

## АНАЛИЗ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМИ К ПРОДУКЦИИ И КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

© 2023 Е.С. Лесик

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 11.04.2023

Статья посвящена вопросам управления требованиями к продукции и качеством продукции аэрокосмической отрасли. Показана актуальность темы управления требованиями и качеством продукции. Обоснована необходимость разработки модели, содержащей формализованный процесс управления требованиями с внедренными процедурами управления качеством. Целью проводимого исследования является выделение свойств задач управления требованиями к продукции и управления качеством продукции и установление соотношения между ними. Задачи управления требованиями к продукции рассмотрены на примере проектирования изделия, как ключевого этапа формирования требований к изготавливаемой продукции. В основе анализа задач управления качеством продукции лежит процесс контроля качества изготавливаемых изделий, как процесс установления соответствия фактических значений параметров, описывающих продукцию, требованиям, предъявляемым к этой продукции. В статье представлена структура и свойства задач систем управления требованиями к продукции и управления качеством продукции на основе тандемной модели, также приведены правила взаимодействия элементов модели и установлено место задач систем управления качеством в решении задач системы управления требованиями. Рассмотрена специфика ключевых задач каждой из систем. Показано соотношение задач управления качеством и управления требованиями к продукции с использованием аппарата тандемных моделей. Предложенная в данной статье модель представления системы управления требованиями и системы управления качеством продукции предлагает установление границ между процессами данных систем. Использование аппарата тандемных моделей позволяет гарантировать соблюдение всех требований, формируемых в процессе функционирования систем управления качеством и управления требованиями. Полученные результаты могут использоваться для дальнейшей формализации процессов управления качеством с целью формирования методологии построения цифровой системы управления качеством продукции в аэрокосмической отрасли.

*Ключевые слова:* управление качеством, управление требованиями, декомпозиция требований, тандемная модель.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-61-71

EDN: DYAAZX

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема управления требованиями является особо актуальной при создании современных систем проектирования многодетальных изделий сложной архитектуры, например, аэрокосмической техники [1-4]. Связано это, в первую очередь, с многоуровневым характером процесса проектирования, где система управления требованиями должна обеспечить корректную трансформацию требований заказчика к изделию в множество согласованных требований к десяткам тысяч деталей и сборочных единиц.

Большая часть известных исследований в области управления требованиями касается разработки качественных требований или требований к качеству продукции (системе) [5-11]. Не зависимо от отрасли или вида продукции,

именно от четко сформулированных, понятных и согласованных с заказчиком исходных требований к продукту, зависит степень соответствия итоговой продукции ожиданиям заказчика, а следовательно, и степень его удовлетворенности. Популярность данной темы в сфере информационных технологий обусловлена тем, что недостатки требований являются основным источником неудач проекта, и что более 40% проблем в цикле разработки программного обеспечения являются результатом низких требований к качеству [6].

Отсюда становится очевидной необходимость наличия на этапе проектирования не просто регламентированного процесса управления требованиями, но и его интеграции с процессами управления качеством. Одним из примеров такой интеграции может служить модель VMF, предложенная в работе [12], посвященной робастному проектированию. Данная модель VMF использует концепцию функции потери качества и передаточной функции для

Лесик Екатерина Сергеевна, ассистент кафедры «Прикладная информатика» (609).  
E-mail: l\_emailbox@mail.ru

представления изменений в трех областях: квадрант восприятия продукта (Product Perception Quadrant), квадрант инженерного проектирования (Engineering Design Quadrant), квадрант производства (Production Quadrant). VMF позволяет объяснить и визуализировать, как вариации передаются от одной области к другой и какие стратегические уровни доступны менеджерам проектов в отношении улучшения качества продукции. Одним из основных недостатков такой модели является ее плоская структура – одномерность модели, т.е. нет отображения зависимости совокупности различных требований друг на друга, например, влияния нескольких параметров проектирования на множество функциональных требований, что для рассмотрения вопросов детализации конструктивных требований к продукции аэрокосмической отрасли является критичным.

