

вых головок (рисунок 8, а), тогда как разработанных по предлагаемой методике всего 4 (рисунок 8, б).

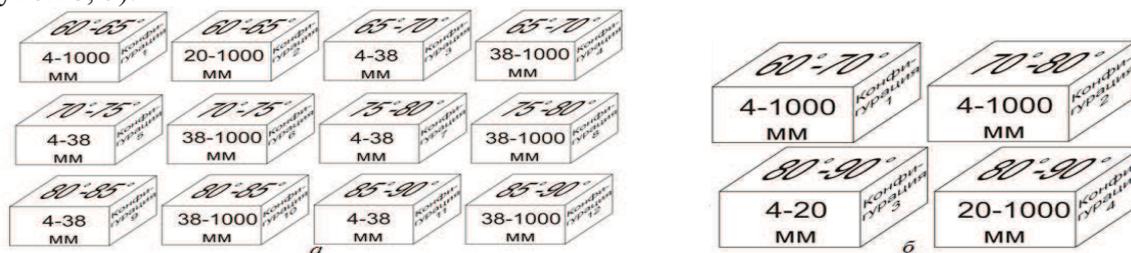


Рисунок 8. Количество различных конфигураций резцовых головок: а - стандартных конструкций резцовых головок для обработки партии деталей; б - спроектированных по предлагаемой методике, для обработки партии деталей

С одной стороны данная конструкция является более дорогостоящей, но, с другой она имеет возможность обрабатывать более широкий диапазон канавок. В результате чего применение данной конструкции является более экономически выгодным.

Литература

1. Металлорежущий инструмент. Учебник / Гречишников В.А., Григорьев С.Н., Кирсанов С.В., Кожевников Д.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г.: М.:ИЦ МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2005,- с. 586.
2. Многофункциональный режущий инструмент / Гречишников В.А., Пивкин П.М. Патент РФ №120594. Дата регистрации: 24.04.2012.
3. Резец для металлообработки с поворотной головкой. Патент РФ №125910 / Гречишников В.А., Пивкин П.М. Дата регистрации: 21.08.2012.

Повышение эффективности технологии сборки топливных форсунок ГТД путём управления функциональными параметрами деталей распылительного пакета

д.т.н. Семёнов А.Н.¹, Сазанов А.А.²

¹Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева,

² ЗАО «ВолгАэро», Рыбинск

8 (4855) 222091, semenov.an@mail.ru, andrew1025@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема обеспечения качества топливных форсунок ГТД на этапе сборки. Описан способ, позволяющий повысить эффективность выполнения сборочного процесса.

Ключевые слова: сборка, топливные форсунки ГТД, функциональная взаимозаменяемость

Основной задачей машиностроения является выпуск изделий, обладающих требуемыми эксплуатационными показателями. В общем случае данная задача решается путём нормирования точности геометрических размеров деталей на основе справочных данных, производственного опыта, анализа подобных конструкций [1, 2]. Однако такой подход не позволяет эффективно обеспечивать требуемые эксплуатационные показатели изделий, имеющих сложные физические принципы действия. Причиной данной проблемы является косвенный характер управляющего воздействия на эксплуатационные показатели изделия. Возникает многоступенчатая схема передачи информации. Геометрические параметры деталей преобразуются в физические параметры функционирования составных частей изделия, которые, в свою очередь, формируют эксплуатационные показатели. Применение указанного подхода приводит к увеличению трудоёмкости производства изделий, снижению их качества, удлинению технологического цикла. Особую важность описанная проблема приобретает на этапе сборки изделия. В процессе сборки происходит взаимодействие достигнутых параметров деталей изделия. Результат такого взаимодействия напрямую определяет фактические значения эксплуатационных свойств, которые являются единственно важными характеристиками из-

деляя для потребителя.

В качестве объекта исследования, иллюстрирующего описанную проблему, были выбраны топливные форсунки авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) семейства Д-30 КУ/КП. Топливная форсунка является одним из основных узлов топливной системы ГТД. Она обеспечивает подачу определённого количества топлива в камеры сгорания двигателя в виде факела распыла требуемой конфигурации.

