
УДК 681.326.32.

Автоматизация проектирования управления обеспечением качества ракетно-космической техники на этапах жизненного цикла

Мельников В.П., Назаров А.В.

Аннотация

Рассмотрен научно-обоснованный подход к управлению качеством на этапах жизненного цикла изделия ракетно-космической техники, который позволит повысить уровень востребованности данного вида продукции и снизить ее негативные воздействия на природу и человека.

Ключевые слова

автоматизация, проектирование, жизненный цикл изделия, испытание, эксплуатация, утилизация, GALS – технологии.

Введение

В условиях современных рыночных отношений комплексным показателем качества является востребованность изделий, их конкурентоспособность. Она имеет особое значение на выходных стадиях их жизненного цикла, а именно при испытаниях готовой продукции, её эксплуатации и утилизации. Для создания алгоритма управления обеспечением качества изделия на этих этапах жизненного цикла, можно использовать функциональную схему управления обеспечением качества и конкурентоспособностью, которая представлена на рис.1. Здесь показаны этапы подтверждения показателей качества готового изделия и мероприятия по поддержанию его характеристик в период использования объектов. Испытания изделия у потребителя должны выполняться по единым или согласованным с изготовителем программам, как правило, с участием представителя разработчика и изготовителя.

Испытания могут быть частичными (например, проверка электрической, гидравлической системы, внешнего вида и др.) или по программе, учитывающей условия эксплуатации, где должны быть подтверждены заложенные в конструкции характеристики и показатели качества изделия. Результаты испытаний: подтверждение результатов сдаточных испытаний у изготовителя, удобство обслуживания, экологическая безопасность и др., передаются изготовителю и разработчику, если он не входит в состав фирмы изготовителя. В тех случаях, когда требуется про-

длить сроки хранения по согласованию с разработчиком и изготовителем, могут проводиться специальные испытания. По их результатам изменяются сроки хранения или ресурс изделия [1].



Рис. 1. Структурно-функциональная схема управления обеспечением качества и конкурентоспособности изделия на этапах испытаний, эксплуатации и послепродажного обслуживания

Часть наукоёмких изделий (например, двигатели космических объектов) не подлежат ремонту в процессе эксплуатации, но могут быть доработаны по согласованию с разработчиком с целью использования полезных предложений в области качества. Другая продукция требует систематического обслуживания и ремонта для поддержания заложенного качества. Внеплановый ремонт требует изменения в конструкции (выполняет разработчик) или технологических приемах (выполняет изготовитель). Капитальный ремонт проводит, как правило, изготовитель или его подразделение. При этом накапливается информация о ремонтпригодности изделия в период эксплуатации, качестве внешних поставок, правомерности требований инструкции по эксплуатации, регулировке изделия, а также корректируются требования по сервисному обслуживанию, т.е. накапливается информация для повышения качества новых и освоенных изготовителем изделий [4].

При стабильном составе потребителей на всех этапах эксплуатации продукции у изготовителя и разработчика накапливается информация о новых требованиях со стороны заказчика, что позволяет заранее разрабатывать технические требования к новой продукции, анализировать возможности реализации, предоставить маркетинговым службам исходную информацию для проработки вопросов рекламы новых изделий.

Таким образом, для обеспечения надлежащего качества изделия в период эксплуатации необходим алгоритм управления, устанавливающий деловые связи между потребителем, изготовителем, разработчиком, а через изготовителя — с внешними поставщиками. Это создаст базу для разработки планов повышения качества новых изделий.

Одним из факторов при проектировании управления обеспечением качества является создание информационной системы связи для передачи информации с соблюдением режимности. Современные средства обеспечивают такие требования, но необходима система контроля потоков информации у исполнителей, что отражается в договорных обязательствах сторон [5].

Потребитель имеет возможность разработать пути использования изделий после выработки ресурса. Это целесообразно делать для дорогостоящих изделий, способных выполнять новые функции (как правило, при меньших нагрузках). Примером может служить вторичное использование реактивных двигателей для поддержания внутрисплавового давления в нефтяных скважинах. Такой подход снимает с потребителя заботы об утилизации продукции и позволяет увеличить прибыль за счет реализации использованного изделия.

