

УДК 65.0(075.8)

DOI: 10.30987/article_5c4ed021555b86.14857920

В.П. Смоленцев, С.В. Сафонов, Б.И. Омигов

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ НАУКОЕМКИХ ИЗДЕЛИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ

Рассмотрены технологические методы повышения качества наукоемких изделий. Установлены качественные и количественные показатели объектов производства, учитывающие условия эксплуатации транспортной техники. С учетом положений алгебры Буля проведена критериальная оценка вероятности появления нештатных ситуа-

ций при испытаниях и эксплуатации двигателей летательных аппаратов.

Ключевые слова: управление качеством, сертификация, критериальная оценка, технологичность, летательные аппараты, испытания, эксплуатация, достоверность.

V.P. Smolentsev, S.V. Safonov, B.I. Omigov

SCIENCE-INTENSIVE PRODUCT QUALITY CONTROL ON TEST RESULTS

The technological methods for science-intensive product quality increase are considered. A procedure is presented for choice optimization and new combined engineering processes development with electric field superposition ensuring performance restoration and increase of transport equipment on results of its tests at the final stages of product life. By the examples of aircraft engines there are defined qualitative and quantitative indices of production objects taking into account operating conditions of transport equipment.

New technological techniques are developed for combined processing used to support a state, restoration and increase quality indices of science intensive products. It is shown that in a number of cases the phenomenon of emergency situations during tests may be a result of adverse effects of technological factors. It requires a substantiated improvement of the engineer-

ing process at manufacturing produce and during the operation, maintenance and restoration of working capacity at the consumer. Taking into account the provisions of Boolean mathematics there is carried out a criterion assessment of the probability of an emergency situation phenomenon during the tests and operation of aircraft engines. It is shown that such situations are stochastic indices, the assessment of their authenticity increases at the expense of the information base replenishment for uniform transport vehicles and according to the results of the certification of produce and systems of quality control.

Key words: quality control, certification, criterion assessment, manufacturability, aircraft, tests, operation, authenticity.

Введение

При изготовлении наукоемких авиационно-космических летательных аппаратов изделия проходят многократную оценку качества как для отдельных элементов, так и для изделия в сборке. В результате возникает необходимость применения новых технологических приемов, часть которых может находиться в стадии разработки или на уровне идеи. Опыт освоения в производстве ракетных двигателей показывает, что одним из наиболее перспективных

направлений развития технологической науки в области управления качеством является создание комбинированных процессов обработки с наложением электрического поля, так как они расширяют технологические возможности по повышению качества и надежности изделий при изготовлении наиболее сложных и наукоемких элементов деталей, в том числе в труднодоступных для инструмента участках.

Анализ путей устранения нештатных ситуаций в процессе контроля и испытания летательных аппаратов

Заключительная часть цикла изготовления объекта включает его испытания в условиях, учитывающих наиболее значимые воздействия при эксплуатации из-

делия, например при выборочных ресурсных испытаниях двигателей летательных аппаратов.

Такие предполетные мероприятия выявляют отклонения от нормативных эксплуатационных показателей, не проявляющиеся при контроле и испытании элементов изделия на предшествующих стадиях жизненного цикла, в том числе связанных с процессом изготовления изделия. Устранение выявленных на этой стадии контроля отклонений может вызвать задержку сроков плановых пусков и полетов, поскольку их сложно оперативно устранить на месте эксплуатации. Поэтому требуется система создания и совершенствования технологических процессов у изготовителя, разработка мобильных технических средств контроля и испытаний у потребителя для восстановления эксплуатационных характеристик и повышения качества отдельных узлов технологическими (иногда совместно с конструкторскими) методами. По результатам испытаний оценивают уровень технологичности новых изделий, эффективность применения в производстве освоенных и вновь разрабатываемых технологических процессов для повышения качества и надежности как отдельных элементов, так и всего наукоемкого изделия, в частности с учетом требований авиационно-космической отрасли.