Еще одним примером интеграции процессов управления качеством и требованиями можно считать методологию APQP (Advanced Product Quality Planning) [13-15]. Так стандарт аэрокосмической отрасли AS9145 устанавливает требования к процессу разработки продукта посредством использования методологии APQP, включающей такие методы управления качеством как PPAP (Production Part Approval Process) и FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) [16-18]. Несмотря на то, что стандарты AS9145 [16], AS9100D [19] устанавливают требования к выполнению и документированию различных процессов предприятия, позволяя внедрить процедуры управления качеством уже на этапе разработки продукции, они не содержат описания непосредственно процессов управления требованиями.

В целом на основании рассмотренных исследований [5-12, 17, 18] можно сделать вывод, что на сегодняшний день отсутствует модель, содержащая формализованный процесс управления требованиями с внедренными процедурами управления качеством, и которую можно было наложить на аэрокосмическую отрасль без существенных изменений. В данной статье описывается первый шаг создания такой модели, а именно приводится формализация задачи управления качеством и требованиями к продукции аэрокосмической отрасли и на основании полученных свойств выводится их соотношение. Задачи указанных областей рассматриваются с точки зрения системного анализа, по причине высокой неопределенности [4], свойственной стадии проектирования аэрокосмической продукции, особенно на ее начальных этапах. За основу взята «тандемная модель» представления многоуровневой системы [20].

Данная работа может рассматриваться как часть более общего исследования по форми-

рованию методологии построения цифровой системы управления качеством в аэрокосмической отрасли с использованием модели, в основе которой лежат стандарты. Формализация процессов управления качеством является одним из первых этапов в решении поставленной задачи. Целью данного исследования является выделение соотношения между задачами управления требованиями к продукции и качеством продукции аэрокосмической отрасли. Результаты, полученные в рамках проводимого исследования и представленные в данной статье, являются частью процесса формализации рассматриваемых процессов.

Данная статья имеет следующую структуру: в разделе 2 приводится описание методов и общих теоретических положений, лежащих в основе проведенного исследования; в разделе 3 приводится таблица, содержащая полученные результаты анализа систем управления требованиями к продукции и качеством продукции на основании 16 выявленных факторов; раздел 4 содержит общее заключение по проделанной работе и интерпретацию полученных результатов исследования; в разделе 5 подведены итоги исследования.

## 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Тандемная модель представления задач управления требованиями к продукции

В проводимом исследовании в основе представления задачи управления требованиями к продукции лежит тандемная модель, одно из отличительных свойств которой заключается в том, что «модели более высоких уровней могут корректироваться по результатам вычислений на нижележащих моделях» [20]. Рассмотрим процесс проектирования изделия как итеративный процесс формирования требований к изделию. Предположим, что продукция описывается некоторым вектором ее фактических значений  $u$ , тогда процесс проектирования заключается в вычислении этих значений. Однако размерность вектора  $u$ , определяющего сложные технические изделия, может достигать порядка  $10^4$ - $10^8$  степени [1], что делает невозможным вычисление значений вектора за одну итерацию. В результате, процесс проектирования требований к изделиям сводится к членению всего процесса на множество частных проектно-конструкторских задач меньшей размерности с последующим согласованием получаемых результатов.

Назовем каждый уровень детализации системой  $S_i^j$ , где  $i = 0, 1, \dots, N^i$  – уровень детализации,  $N^i$  – общее количество уровней детализации задачи,  $j = 0, 1, \dots, N^j$  – индекс задачи одного

уровня,  $N$  – количество параллельно решаемых задач одного уровня. При этом 0-й уровень ( $S_0^0$ ) – это постановка и решение задачи формирования требований к изделию. Тогда исходные требования к изделию назовем вектором  $x_0^0$ , а решение исходной задачи –  $y_0^0$ , которое представляет собой утвержденную конструкцию и технологию изготовления изделия, или иначе, утвержденные требования ко всей технологической системе, производящей проектируемое изделие. Здесь и далее под технологической системой будет пониматься совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства (материал, заготовка, полуфабрикат и изделие) и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций [21].

