приводов и устройств [Текст] / А.И. Кудрявцев, А.П. Пятидверный, Е.А. Рагулин. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с. 6. Фатеева, Н.Н. Оценка количественных показателей надежности гидропневмоагрегатов на этапе их синтеза [Текст] / Н.Н. Фатеева, А.Н. Фатеев // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП», 2005. – № 29. – С. 95–98.

Поступила в редколлегию 11.01.13

УДК 62-522

К вопросу расчета надежности гидропневмоагрегатов [Текст] / Н.Н. Фатеева // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 14(988). – С. 108-112. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X.

Приведено результати досліджень по 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- і пневмоприводів нормувати показники надійності. Наведені алгоритми для розрахунку кількісних показників надійності на етапі проектування.

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

The results of researches on distribution rationed of indexes of reliability in systems of hydrounits and pneumounits with use of methods of distribution of the requirements on reliability are given – proportional and in view of relative vulnerability of elements. The offered algorithms allow already on early stages of planning of the systems hydro- and pneumodrives to ration reliability indexes. Algorithms are resulted for the calculation of quantitative reliability indexes on the stage of planning.

Keywords: reliability, hydropneumounit, probability of faultless work, intensity of refuses, method of distributing of norms of reliability, coefficient of vulnerability.