В работах [1-3] рассмотрены типовые примеры использования и создания комбинированных технологических процессов, направленных на совершенствование изделий на технологических стадиях их механообработки, сборки и испытания. Контроль и испытание систем обеспечивает качество прокладки гидравлических, газовых и электрических систем, расположенных, как правило, в специальных коллекторах в фюзеляже и крыльях, что предохраняет их от повреждений, исключает короткие замыкания, удобно для периодического обслуживания и восстановления работоспособности. Окончательное заключение по качеству всех систем получают по результатам испытаний систем, двигателей и изделия в сборке. При создании новых видов летательных аппаратов проводится отработка технологичности, в процессе которой оцениваются уровень унификации и стандартизации агрегатов и

узлов, перспективы использования новых технологических процессов.

В настоящее время разработаны руководящие технические материалы [4; 5], содержащие нормативные требования по планированию работ, необходимых для обеспечения работоспособности изделий, заложенной при отработке эксплуатационной технологичности конструкций осваиваемых видов летательных аппаратов и их двигателей. Они включают сравнительные показатели полученной при испытаниях эксплуатационной технологичности; обеспечение требований по возможности применения прогрессивных методов выполнения технического обслуживания и ремонта; приспособленность конструкции к выполнению текущего обслуживания изделия при подготовке к полетам, а также доступ к отдельным системам с использованием унифицированного и стандартного инструмента.

В осваиваемых летательных аппаратах и двигателях в процессе отработки технологичности предусматривается [5] возможность использования по результатам испытаний агрегатно-узлового ремонта с заменой и восстановлением агрегатов с учетом фактического технического состояния, плановой проверки параметров агрегатов и блоков без их снятия с летательного аппарата и др.

Все элементы летательного аппарата и его двигателей должны быть удобными для снятия показаний в процессе испытаний, для чего предусматриваются встроенные датчики и присоединительные места для средств оценки технического состояния.

В [5] приведены типовые требования к обеспечению эксплуатационной технологичности, частично показанные в табл. 1, где представлены возможные ресурсные наработки до ремонта агрегатов летательного аппарата.

На рис. 1 приведены сведения [5] о трудоемкости замены (табл. 1) некоторых агрегатов при техническом обслуживании и восстановлении работоспособности (регулировка, контроль, испытание работоспособности), которая может иметь продолжительность:

Таблица 1

Ресурсы агрегатов до ремонта

Ресурс, ч	Количество в изделии	Ресурс, ч	Количество в изделии
До 3000	1	5000-10000	До 7
3000-5000	До 2	Более 10000	Не менее 90 с заменой по результатам испытаний

- для 80 % агрегатов (в основном для радиоустройств и приборов) - в пределах 1 ч (это время, как правило, укладывается в период плановой стоянки летательного аппарата);

- для других агрегатов - в диапазоне от 1 до 8 ч (из них количество агрегатов, где время замены 6-8 ч, должно быть не более 1 % [5]).

Испытания летательных аппаратов по [5] связаны с периодичностью регламентного технического обслуживания и восстановления работоспособности авиационного летательного аппарата и его двигателей, которая оценивается в часах налета (табл. 2