В других случаях требуется утилизация изделия или его элементов соблюдением норм экологии, условий разборки или разделения, экономического обоснования средств и места утилизации продукции. Обобщенная схема технологического процесса утилизации наукоемких изделий приведена на рис. 2.



Рис. 2. Обобщённая схема алгоритма технологического процесса утилизации изделий.

В ряде случаев изготовитель берет утилизацию на себя, так как у него имеется техническая база для демонтажа и разрезки элементов конструкции, документация, исполнители. При этом необходимо сохранить потребительские качества элементов при минимальных потерях.

После анализа составляющих изделия и дефектации выявляют:

- компенсирующие элементы, ресурс которых не исчерпан и может быть продлен. (их следует демонтировать с соблюдением установленных правил, причем маркетинговые службы должны найти потребителей таких элементов, что может принести ощутимую прибыль их владельцам);
- элементы, содержащие дефицитные материалы, востребованные в собственном производстве, что также выгодно для потребителя изделия;
- токсичные материалы (например, ртуть), которые нужно удалять из изделия с соблюдением требований безопасности при демонтаже и последующем хранении (такие работы целесообразно выполнять в специализированных организациях, имеющих возможность реализации ценных материалов для дальнейшего использования);
- взрывоопасные вещества или их остатки, которые утилизируют специальные фирмы (в ряде случаев за счет заказчика);
- вторичное сырье, которое после подготовки продается металлургическим, химическим предприятиям для дальнейшего использования.

В зависимости от места расположения изделия в ряде случаев утилизацию можно выполнить у потребителя. Иногда целесообразна ликвидация изделия на месте. Выбор способа утилизации обосновывается экономически с учетом последствий для окружающей среды. Одним из путей вторичного применения объектов является создание тренажеров, макетов, наглядных пособий в учебных заведениях и профильных центрах переподготовки специалистов.

На всех этапах жизненного цикла ставится задача управления воздействием на качество изделия. Причем при испытаниях и утилизации эти воздействия можно достаточно полно формализовать, а при эксплуатации в виде случайных воздействий внешней среды это сделать сложно.

Управление воздействиями может быть однопараметрическим (например, путём регулирования какого – то составляющего режима) и многопараметрическим, заметно расширяющим технологические возможности для повышения уровня качества объектов обработки.

Значительные возможности имеют современные комбинированные методы, формировать основные показатели качества объекта, например, при механической обработке. При этом следует рассматривать различные воздействия (по виду и интенсивности), которые позволяют достичь предельного значения одного из показателей, но слабо повысить (или понизить) другие значимые показатели качества (например, получить перенаклеп поверхностного слоя). Поэтому необходимо найти совместный эффект используемых в методе воздействий, который обеспечивает требуемые показатели качества. В числе ограничений используют технологические, экономические факторы, минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Методология проектирования суммирующих показателей качества за счет объединения нескольких внешних воздействий рассмотрена в работе[1]. Критериями выбора или проекти-

рования технологических процессов разработки и изготовления, испытаний, эксплуатации и утилизации являются:

- достижение предельного технического показателя T_j на стадии научных исследований и с учетом ограничений в виде предельных значений T_3 заданных для конкретного объекта производства (для разработчика: $T_j \rightarrow \max$, а для изготовителя: $T_j > T_3$),
- соблюдение ограничений, прежде всего экономического характера (стоимость разработки $C_p \rightarrow \min$; стоимость издержек на использование процессов $C_{II} \rightarrow \min$ и соблюдение неравенства: $\Pi_p \leq \Pi_3$, то есть период разработки процесса не должен превышать периода запуска изделия в производство).

В последнем критерии начало разработка может быть смещено на период проектирования нового изделия, тогда срок Π_p увеличивается.