При делении исходной задачи на подсистемы  $S_i^j$  существует два вида членения: вертикальное и горизонтальное. При вертикальном членении процесс проектирования рассматривается как процесс последовательной детализации проектируемого изделия. Так вначале вектор  $y_0^0$  представляет собой набор принципиальных, наиболее существенных для проекта решений, определяющих проектируемое изделие в общих чертах. Затем принятое решение  $y_0^0$  «спускается» на следующий уровень детализации. При этом необходимо отметить, что на каждом уровне проектирования окончательное решение принимается в условиях выбора из различных вариантов допустимых решений наиболее рационального из них. Иными словами, при решении каждой из задач может возникнуть несколько альтернативных решений, каждое из которых удовлетворяет входным требованиям, однако в дальнейшем детализации подлежит только одно решение, принятое на данном этапе за наиболее рациональное решение. Не исключена ситуация, когда решения, принятые ранее на одном из уровней проектирования, на последующих уровнях детализации оказываются нерациональными или вовсе нереализуемыми. В этом случае осуществляется возврат процесса проектирования в целях пересмотра принятого ранее решения. Это демонстрирует наличие связей между проектными решениями как «сверху-вниз», так и «снизу-вверх». Решения, «спускаемые вниз» являются директивными, однако с каждым уровнем детализации данные решения подвергается анализу с учетом принимаемых решений на нижестоящих уровнях. Как следствие, решения, принятые ранее на вышестоящих уровнях, могут быть пересмотрены. Таким образом, процесс проектирования требований к изделию приобретает итеративный характер.

Горизонтальный вид членения задач обусловлен лавинообразно возрастающим коли-

чеством этих проектно-конструкторских задач, размерность которых увеличивается с каждым уровнем проектирования. В целях сокращения сроков проектирования и уменьшения размерности для каждой из задач одного уровня осуществляется распараллеливание работ по проектированию. Задачи, допускающие получение законченного решения без необходимости дополнительного членения, назовем операциями. Следовательно, можно считать, что операции, являясь нижним уровнем детализации, функционируют автономно. Решения, получаемые такими элементами системы, не требуют дополнительного уточнения используемой информации от элементов других уровней системы. Однако именно по причине автономного функционирования, могут возникать ситуации, когда решения, например,  $y_i^1$  и  $y_i^2$  двух систем  $S_i^1$  и  $S_i^2$  полностью удовлетворяют полученным директивным требованиям  $x_i^1$  и  $x_i^2$  от родительской системы  $S_{i-1}^1$ , однако либо они противоречат друг другу, либо в совокупности не удовлетворяют исходным требованиям  $x_{i-1}^1$  к решению вышестоящей системы. Отсюда следует, что среди задач, решаемых родительской системой  $S_i^j$ , присутствуют:

1. Формирование требований  $x_{i+1}^j$  к решению дочерних элементов системы  $i$ -го уровня на основании принятого решения  $y_i^j$ .
2. Анализ решений  $y_{i+1}^j$ , полученных ближайшими дочерними элементами, на отсутствие противоречивости между собой и соответствие требованиям  $x_i^j$ .

При обнаружении противоречий между решениями  $y_{i+1}^j$  инициируется процесс согласования их решений и корректировки их требований  $x_{i+1}^j$ . Если элементы не могут самостоятельно прийти к компромиссу, то директивное решение по ужесточению требований  $x_{i+1}^j$  принимается родительским узлом. В случаях, если решения  $y_{i+1}^j$  не удовлетворяют требованиям  $x_i^j$ , то, вероятно, требования  $x_{i+1}^j$  были сформированы неверно, и в результате, выявляется необходимость их корректировки или изменения всего решения  $y_i^j$ . Аналогичные процедуры по изменению требований  $x_{i+1}^j$  или изменению решения  $y_i^j$  выполняются в случае, если «спущенные» требования  $x_{i+1}^j$  не могут быть выполнены, т.е. решений  $y_{i+1}^j$  не существует.

Таким образом, мы получили, что процесс проектирования как решение задачи управления требованиями можно представить в виде системы взаимосвязанных действий, имеющей древовидную структуру (рис. 1). Каждый элемент системы является также системой дей-