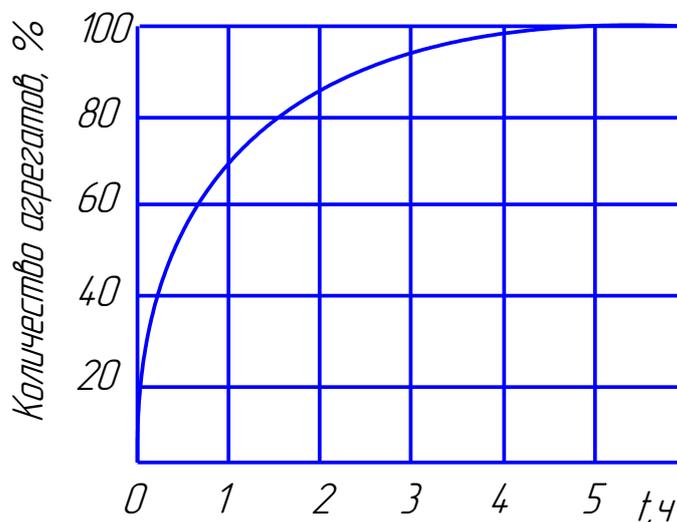


Рис. 1. Время, планируемое на замену агрегатов при ремонте летательного аппарата

Таблица 2

Время в часах налета для технического обслуживания типовых агрегатов А-1, А-2, А-3	Периодичность выполнения работ			
	А-1	А-2	А-3	
Техническое обслуживание:				
а) после ввода изделия в эксплуатацию - не чаще чем через...	100	300	900	
б) через 1-1,5 года эксплуатации - не чаще чем через...	200	600	1200	
Ремонт:	Р-1	Р-2	Р-3	Р-4
а) в начале эксплуатации - не чаще чем через...	2000	4000	6000	8000
б) через 1-1,5 года эксплуатации - не чаще чем через...	3000	6000	9000	12000

Планирование и обоснование необходимости и сроков проведения испытаний ракетных двигателей приведены в [6].

Обработка эксплуатационной технологичности по результатам испытаний двигателей и изделий [4]

Эффективность работ, направленных на повышение эксплуатационной надежности и технологичности летательных аппаратов и двигателей авиационно-космической техники, оценивают по результатам испытаний. Такие работы разделяют на три этапа (рис. 2). Первый этап включает сбор необходимой информации, проведение анализа и систематизацию полученных материалов, где определяющую роль играют результаты испытаний.