Каждый технический показатель качества T_j формируется из множества текущих воздействий r_j , где $r_j = \overline{1; R}$, $r_j \in R$. Этот показатель, рассматриваемый в качестве независимой величины, зависит от множества воздействий: $T \subset T(R)$, $T_j(r_j) \subset r_j$. Для множества $r_j = \overline{1; R}$, учитывающих все возможные действия R , используются булевы матрицы [3]:

$$\delta_{ij} = R \otimes T(r) = \begin{matrix} & T_1 & \dots & T_j & \dots & T_m & , \\ \left. \begin{matrix} \delta_{1(1)} & \dots & \delta_{1(j)} & \dots & \delta_{1(m)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{i(1)} & \dots & \delta_{i(j)} & \dots & \delta_{i(m)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n(1)} & \dots & \delta_{n(j)} & \dots & \delta_{n(m)} \end{matrix} \right\} & \begin{matrix} r_1 \\ \dots \\ r_i \\ \dots \\ r_n \end{matrix} \end{matrix}$$

где: \otimes – декартово произведение, булева переменная $\delta_{i(j)}$ принимает значение 1 (0), если элемент множества r_j принадлежит (не принадлежит) множеству $T(r_j)$.

$$T(r) \in T(r_i) \quad r \Big|_{i=1}^n$$

Результат воздействия T_j зависит от сочетания элементов $\delta_{i(j)}$ в приведенной булевой матрице, которые могут по-разному воздействовать на показатель T_j изделия, причем необходимо знать взаимодействие сочетаемых факторов, которое может выражаться математической зависимостью в виде физического или логического уравнения, уравнения регрессии, графической связью параметров и пр..

В зависимости от показателя качества параметры воздействия R следует либо увеличивать, либо снижать. При достижении оптимального уровня специального воздействия можно

получить предельно возможные показатели качества, где ограничением могут служить, например, финансовые затраты. Если обозначить количества возможных воздействий k , то булева матрица имеет вид:

$$\delta_{ij} = T(r_i) \otimes T_k(r_j) = \begin{matrix} & T_1 & \dots & T_j & \dots & T_m & , \\ \left. \begin{matrix} \delta_{1(1)} & \dots & \delta_{1(j)} & \dots & \delta_{1(m)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{i(1)} & \dots & \delta_{i(j)} & \dots & \delta_{i(m)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n(1)} & \dots & \delta_{n(j)} & \dots & \delta_{n(m)} \end{matrix} \right\} & \begin{matrix} T_1 \\ \dots \\ T_k \\ \dots \\ T_n \end{matrix} \end{matrix}$$

в которой булева переменная $\delta_{i(j)}$ принимает значение 1 (0), если $T_j(r_i)$ принадлежит (не принадлежит) множеству $T_k(r_j)$, причем, как видим, рассматриваются только взаимосвязанные воздействия, которые определяют качество элементов и изделия в целом. Состав технических показателей $T_{k1} \dots T_{kj} \dots T_{km}$ определяется составом j -го столбца при величине их воздействий, равных единице [4].

Воздействия по их направленности на показатели качества могут быть классифицированы в n групп при условии, что сочетание воздействий в группе не приводит к недопустимым изменениям показателей качества T_j . Следовательно, связь между допустимыми воздействиями на показатели качества может быть выражена логическим уравнением, аналогичным:

$$T_j(r_i) = \bigvee_{m=1}^m \cdot \bigwedge_{n=1}^n T_{KП}(r_i)_m,$$

где: m, n – количество воздействий, снижающих или повышающих технический показатель;
 $T_{KП}$ – показатель технологического качества воздействий, принимающий значение 1, если: $T_{KП} \in T(r_i)$ и – значение 0, если $T_{KП} = 0$.

Условие совместимости частных показателей $T_j(r_i)$ с общим показателем (например, показателем качества изделия), то есть значение булевой переменной $T_i(r_i)$ равно 1, если:

$$T_j(r_i) = \bigvee_{m=1}^m \cdot \bigwedge_{n=1}^n T_{KП}(r_i)_m = 1$$

и принимает значение 0, если это равенство не выполняется.