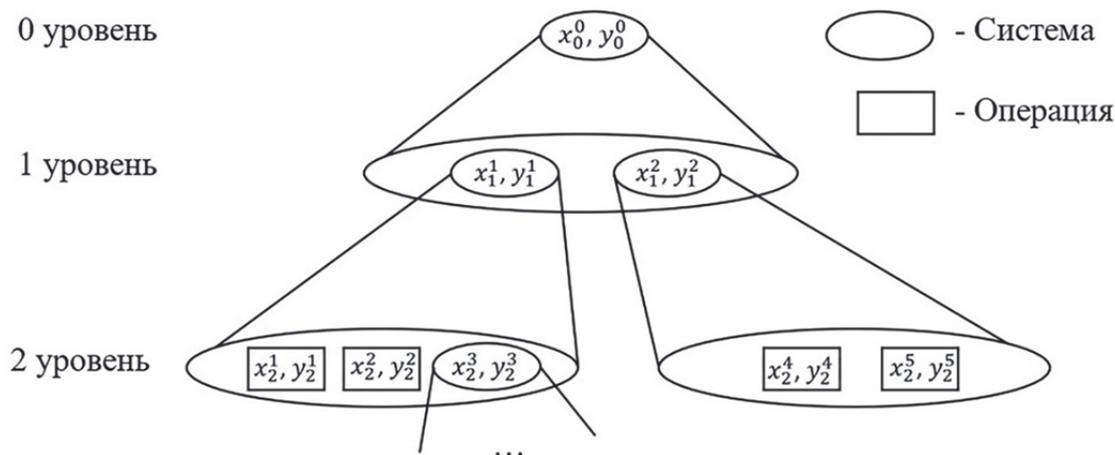


Рис. 1. Декомпозиция задачи формирования требований

ствий или элементарным действием, операцией. Взаимодействие между элементами системы может осуществляться как вертикально, так и горизонтально. На вход каждому уровню системы подается набор требований к результату его выполнения, обозначенный в данной статье как набор требований  $x_i^j$ . На выходе элемента будет некий результат его функционирования, описываемый набором фактических значений его параметров  $y_i^j$ . Далее для обозначения результата функционирования элемента используется термин «продукция». Ранее уже было сказано, что решения  $y_i^j$ , принимаемые на верхних уровнях детализации, формируют требования  $x_{i+1}^j$  к нижестоящим уровням. Очевидно, что для вычисления  $y_i^j$  на основании  $x_i^j$  элементу необходимо наличие некоего правила  $R$ , позволяющее получить требуемый результат. Оценка соответствия полученной продукции  $y_i^j$  заявленным требованиям  $x_i^j$  осуществляется посредством в общем случае булевого правила  $V$ , результатом которого является решение: «соответствует» или «не соответствует». Правила  $V$  и  $R$  различны, так как  $R$  – это, как правило, сложная математическая модель, учитывающая детализированные результаты нижестоящих элементов, т.е. размерность данного правила огромна и увеличивается по мере продвижения «вниз» по структуре формирования требований, и результатом  $R$  будут значения вектора  $y_i^j$ , в то время как правило  $V$  может быть простым сравнением: попадает ли полученное значение параметра вектора  $y_i^j$  в требуемый диапазон соответствующего параметра вектора  $x_i^j$  или соответствует ли конкретному значению. Необходимо отметить, что при проектировании изделия правила  $R$  и  $V$  можно назвать прогнозными, так как правило  $R$  изначально является «грубой» моделью, и последо-

вательно уточняется благодаря использованию решений нижестоящих узлов, которые до достижения максимального уровня детализации также являются неточными моделями и вычисляют значения своего вектора  $y_i^j$  приблизительно. Аналогично, правило  $V$  является прогнозным, т.к. решения, к которым применяется данное правило, являются приближенными, сформированными на прогнозных данных, часто имеющими не конкретные значения параметров, а интервалы значений. С каждым новым уровнем детализации границы таких интервалов сужаются, и в конце концов при достижении максимально возможного уровня детализации интервалы преобразуются в конкретные значения параметров, к которым можно применить правило оценки, дающее точный, гарантированный результат.

## 2.2. Тандемная модель представления задач управления качеством продукции

Получив общее представление о модели управления требованиями, можно приступить к рассмотрению процессов управления качеством, а именно процессов контроля качества изделий. В данном случае качество конечной продукции формируется на основании качества всех ее комплектующих, сборок, деталей и т.д., а значит, информация о качестве продукции собирается «снизу-вверх», от закупаемых материалов, комплектующих изделий к подборкам, сборкам и т.д. вплоть до поставляемого конечного изделия. Т.е. процессы контроля качества базируются на спецификации изготавливаемого изделия и могут быть представлены в виде, имеющем древовидную структуру. При этом правила проведения контроля качества (данное правило аналогично обозначенному ранее правилу  $R$ ) и правила оценки полученных результатов (данное правило аналогично обозначен-

ному ранее правилу  $V$ ) заранее известны – они прописаны в регламентах работы сотрудников, конструкторско-технологической документации, инструкциях и иной регламентирующей документации. В результате, можно сказать, что в отличие от процесса проектирования требований, где большинство решений принимается в условиях неопределенности с использованием приближенных значений показателей, в контроле качества решения принимаются исходя из измеренных значений параметров продукции, или иначе, фактических значений параметров.