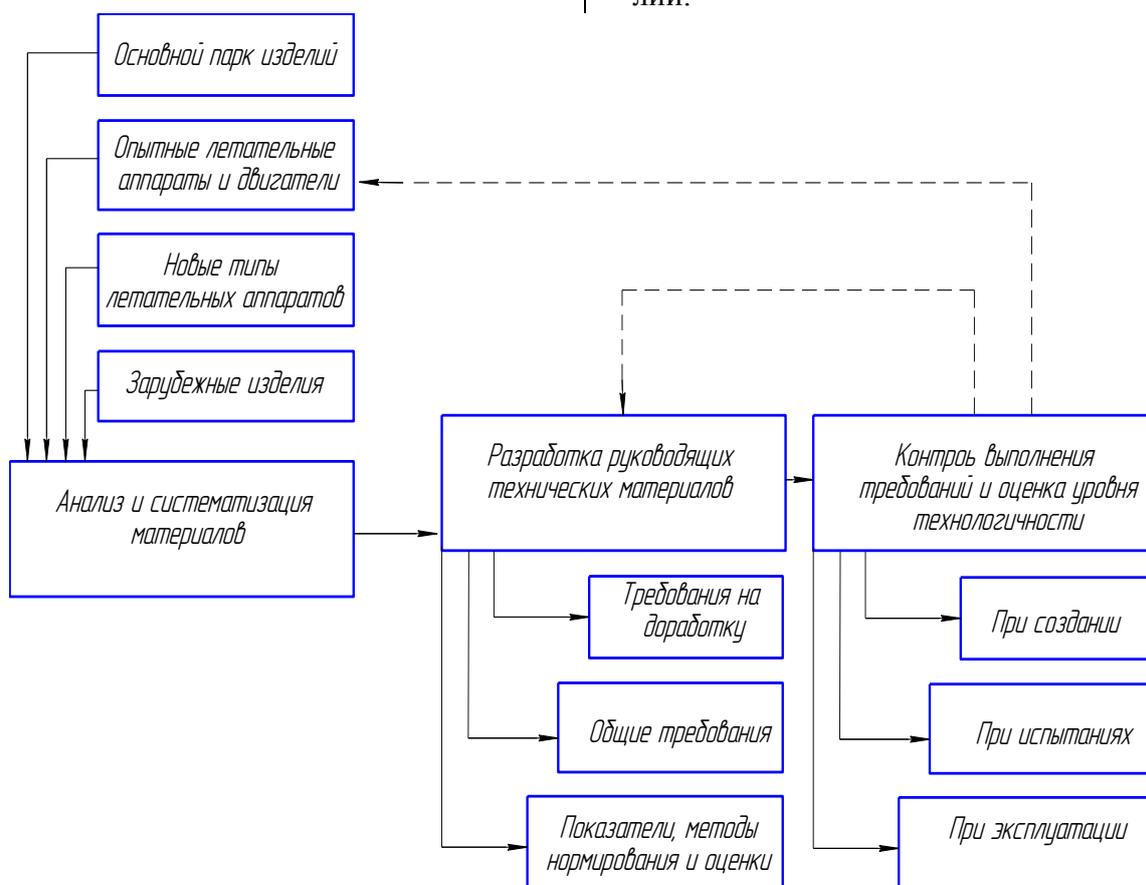


Рис. 2. Этапы проводимых мероприятий для повышения эксплуатационной надежности летательных аппаратов и их двигателей

Первый этап включает исчерпывающую исходную информацию, достаточную для проведения анализа и систематизации материалов для повышения эксплуатационной надежности летательных аппаратов и их двигателей. Такая работа проводится по основным системам, узлам и агрегатам, применяемым или планируемым к применению в процессе обработки технологичности на рассматриваемых видах летательных аппаратов и двигателей, в

На втором этапе создают руководящие технические материалы, отражающие вопросы эксплуатационной технологичности изделий с использованием современных технологических достижений, осуществимых у изготовителя и заказчика.

На третьем этапе выполняют контроль и испытания, оценку полноты выполнения требований и уровня эксплуатационной надежности при создании изделий.

процессе их изготовления, транспортировки и хранения до начала эксплуатации.

При проведении работ на этом этапе учитываются материалы по качеству изделий, полученные в процессе государственных и эксплуатационных испытаний летательных аппаратов. При этом анализируются доступные сведения об эксплуатационной технологичности зарубежных летательных аппаратов и их двигателей, технологиях, применяемых для изготовле-

ния, технического обслуживания и восстановления эксплуатационных характеристик изделий.

На втором этапе работ (рис. 2) на базе результатов анализа обработанного материала первого этапа исследований разрабатывают и выдают разработчикам и изготовителям комплекты руководящих технических материалов, включающих:

- требования и рекомендации по повышению технических характеристик, эксплуатационной надежности серийных летательных аппаратов и их двигателей по результатам отработки технологичности;

- нормативные показатели по эксплуатационной надежности, качеству и технологичности осваиваемых летательных аппаратов и двигателей;

- результаты сравнительных количественных оценок эксплуатационных показателей;

- рекомендации для конструкторов и технологов по качеству, надежности и эксплуатационной технологичности, которые содержат информацию об обоснованных принятых и предлагаемых (удовлетворяющих заданным техническим требованиям) конструктивно-технологических решениях.

Основную часть работ первого и второго этапов выполняют специалисты научно-исследовательских, эксплуатационных и ремонтных подразделений. В них принимают участие специалисты опытно-конструкторских бюро и предприятий-изготовителей, но их участие имеет главным образом консультативный характер и сводится к рассмотрению и согласованию материалов по повышению качества и подбору в основном нетрадиционных технологических способов изготовления наукоемких изделий, осваиваемых в серийном производстве.

На третьем этапе рассматриваются вопросы организации работ по реализации объемов и сроков выполнения принятых технических требований и новых способов изготовления изделий, а также возможность ускоренного восстановления их работоспособности по результатам испытаний. Эти результаты должны быть под-

тверждены в ходе проведения государственных и эксплуатационных испытаний. При этом на всех стадиях проектирования летательного аппарата и двигателя, начиная с эскизного проекта, необходимо обеспечить эксплуатационную надежность, реализуемую в конструкции изделия при решении принципиальных вопросов обоснования компоновки, членения (разъемов), панелирования и т.п. Производство более совершенных и качественных изделий требует научного обобщения результатов испытаний и опыта эксплуатации аналогов или осваиваемых изделий.