Управление процессом улучшения показателей качества выполняется путем изменения видов, сочетания и величины воздействий $r_i = \overline{1; R}$. Модель обеспечения предельно достижимого уровня качества изделия технологического воздействия при испытаниях, эксплуатации и утилизации может быть описана в виде:

$$T \in R, T(r), T(R), [R \otimes T(r)], [R \otimes T(R)], [R \otimes R(T)] \quad (1)$$

Эта модель открыта для пополнения новыми технологическими воздействиями, к которым можно отнести не только режимы испытаний, эксплуатации и утилизации, но и вновь разработанные методы и средства технологического воздействия. Выбор выполняется с заданными ограничениями вида: положительный характер воздействия, совместимость с технологической системой и др. . В процессе проведения испытательных и эксплуатационных работ по совершенствованию изделий технологическими методами воздействий происходит замена используемых приемов на новые, меняются режимы обработки, что требует исключения из модели (1) некоторых воздействий. Последнее влияет на сложившиеся взаимодействия в системе, нарушает достоверность отчетов. Алгоритм исключения приведены в [4].

При обосновании воздействий рассматриваются следующие случаи:

- возможные, но технически не разработанные способы, методы и средства технологического воздействия, которые по этой причине не могут реализоваться в процессах:

$$T(r)_{n1} = \bar{T}(r)_{n-1} \wedge \bar{T}(r_n)$$

- разработанные воздействия, которые не востребованы или неэффективны в рассматриваемых технологических способах:

$$T(r)_{n1} = T(r)_{n-1} \wedge \bar{T}(r_n)$$

- разработанные и используемые воздействия:

$$T(r)_{n1} = T(r)_{n-1} \wedge T(r_n)$$

В качестве исходных данных при оценке пригодности известного или проектируемого нового испытательного или другого процесса для использования в рассматриваемой модели воздействий являются:

- возможности разработчика технологического процесса по достижению уровня качества на определенной операции (предельного, требуемого для конкретного объекта, экономически обоснованного и др.);
- перечень возможных видов воздействий с достижимыми показателями уровня качества и ограничениями (экономическими, техническими, организационными и др.) [2].
- математические, экспериментальные или логические связи между выбранными видами воздействий на изучаемый показатель качества.

Настоящую методологию управления обеспечением высокого качества изготовления ракетно-космической техники на множестве этапов жизненного цикла изделий с успехом применяли при повышении надежности двигателей летательных аппаратов на этапах создания, механической обработки, сварки, сборки и хранения изделий. Практика показала [3], что изложенный в данной статье научно-обоснованный подход к управлению качеством на этапах жизненного

цикла изделий ракетно-космической техники позволяет повысить уровень востребованности продукции, прибыль, снизить негативные воздействия на природу и человека.

Библиографический список

1. Бондарь А.В. Качество и надежность. – М.: Машиностроение, 2007. 320с.
2. Мельников В.П. , Смоленцев В.П. , Схиртладзе А.Г. Управление качеством. Учебник. 5-е изд. - М.: ОИЦ "Академия", 2008. 325 с.
3. Бондарь А.В. Управление качеством изделий на этапе их изготовления. Сб. тр. международной научно-технической конф. Ч. I. - М.: Машиностроение, 2007. С. 281-285.
4. Митрофанов В.Г., Соломенцов Ю.М., Шептунов С.А. Разработка модели интегрированного управления производством на базе GALS-технологии // Проблемы GALS-технологий. Сб. научи, тр. - М : Изд-во "Янус-К", 1998. С. 13-22.
5. Мельников В.П. и др. Обеспечение информационной безопасности деятельности машиностроительных предприятий. – Старый Оскол, ТНТ, 2008. – 638 с.

Сведения об авторах

Назаров Александр Викторович, профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н., тел.: +7 499 267-83-00, 8-903-511-07-89,
e-mail:naza46@post.ru

Мельников Владимир Павлович, профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н., тел.: +7 499 267-83-00, +7-916-535-74-9
e-mail:anommpv@rambler.ru