Набор требований к ресурсам и продукции системы контроля качества регламентируется соответствующим документом (внутренним стандартом организации или внешним) и изменениям в ходе проведения процедур по контролю качества не подлежит. Данные требования устанавливаются по завершении стадии проектирования новой продукции на этапе ее освоения при успешном прохождении приемочных испытаний в единичном производстве и квалификационных испытаний в серийном производстве [22]. Указанные испытания подтверждают верность ранее утвержденного в документации технологического процесса и возможность предприятия изготавливать заказанную продукцию в нужном объеме и требуемого качества, то есть продукцию, отвечающую всем установленным для нее требованиям.

В результате, если наложить систему контроля качества на ранее приведенную модель системы, то окажется, что аналогично управлению требованиями для элемента системы определены параметры, устанавливающие набор входных требований  $x_i^j$  к продукции элемента системы, и параметры  $y_i^j$ , описывающие фактическое состояние полученной продукции. При этом для элемента системы установлено булево правило оценки  $V$  значений  $y_i^j$  требованиям  $x_i^j$ .

Исходя из приведенного описания систем управления требованиями и контроля качества к изделиям, можно уже сказать, что явные отличия между указанными системами заключаются в направлении реализации процесса и степени достоверности информации, на основании которой строится решение элемента системы. Так функционирование системы управления требованиями осуществляется «сверху-вниз», в то время как информация о качестве продукции собирается «снизу-вверх». При этом управление требованиями до достижения максимального уровня детализации использует приближенные данные о продукции, полученные на «грубых» моделях расчета, а значит, правило  $V$  установления соответствия расчетных параметров продукции требованиям к ним не может дать гарантированный результат, так как значение

этих параметров может измениться в процессе функционирования системы. В то же время система контроля качества основана на фактических данных, не подлежащих изменению, и как следствие, правило  $V$  дает гарантированный результат.

Другие явные отличия функционирования систем выявляются при возникновении несоответствий требованиям параметров продукции. В общем случае несоответствие на производстве может возникнуть всего по двум причинам: несоблюдение технологии изготовления или же сама технология неверна. Поиск точной причины несоответствия относится к процессам управления качеством. Несоблюдение технологии изготовления влечет принятие управленческих решений по коррекции ситуации, а именно выработке и контролю исполнения действий, которые исправят выявленное несоответствие (коррекция), и действий, устраняющих причину несоответствия (корректирующих мероприятий). Приведенные процессы управления качеством могут рассматриваться с точки зрения системы взаимосвязанных действий, где результат одного действия – продукция, формирует требования к результату другого действия. Так причина несоответствия представляет собой требование на устранение этой причины, а запланированное мероприятие является требованием к выполнению конкретных действий в конкретные сроки конкретными исполнителями.

Здесь необходимо более подробно остановиться на таких процессах, как выработка и контроль исполнения коррекций, корректирующих и предупреждающих действий (далее КиПД), где предупреждающие действия – это действия, предпринимаемые для устранения причины потенциального несоответствия или другой потенциально нежелательной ситуации [23]. Если несоответствие предотвратить не удалось, то все решения о том, что делать далее с выявленным несоответствием принимаются специальной комиссией, в которую входят «представители подразделений, компетентных в определении причин несоответствий» [24], как правило, в такую комиссию входят: представитель ОГК (отдела главного конструктора), представитель ОТГ (отдела главного технолога), представитель ОТК (отдела технического контроля), начальник или мастер цеха, в котором обнаружили несоответствие и/или в котором данное несоответствие возникло. В зависимости от уровня несоответствия данная комиссия выявляет причину несоответствия и подразделение-виновника в возникновении несоответствия, выдает задание данному подразделению на выработку КиПД, назначает ответственных за контроль исполнения назначенных мероприятий [24]. В случаях несоответствия продукции данная комиссия

может самостоятельно принять решение о возможности и необходимости исправления несоответствующей продукции, решение о приемке несоответствующей продукции с выпуском специального разрешения или решение о признании продукции браком и ее утилизации.