Третий этап выполняется в основном разработчиком и изготовителем изделия. Роль представителей заказчика здесь сводится к осуществлению контроля за выполнением требований, предоставлению консультации конструкторам и технологам. Для этого на время отработки технологичности и создания нового типа летательного аппарата и двигателя заказчик выделяет высококвалифицированных специалистов-эксплуатационников, знакомых с основами конструирования и производством летательных аппаратов и двигателей, хорошо знающих вопросы технического обслуживания и ремонта. Имея доступ к документации и результатам испытаний, они могут активно участвовать в технологической проработке создаваемой конструкции, отработке технологичности, принятии конструктивных решений по членению, например, планера на агрегаты, агрегатов - на панели и узлы, а также в отработке монтажей, компоновок, разъемов и т.д.

Качество и обеспеченность применяемыми объективными средствами контроля, поддержание их хорошего технического состояния при эксплуатации обеспечивают высокий уровень предупреждения отказов (рис. 3). Информационной базой для оценки рассматриваемых методов являются сведения [6; 7] о качестве, надежности, техническом состоянии и затратах на обслуживание и ремонт объектов эксплуатации.

Формирование требований к автоматизированному поиску оптимальных технологических процессов для повышения эксплуатационных характеристик и управления качеством на примере двигателей летательных аппаратов [8]

Если рассматривать дефекты и сбои в работе двигателей транспортных средств (на стадиях испытаний, предполетной подготовки, в период эксплуатации) как случайные величины, связанные с несовершенством конструкции, технологии, ошибками исполнителей, транспортировкой, хранением, внешними факторами, то

большинство из них можно предотвратить, если установить степень вероятности появления в динамических системах нештатной ситуации, оценить уровень ее значимости и сделать оперативную доработку объекта производства с целью защиты от воздействия наиболее опасных причин отказа техники.

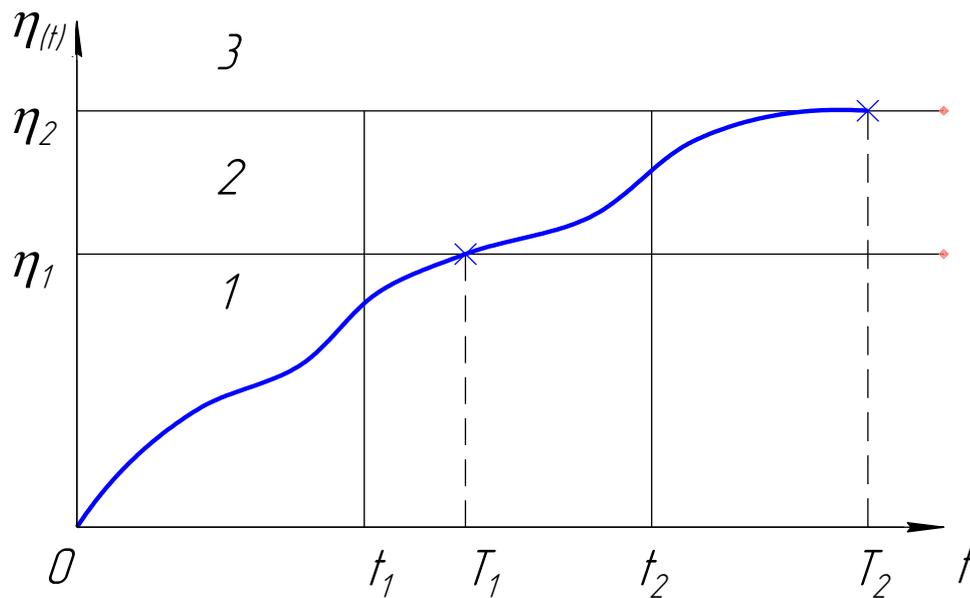


Рис. 3. Уровень (η) предупреждения отказов: 1 – исправное состояние; 2 – предотказное состояние; 3 – неработоспособное состояние (отказ); t_1, t_2 – моменты первой и второй проверок; T_1 и T_2 – моменты пересечения реализацией случайного процесса $\eta(t)$ уровнями η_1 и η_2

Количество возможных нежелательных факторов (x) можно рассматривать как функцию $\varphi(x)$. Тогда степень опасности (y) их воздействия на показатели объекта (например, надежность для космических и авиационных изделий) можно принять как $\{y < [y]\}$, где $[y]$ – допустимое (на каждом уровне испытаний или в процессе эксплуатации) отклонение полученного показателя от номинальной величины.