Центробежная форсунка ГТД семейства Д-30 построена по двухконтурной схеме, позволяющей повысить эффективность подачи топлива на разных режимах работы двигателя. Типовыми режимами работы форсунки являются работа на первом контуре и совместно на первом и втором контурах. Качество работы форсунки оказывает прямое влияние на важнейшие характеристики камеры сгорания двигателя: равномерность температурного поля на выходе из камеры сгорания и полноту сгорания топлива [5]. Отклонения по данным параметрам могут вызвать снижение КПД, мощности двигателя, экологических характеристик, а также привести к разрушению некоторых узлов.

Одним из наиболее используемых в газотурбинных двигателях типов форсунок является центробежный. Формирование факела распыла в такой форсунке происходит за счёт закручивания в завихрительных камерах керосина, прошедшей через тангенциальные пазы топливного тракта. Центробежная топливная форсунка ГТД характеризуется следующими эксплуатационными параметрами:

- расход топлива R – объём топлива, поступившего из форсунки при определённом рабочем режиме за одну минуту, л/мин;
- неравномерность распыла χ – характеристика, определяющая разность между количеством топлива, попавшим в разные секторы поперечного сечения факела распыла, %;
- угол конуса распыла β – угол между крайними границами факела распыла, град;
- качество распыла θ – комплексный параметр, характеризующий гранулометрический состав факела распыла.

В ходе исследований установлено, что наибольшее влияние на эксплуатационные параметры камеры сгорания ГТД оказывают расход топлива и неравномерность распыла топлива [5]. В существующем технологическом процессе изготовления и сборки топливных форсунок достижение указанных эксплуатационных параметров осуществляется при помощи введения дополнительных операций по слесарной доработке деталей форсунки. Цикл доводки включает в себя разборку форсунки, слесарную доработку деталей, сборку форсунки, испытание на специализированной установке. Как правило, цикл доработки повторяется многократно. Необходимость проведения доводочных операций приводит к повышению себестоимости готовой форсунки, увеличению общего времени изготовления форсунки и является препятствием для повышения эффективности технологического процесса её сборки.

Существующие специализированные способы сборки машиностроительных изделий не могут быть применены в рассматриваемом случае вследствие особенностей конструкции и функционирования топливных форсунок, поэтому требуется использование нового подхода на основе учета зависимости между геометрическими параметрами деталей распылительного пакета и качеством функционирования готового узла. В качестве теоретической основы для достижения поставленной цели была выбрана концепция функциональной взаимозаменяемости [3,4].

Функциональная взаимозаменяемость - метод обеспечения заданных эксплуатационных показателей однотипных изделий путём установления допустимых отклонений на их функциональные параметры, определяющие успешность выполнения ими заданных функций. Ключевым понятием данной концепции взаимозаменяемости является функциональный параметр – параметр изделия и/или его составных частей в заданных условиях эксплуатации, изменение которых влияет на эксплуатационные показатели. В зависимости от физического принципа действия изделия функциональные параметры могут иметь различную природу. Состав физических свойств функциональных параметров может быть различным и в пределах одного рассматриваемого изделия.

При первичном анализе для центробежной топливной форсунки ГТД был определён наиболее полный состав её функциональных параметров. Полученные параметры могут быть записаны в виде группы аналитических выражений для параметров расхода топлива R и неравномерности распыла топлива χ . В выражения учтено двухконтурное построение форсунки. Индексы I определяют параметры работы по первому контуру, индексы I + II – по обоим контурам форсунки.

$$R_I = f(d_{cI}, b_I, r_I, \zeta_I, \varepsilon, \psi, p_T, \nu); \quad (1)$$

$$R_{I+II} = f(R_I, d_{cII}, b_{II}, r_{II}, \zeta_{II}, \varepsilon, \psi, p_T, \nu); \quad (2)$$