Таким образом, комиссия или самостоятельно вырабатывает решение по мероприятиям с несоответствием и ее причиной, или же поручает выработку мероприятий другому подразделению, однако итоговый перечень мероприятий должен пройти процедуру согласования с данной комиссией.

Что касается процессов непрерывного совершенствования процессов предприятия, которые могут касаться как технологических процессов изготовления, процессов хранения и т.д., так и процедур документооборота на предприятии, то принятие решение о необходимости внесения изменения или оценке внедрения изменений принимает руководство предприятия или же заинтересованная сторона на уровне руководителя структурного подразделения. Далее это решение постепенно прорабатывается: оценивается влияние принимаемого решения на итоговую стоимость продукции, оценивается стоимость закупки нового необходимого оборудования, внесения изменений в регламенты предприятия, переобучения персонала, отправки персонала на дополнительные курсы повышения квалификации, стоимость и сроки переоборудования цеха и т.д.

Все вышеописанные мероприятия подвергаются контролю и оценке результативности, и в случае, если принятые меры не исправили ситуацию: не было устранено несоответствие, причина оказалась установлена неверно, улучшений процесса не произошло и т.п., то процесс по выработке КиПД инициируется повторно [25]: собирается комиссия, еще раз устанавливается причина несоответствия, вырабатывается новый перечень мероприятий и т.д.

В результате, можно сделать вывод, что все решения (выработка мероприятий, оценка результативности и т.п.) и требования к ним принимаются в рамках процессов предприятия, не являются внешними по отношению к системе, а следовательно, указанные процессы планирования и обеспечения качества осуществляется аналогично процессам управления требованиями.

В тех случаях, когда причиной несоответствия является неверная технология изготовления или же в процессе эксплуатации изделия выявляется необходимость в значительном изменении технологического процесса, то такие изменения проходят определенную на предприятии процедуру, завершающуюся проведением типовых испытаний, задачей которых является «оценка эффективности и целесообразности

предлагаемых изменений в конструкции или технологии изготовления» [26]. Если же изменение незначительно, то по согласованию с заказчиком и изготовителем допускается не проводить испытания, а вносить корректировки в документацию с выпуском соответствующего извещения об изменении. Иными словами, при необходимости внесения изменений в конструкторско-технологическую документацию происходит возврат к процессу проектирования изделия, функционирование которого осуществляется в соответствии с описанным ранее итерационным подходом.

Подводя итог, можно сказать, что процессы управления качеством оперируют фактически теми данными продукции. Процессы управления требованиями (за исключением операций, как самого нижнего уровня детализации) оперируют прогнозной информацией, при этом с каждым новым уровнем детализации степень неопределенности при принятии решения сокращается. В результате можно считать, что самый нижний уровень детализации – операции управления требованиями – есть ни что иное как операции контроля качества. А следовательно, можно сделать вывод, что управление требованиями – это многократно повторяющиеся отдельные процедуры управления качеством.

### **3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМИ К ПРОДУКЦИИ И КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ**

В текущем разделе приводятся соотношения между такими областями как управление требованиями и управление качеством изделий с учетом вышеописанных положений. При этом для наглядности управление качеством было разделено на две основные подобласти: процессы контроля качества и процессы планирования и обеспечения качества. К последней области также относятся процессы, связанные с управлением несоответствиями и улучшением качества.

Полученные результаты анализа систем управления требованиями к продукции и качеством продукции представлены в виде таблицы ниже (табл. 1).