Между количеством рассматриваемых факторов и степенью их опасности для объекта существует формальная связь:

$$x = \varphi([y]). \quad (1)$$

Вероятность $\{P[y]\}$ активного воздействия каждого фактора (x) на безопас-

ность функционирования изделия при предельных отклонениях параметров $[y]$ может быть представлена зависимостью

$$P([y]) = \frac{d\bar{p}([y])}{d[y]}, \quad (2)$$

где \bar{p} – вероятность единичного или кратковременного воздействия на границе допуска на параметр.

Если управление качеством изделий выполнять с учетом только технологических воздействий, то в ходе совершенствования процессов (в ряде случаев совместно с конструкторскими и организационными мероприятиями) функция $\varphi(x)$ для освоенных в производстве объектов монотонно убывает.

При этих условиях может быть получена вероятностная оценка повышения надежности наукоемкого изделия (P_T) в зоне, наиболее опасной для эксплуатации изделия, на границе допустимых отклонений:

$$P_T([y]) = \int_{\varphi(y)}^{\varphi([y])} f(x) dx. \quad (3)$$

Здесь плотность распределения случайных факторов, воздействующих на качественные показатели, например надежность, оценивается вероятностью влияния показателя на каждый технологический прием:

$$p([y]) = f(\varphi(y) / \varphi'(y)), \quad (4)$$

$$\vec{z} = \vec{z}_1; \vec{z}_2; \dots; \vec{z}_n; (\vec{z}_1 \otimes \vec{z}_2); \dots; (\vec{z}_1 \otimes \vec{z}_n); \dots; (\vec{z}_{n-1} \otimes \vec{z}_n). \quad (5)$$

Интенсивность воздействий

$$\varphi'(y) = \varphi(\vec{z}_1, \vec{z}_2, \dots, \vec{z}_n). \quad (6)$$

Между технологическими воздействиями (z) и показателями надежности $P([y])$ существует связь:

$$P([y]) = \varphi(\vec{z}_1; \vec{z}_2; \dots; \vec{z}_n). \quad (7)$$

С учетом (7) для любого периода эксплуатации изделия (τ), ограниченного установленным ресурсом, показатель надежности выразится через предельно допустимую величину вероятности возникновения нештатной ситуации:

$$P(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} (n-1) \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \sum f_{1|2,3\dots n}(z_1|z_2, \dots, z_n) dz_1 x, \right. \\ \left. x f_{2,3\dots n}(z_2, \dots, z_n) dz_2 \dots dz_n \right\}, \quad (8)$$

где $f_{1|2,3\dots n}(z_1|z_2, \dots, z_n) = f(\vec{z}_1; \vec{z}_2; \dots; \vec{z}_n) / f(\vec{z}_2; \dots; \vec{z}_n)$; $f_{2,3\dots n}(z_2, \dots, z_n)$ - плотность распределения случайной величины \vec{z}_1 в пределах $(n-1)$; $f_{2,3\dots n}(z_2, \dots, z_n) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\vec{z}_1; \vec{z}_2; \dots; \vec{z}_n) d\vec{z}_1$.

Вероятность полезного действия внешнего технологического воздействия (z), например при внедрении нетрадиционного метода обработки, на показатели качества оценивается по зависимости

$$\vec{z}_2; \vec{z}_3; \dots; \vec{z}_n \in \left\{ \begin{array}{l} (\vec{z}_2; \vec{z}_2; \dots; d\vec{z}_2) \\ (\vec{z}_3; \vec{z}_3; \dots; d\vec{z}_3) \\ \vdots \\ (\vec{z}_n; \vec{z}_n; \dots; d\vec{z}_n) \end{array} \right\}. \quad (9)$$

где $\varphi'(y)$ - показатель уровня значимости (интенсивности) воздействия на объект с учетом его динамичности.