где: d_{cI} , d_{cII} – диаметры сопел распылителей первого и второго контуров, мм; b_I , b_{II} – ширина входных тангенциальных пазов распылителей первого и второго контуров, мм; r_I , r_{II} – радиус плеча закручивания распылителей первого и второго контуров, мм; ζ_I , ζ_{II} – отклонение формы выходной кромки сопел распылителей первого и второго контуров; ε – смещение каналов топливного тракта относительно их расчётного положения; ψ – плотность стыков между деталями топливного тракта; p_T – постоянная величина, давление топлива, подаваемого в форсунку, МПа; ν – постоянная величина, вязкость топлива, подаваемого в форсунку, $\text{м}^2/\text{с}$.

$$\chi_I = f(\delta_I, b_I, \varepsilon, p_T, \nu); \quad (3)$$

$$\chi_{I+II} = f(\chi_I, \delta_{II}, b_{II}, \varepsilon, p_T, \nu); \quad (4)$$

где: δ_I , δ_{II} – эксцентриситет сопла относительно камеры закручивания для распылителей первого и второго контуров, мм; b_I , b_{II} – ширина входных тангенциальных пазов распылителей первого и второго контуров, мм; ε – смещение каналов топливного тракта относительно их расчётного положения; p_T – постоянная величина, давление топлива, подаваемого в форсунку, МПа; ν – постоянная величина, вязкость топлива, подаваемого в форсунку, $\text{м}^2/\text{с}$.

Параметры ε и ψ являются комплексными. В состав ε входит ряд характеристик деталей топливного тракта, которые определяют расположение топливных каналов относительно осей деталей топливного тракта, либо самих деталей относительно друг друга. Параметр ψ включает в себя отклонения от плоскостности и непараллельность боковых поверхностей деталей топливного тракта. В ходе изучения влияния данных параметров было установлено, что они могут проявлять векторные свойства.

На основе анализа известных математических выражений, применяемых для описания характеристик центробежных топливных форсунок [6, 7, 8], была составлена комплексная модель эксплуатационного параметра форсунки y :

$$\frac{\Delta y}{y} = k_1 \cdot \frac{\Delta_{x1}}{x_1} + (-)k_2 \cdot \frac{\Delta_{x2}}{x_2} + (-)k_3 \cdot \frac{\Delta_{x3}}{x_3} + (-)... + (-)k_n \cdot \frac{\Delta_{xn}}{x_n}; \quad (5)$$

где: Δy – действительное отклонение эксплуатационного параметра форсунки; y – номинальное значение эксплуатационного параметра форсунки; $\Delta_{x1}, \dots, \Delta_{xn}$ – действительные отклонения геометрического параметра детали распылительного пакета форсунки; x_1, \dots, x_n – номинальные значения геометрического параметра детали распылительного пакета форсунки; k_1, \dots, k_n – коэффициенты (влияния) значимости; n – количество рассматриваемых геометрических параметров.

Знаки слагаемых в выражении 5 зависят от характера влияния конкретного параметра x на параметр y . В случае, если увеличение параметра x приводит к увеличению параметра y (прямая связь), то перед зависимостью для x в выражении 5 необходимо поставить знак “+”. Знак “–” перед зависимостью для параметра x ставится, если при увеличении значения x происходит уменьшение параметра y или наоборот (обратная связь). Коэффициенты k в выражении 1,5 указывают на степень взаимосвязи выходного параметра y и конкретного геометрического параметра x детали распылительного пакета. Выражение 5 является общим и не отражает конструктивных особенностей рассматриваемых топливных форсунок. Для конкретизации данного выражения в его состав путём преобразования были включены параметры из уравнений 1...4. В результате уточнённые выражения вида 5 для параметра расход

топлива R приняли следующий вид:

$$\frac{\Delta R_I}{R_I} = (2 - m) \cdot \frac{\Delta d_{cl}}{d_{cl}} + \frac{2m \sum_{i=1}^{i=n} \Delta_i b_I}{n_I b_I} - \frac{m}{n_I r_I} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta_i r_I + k_{1I} \cdot \frac{\Delta \xi_{iI}}{\xi_{номI}} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_{iI}}{\varepsilon_{иномI}} \cdot k_{2I} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \psi_{iI}}{\psi_{иномI}} \cdot k_{3I}; \quad (6)$$

$$\frac{\Delta R_{I+II}}{R_{I+II}} = (2 - m) \cdot \frac{\Delta d_{cII}}{d_{cII}} + \frac{2m \sum_{i=1}^{i=n} \Delta_i b_{II}}{n_{II} b_{II}} - \frac{m}{n_{II} r_{II}} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta_i r_{II} + k_{1II} \cdot \frac{\Delta \xi_{iII}}{\xi_{номII}} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_{iII}}{\varepsilon_{иномII}} \cdot k_{2II} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \psi_{iII}}{\psi_{иномII}} \cdot k_{3II} + k_{нф1} \frac{\Delta R_I}{R_I}; \quad (7)$$

где: $m, n, k_{нф}$ – коэффициенты, учитывающие специфику функционирования форсунок.

Для параметра χ конкретизированное выражение вида 5 будет записываться так:

$$\frac{\Delta \chi_I}{\chi_I} = k_4 \cdot \frac{\Delta \delta_{факсI}}{\delta_{номI}} + k_5 \cdot \frac{b_{\max I}}{b_{\min I}} + k_6 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_{iI}}{\varepsilon_{иномI}} \quad (8)$$

$$\frac{\Delta \chi_{I+II}}{\chi_{I+II}} = k_4 \cdot \frac{\Delta \delta_{факсII}}{\delta_{номII}} + k_5 \cdot \frac{b_{\max II}}{b_{\min II}} + k_6 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_{iII}}{\varepsilon_{иномII}} + k_{нф2} \frac{\Delta \chi_I}{\chi_I} \quad (9)$$

Выражения вида 6 ... 9 наиболее полно описывают взаимосвязь между эксплуатационными показателями и геометрическими параметрами деталей топливного пакета. Они могут быть использованы для различных расчётов центробежных форсунок на этапах их проектирования и изготовления. Для решения поставленной задачи по повышению эффективности сборки форсунок была выполнена адаптация полученных выражений. Все слагаемые из правых частей выражений 6 ... 9 опосредованно характеризуют детали распылительного пакета через их геометрические параметры. Как было указано ранее, с точки зрения концепции функциональной взаимозаменяемости наиболее эффективным является непосредственное управление функциональными параметрами составляющих частей изделия [4]. С этой целью отклонения геометрических параметров в правой части выражений были заменены на соответствующие гидравлические характеристики (расход топлива R , неравномерность распыла топлива χ) всех составляющих распылительного пакета форсунки деталей (переходника, распылителя I контура, распылителя II контура). Комплексные отклонения и некоторые константы остались неизменными. Размерность выражений не изменилась. Адаптированные выражения приняли следующий вид:

$$\frac{\Delta R_I}{R_I} = \frac{\Delta R_{нлсI}}{R_{нлсI}} + \frac{\Delta R_{пкI}}{R_{пкI}} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_{iI}}{\varepsilon_{иномI}} \cdot k_{2I} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \psi_{iI}}{\psi_{иномI}} \cdot k_{3I} \quad (10)$$

$$\frac{\Delta R_{I+II}}{R_{I+II}} = \frac{\Delta R_{нлсI+II}}{R_{нлсI+II}} + \frac{\Delta R_{пкI}}{R_{пкI}} + \frac{\Delta R_{пкII}}{R_{пкII}} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \varepsilon_{iII}}{\varepsilon_{иномII}} \cdot k_{2II} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \psi_{iII}}{\psi_{иномII}} \cdot k_{3II} + k_{нф1} \frac{\Delta R_I}{R_I} \quad (11)$$