Левая часть выражения (4) показывает состояние динамической системы (например, надежность) в процессе совершенствования технологии изготовления и конструкции изделия (в том числе совместно с организационными мероприятиями).

Если принять положительно действующие технологические воздействия за \vec{z} , то их взаимное влияние можно учесть через декартово произведение \otimes , используемое в алгебре Буля [4]:

Взаимное влияние факторов (z) на единое воздействие можно рассматривать [4] как реакцию каждого единичного фактора $f(z_n), n \in \{1, 2, \dots, n\}$, на совокупность, определяющую результирующее воздействие $f(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n; z_{n1}, z_{n2}, \dots, z_{nk})$. Тогда закон случайного внешнего воздействия на показатели качества изделий может быть представлен в форме, аналогичной критериальной оценке влияния факторов по алгебре Буля:

$$p(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} (n-1) \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \sum_{|2,3...N} f_{|2,3...N} \begin{bmatrix} (\tau_1; \tau_2; \dots; \tau_k) \\ (\tau_{11}; \tau_{12}; \dots; \tau_{1k}) \\ \vdots \\ (z_{n1}; z_{n2}; \dots; z_{nk}) \end{bmatrix} dx_1 \right\} x f_{2,3...n} \begin{bmatrix} (\tau_1; \tau_2; \dots; \tau_k) \\ (\tau_{21}; \tau_{22}; \dots; \tau_{2k}) \\ \vdots \\ (z_{n1}; z_{n2}; \dots; z_{nk}) \end{bmatrix} dx_2 \dots dx_n. \quad (10)$$

При выбранном количестве внешних воздействий и известных количественных взаимосвязях между воздействиями (z)

можно получить из (10) расчетную модель, учитывающую уровень значимости и достоверности результатов испытаний:

$$p(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} (n-1) \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \sum_{\bar{z}_1} f_1(\bar{z}_1) d\bar{z}_1 \right\} \varphi(z_1 \dots z_n) f_2(\bar{z}_2) \dots f_n(\bar{z}_n) d\bar{z}_2 \dots d\bar{z}_n. \quad (11)$$

Граничными условиями для модели (11) является выражение

$$y = a_0 + \sum_1^n a_1 \bar{z}_i, \quad (12)$$

где a_0, a_1 - свободный член и коэффициент в регрессионном уравнении для нахождения граничных условий в модели (11).

Выражение (12) записывают через φ :

$$y = a_0 + \sum_1^n a_1 \varphi(\bar{z}_i). \quad (13)$$

Рассчитанный на вычислительной технике по модели (11) вариант оценки результатов испытаний позволяет ускорить поиск обоснованного решения, до предела снизить привлечение экспертов и получить достоверные управленческие решения от исполнителей рядового уровня подготовки при достаточном объеме информации по результатам испытаний.

Заключение

Разработаны требования к организации системы поддержания и повышения уровня качества двигателей и летательных аппаратов с контролем этого показателя по результатам испытаний на заключительной стадии жизненного цикла изделий.

Показано, что весь комплекс исследований по разработке и освоению наукоемких изделий можно разделить на три этапа, которые включают разработку теоретических основ методов и руководящей технической документации; испытания

конкретных систем и агрегатов летательных аппаратов и их двигателей; экспериментальную проверку методов восстановления работоспособности отдельных агрегатов и эффективности их внедрения.

Разработаны рекомендации для создания нормативных материалов по повышению качества летательных аппаратов и их двигателей с учетом использования прогрессивных технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоленцев, В.П. Технологические методы повышения качества летательных аппаратов / В.П. Смоленцев, Б.И. Омигов, М.А. Уваров // Проблемы качества машин и их конкурентоспособности: материалы 6 междунар. науч.-техн. конф. - Брянск, 2008. - С. 445-446.
2. Омигов, Б.И. Многокритериальная оптимизация качества изделий на заключительной стадии их жизненного цикла / Б.И. Омигов, В.П. Смолен-

цев, А.В. Бондарь // Проектирование механизмов и машин: тр. 2 всерос. науч.-практ. конф. - Воронеж: ЦНТИ, 2008. - С. 161-168.