где: $\Delta R_{нлсI}$ – отклонение по расходу топлива по испытываемой детали “переходник” при работе на первой ступени, л/мин; $R_{нлсI}$ – расход топлива по эталонной детали “переходник” при работе на первой ступени, л/мин; $\Delta R_{пкI}$ – отклонение по расходу топлива по испытываемой детали “распылитель I контура” при работе на первой ступени, л/мин; $R_{пкI}$ – расход топлива по эталонной детали “распылитель I контура” при работе на первой ступени, л/мин; $\Delta R_{нлсII}$ – отклонение по расходу топлива по испытываемой детали “переходник” при работе на второй ступени, л/мин; $R_{нлсII}$ – расход топлива по эталонной детали “переходник” при работе на второй ступени, л/мин; $\Delta R_{пкII}$ – отклонение по расходу топлива по испытываемой детали “распылитель II контура” при работе на второй ступени, л/мин; $R_{пкII}$ – расход топлива по эталонной детали “распылитель II контура” при работе на второй ступени, л/мин; $k_{нф1}$ – коэффициент, учитывающий влияние отклонения расхода топлива по первой ступени на расход топлива по второй ступени.

$$\frac{\Delta\chi_I}{\chi_I} = \frac{\Delta\chi_{pIk}}{\chi_{pIk}^{\text{эт}}} + k_6 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\varepsilon_{iI}}{\varepsilon_{\text{инном}}} \quad (12)$$

$$\frac{\Delta\chi_{I+II}}{\chi_{I+II}} = \frac{\Delta\chi_{pIIk}}{\chi_{pIIk}^{\text{эт}}} + k_6 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\varepsilon_{iII}}{\varepsilon_{\text{инном}}} + k_{\text{нф}2} \cdot \frac{\Delta\chi_I}{\chi_I} \quad (13)$$

где: $\Delta\chi_{pIk}$ – отклонение по неравномерности распыла топлива по испытываемой детали “распылитель I контура”, %; $\chi_{pIk}^{\text{эт}}$ – неравномерность распыла топлива по эталонной детали “распылитель I контура”, %; $\Delta\chi_{pIIk}$ – отклонение по неравномерности распыла топлива по испытываемой детали “распылитель II контура”, %; $\chi_{pIIk}^{\text{эт}}$ – неравномерность распыла топлива по эталонной детали “распылитель II контура”, %.

На основании выражений 10 ... 13 был разработан способ селективной сборки по гидравлическим параметрам. Суть предлагаемого способа состоит в последовательной реализации четырёх этапов. На первом этапе выполняется контроль (испытание) всех имеющихся деталей распылительного пакета форсунок с целью выявления фактических значений их гидравлических параметров (R и χ). Полученные данные заносятся в специальную форму. Процесс испытания деталей автоматизирован и выполняется на специальном оборудовании. На втором этапе реализации сборочного процесса детали сортируются на комплекты (распылительные пакеты) на основании данных, полученных на первом этапе. Детали отбираются по параметрам расхода топлива R и параметрам неравномерности распыла топлива χ . Сортировка деталей на комплекты по параметру «расход топлива R » производится по критерию оптимальности достигаемых выходных параметров.

Достижение критерия оптимальности заключается в получении минимально возможных суммарных отклонений по каждому рассматриваемому комплекту деталей распылительного пакета. Сортировка по параметру неравномерности распыла топлива χ в предлагаемом способе считается вторичной по отношению к расходу топлива R . В качестве предельно допустимого отклонения по параметрам расхода топлива, вызванного корректировкой по параметру χ , принимается 5-ти процентный порог от достигнутых значений по расходу топлива.

Задача технологического управления параметрами ε и ψ решается на третьем этапе. Каждый скомплектованный распылительный пакет состоит из трех отдельных деталей, взаимодействующих между собой в процессе сборки и эксплуатации. Технологические погрешности этих деталей могут существенно влиять на функциональное состояние топливного тракта форсунки и привести к отклонениям эксплуатационных параметров, поскольку, как было установлено в ходе исследования, по своей физической природе они являются векторными. При сборке этих деталей распылительного пакета решающее влияние на выходные параметры форсунки оказывает относительное расположение соответствующих погрешностей. Все детали распылительного пакета представляют собой тела вращения, поэтому взаимодействие погрешностей деталей будет определяться относительным угловым положением векторов их действия. Процесс нахождения оптимального углового положения деталей распылительного пакета автоматизирован с помощью специальных технологических средств.

На четвёртом этапе разработанного способа происходит окончательная сборка форсунок с использованием скомплектованных распылительных пакетов, полученных при реализации предыдущих этапов. Окончательная сборка форсунок осуществляется подобно существующей технологии, но отличается исключением этапов многократной сборки-разборки для ручной доработки деталей распылительного пакета.

Оценка эффективности применения предлагаемого способа сборки, основанного на принципе функциональной взаимозаменяемости, позволяет сделать следующие выводы:

- длительность технологического цикла сборки топливной форсунки снижается в 2...3 раза;
- затраты на оплату труда сборщиков снижаются в 3 раза;

- повышается точность выходных параметров форсунок, вследствие чего существенно снижаются затраты на доводочные испытания ГТД.

Литература

1. Взаимозаменяемость в машиностроении и приборостроении/ Якушев А.И., Валедимский А.С., Воробьев Ю.А.. – М.: Издательство стандартов, 1970 с.– 551.
2. Функциональная взаимозаменяемость в машиностроении/ Ляндон Ю.Н.. – М.: Машиностроение, 1967. – с. 220.
3. Под ред. В.П. Булатова, И.Г. Фридлиндера. Фундаментальные проблемы теории точности. – СПб.: Наука, 2001. – с, 504.
4. Камеры сгорания газотурбинных двигателей./ Пчёлкин Ю.М. – М.: Машиностроение, 1984. – с. 280.
5. Распыливание жидкости форсунками./ Витман Л.А. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1986. – с. 265.
6. Распыливание жидкостей./ Бородин В.А., Дитяткин Ю.Ф., Клячко Л.А.. – М.: Машиностроение, 1967. – с. 262.
7. Распылители жидкостей. /Пажи Д.Г., Галустов В.С. – М.: Химия, 1979. – с. 216.

Управление нормативно-технической информацией на предприятиях машиностроения

Краковцев В.Г., Петрова Т.В.

ЗАО «Консорциум «Кодекс», Москва, Санкт-Петербург
8(812)740-78-87, krakovtzev@kodeks.ru

Аннотация. В статье на примере профессиональной справочной системы «Техэксперт: Машиностроение» рассматриваются вопросы оказания информационной поддержки специалистам машиностроительной отрасли в вопросах получения и использования нормативно-технической информации.

Ключевые слова: нормативно-техническая документация, источник информации, электронные справочные системы, ГОСТ

Одним из важнейших показателей индустриального развития страны является уровень развития машиностроительной отрасли. Именно поэтому предприятиям данной отрасли и качеству производимой ими продукции уделяется повышенное внимание. Вместе с тем само предприятие заинтересовано в выпуске конкурентоспособной продукции самого высокого качества. В современных условиях добиться этого без оперативного использования актуальной нормативно-технической информации невозможно.

Нормативно-техническая документация закрепляет требования к качеству производимой продукции, стандарты, регламентирует правила выполнения работ и функционирования всего предприятия. Ее использование означает, что выходящие с конвейера машины или их составляющие надежны, безопасны и соответствуют всем государственным нормативам и стандартам.

Количество нормативно-технических документов, затрагивающих машиностроение и смежные с ним сегменты, постоянно увеличивается. В них регулярно вносятся изменения, дополнения, и, более того, они требуют регулярной актуализации. Уследить за этим без специальных инструментов невозможно. И если имеющийся на предприятии массив документов не удастся правильно и максимально эффективно использовать, то он быстро превращается в бесполезный багаж, что может иметь весьма плачевные последствия для развития и функционирования предприятия.

Из-за огромного количества неиспользуемой, а значит, ненужной документации движение информационных потоков внутри предприятия замедляется. Опираясь на устаревшую, утратившую актуальность информацию, можно принять неверное решение. Накопление бесполезного массива документации не позволит оптимизировать бизнес-процессы, улучшить качество продукции.