3. Омигов, Б.И. Обеспечение качества наукоемких изделий технологическими методами / Б.И. Омигов, В.П. Смоленцев // Студент, специалист, профессионал: материалы 3 междунар. науч.-техн. конф. - Воронеж: ВГТУ, 2010. - С. 13-29.

4. Сафонов, С.В. Повышение эксплуатационных характеристик деталей путем модификации поверхностного слоя / С.В. Сафонов, В.П. Смоленцев, А.И. Портных // Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты: в 5 т.: монография / под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2014. – Т. 3. – С. 365-406.
5. Техническая эксплуатация летательных аппаратов / под ред. А.И. Пугачева. – М.: Транспорт, 1977. – 440 с.
1. Smolentsev, V.P. Technological methods for aircraft quality increase / V.P. Smolentsev, B.I. Omigov, M.A. Uvarov // *Problems of Machinery Quality and Machinery Competitive Ability: Proceedings of the VI-th Inter. Scientif.-Tech. Conf.* – Bryansk, 2008. – pp. 445-446.
2. Omigov, B.I. Multi-criterion optimization of produce quality at life final stage / B.I. Omigov, V.P. Smolentsev, A.V. Bondar // *Mechanism and Machinery Design: Proceedings of the II-d All-Russian Scientif.-Tech. Conf.* – Voronezh: CSTI, 2008. – pp. 161-168.
3. Omigov, B.I. Quality support in science-intensive products by technological methods / B.I. Omigov, V.P. Smolentsev, // *Student, Expert, Professional: Proceedings of the III-d Inter. Scientif.-Tech. Conf.* – Voronezh: VSTU, 2010. – pp. 13-29.
4. Safonov, S.V. Operation characteristics increase in parts by surface layer modification / S.V. Safonov, V.P. Smolentsev, A.I. Portnykh // *Efficient Engineering Technologies, Equipment and Tools: in 5 Vol.: monograph / under the editorship of A.V. Kirichek.* – M.: Spectrum, 2014. – Vol.3. – pp. 365-406.
5. *Aircraft Technical Operation / under the editorship of A.I. Pugachyov.* – M.: Transport, 1977. – pp. 440.
6. Omigov, B.I. Application practice of economic methods in management of engineering produce quality / B.I. Omigov // *Alternative Methods of Processing: Proceedings.* – M.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 237-243.
7. Bondar, A.V. *Quality and Reliability / A.V. Bondar.* – M.: Mechanical Engineering, 2007. – pp. 326.
8. *Control and Management of Produce Quality in Flexible Structural Production / N.M. Borodkin, V.I. Kleimyonov, A.S. Belyakin, V.P. Smolentsev.* – Voronezh: VSU, 2001. – pp. 158.

Статья поступила в редакцию 19.12.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Киричек А.В.

Статья принята к публикации 25.12.18.

Сведения об авторах:

Смоленцев Владислав Павлович, д.т.н., проф. Воронежского государственного технического университета, e-mail: vsmolen@inbox.ru.

Smolentsev Vladislav Pavlovich, Dr. Sc. Tech., Prof. of Voronezh State Technical University, e-mail: vsmolen@inbox.ru.

Сафонов Сергей Владимирович, д.т.н., Воронежский государственный технический университет, e-mail: smol@comch.ru.

Омигов Борис Иванович, к.т.н., Воронежский механический завод, e-mail: fgupvmz@mail.ru.

Safonov Sergey Vladimirovich, Dr. Sc. Tech. of Voronezh State Technical University, e-mail: smol@comch.ru

Omigov Boris Ivanovich, Can. Sc. Tech. of Voronezh Mechanical Plant, fgupvmz@mail.ru.