### **4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Исходя из результатов проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что управление требованиями имеет существенные различия с такими процессами управления качеством, как процессы контроля качества, однако идентичны с такими процессами, как планирование и обеспечение качества. То есть можно сделать допущение, что процессы планирования и обеспечения качества и процессы управления тре-

**Таблица 1.** Соотношение между задачами управления требованиями к продукции и качеством продукции

№	Особенность	Управление требованиями	Управление качеством	
			Контроль качества	Планирование и обеспечение качества
1	Направление процессов	«Сверху-вниз»	«Снизу-вверх»	«Сверху-вниз»
2	Характер процессов	Итеративный	Поступательный	Итеративный
3	Условия неопределенности при принятии решений $y_i^j$	Присутствуют	Отсутствуют	Присутствуют
4	Правила расчета $y_i^j$ (R)	Не фиксированы, уточняются в процессе функционирования системы	Фиксированы, являются внешними по отношению к системе	Не фиксированы, уточняются в процессе функционирования системы
5	Правила оценки соответствия $y_i^j$ и $x_i^j$ (V)	В общем случае фиксированы, определяются единожды в процессе функционирования системы	Фиксированы, являются внешними по отношению к системе	В общем случае фиксированы, определяются единожды в процессе функционирования системы
6	Фиксированность $y_i^j$	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
7	Фиксированность $x_i^j$	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
8	Варианты решений $y_i^j$	Присутствуют	Отсутствуют	Присутствуют
9	Характер решения $y_i^j$	Прогнозные данные	Фактические данные	Прогнозные данные
10	Автономность процедур вычисления $y_i^j$	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует
11	Процедура формирования требований $x_{i+1}^j$	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
12	Получение обратной связи $y_{i+1}^j$	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
13	Оценка $y_{i+1}^j$ (удовлетворение $x_i^j$ , выявление противоречий между $y_{i+1}^j$ )	Присутствует	Отсутствует	Присутствует
14	Процедура согласования $y_{i+1}^j$	Присутствует	Отсутствует	Присутствует

№	Особенность	Управление требованиями	Управление качеством	
			Контроль качества	Планирование и обеспечение качества
15	Зависимость $y_0^0$ от $y_i^j$	Присутствует	Присутствует	Присутствует
16	Обязательность реализации всех требований $x_i^j$	Отсутствует	Присутствует	Отсутствует

бованиями имеют общую структуру. Учитывая итеративный характер процесса управления требованиями, где на нижнем уровне детализации используются строгие правила расчета и установления соответствия результатов исходным требованиям, т.е. выполняются процедуры аналогичные процедурам контроля качества, можно убедиться, что управление требованиями – это многократно повторяющиеся процедуры контроля качества.

Данное утверждение не противоречит результатам исследования [10], где указывается важность применения цикла PDCA в измерении качества в требованиях. Существует ряд других работ, предлагающих некоторое соотношение систем управления качеством и управления требованиями, однако, как правило, предлагаемые критерии сравнения носят либо не формальный характер, либо рассматривают качество как свойство требований, но не рассматривают непосредственно процессы данных областей. Так в статье [28] связь между управлением требованиями и управлением качеством устанавливается через выполнение требований к документированию процессов, норм и правил в соответствии с принципами системы менеджмента качества, однако принципы носят субъективную оценку исполнения, например, принцип удобства и реалистичности документации для пользователей. Графовая модель, предложенная в [11], представления требований к программным средствам, аналогично [5], рассматривает требования как объекты спецификации, характеризующихся критериями качества. Предложенная в данной статье модель представления системы управления требованиями и системы управления качеством продукции предлагает установление границ между процессами данных систем.

## 5. ВЫВОДЫ

Основным результатом исследования является определение свойств представленных моделей систем управления требованиями и управления качеством к изделиям, а также соотношение между ними.

В статье предложена древовидная модель

представления задач управления требованиями и управления качеством к изделиям, взаимодействие между элементами которой осуществляется посредством горизонтальных и вертикальных связей, выраженных посредством набора требований к результатам функционирования элементов и набора параметров, описывающих полученные результаты.

Использование предложенной модели позволяет гарантировать соблюдение всех требований, формируемых в процессе функционирования систем управления качеством и управления требованиями.

Рассмотрена специфика задач управления требованиями и управления качеством продукции.

Полученные результаты могут использоваться для дальнейшей формализации процессов управления качеством с целью формирования методологии построения цифровой системы управления качеством в аэрокосмической отрасли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, О.Л. САПР: формирование и функционирование проектных модулей / О.Л. Смирнов, С.Н. Падалко, С.А. Пиявский. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 57.
2. Рябченко, А.В. Модель взаимодействия научно-технического и производственно-технологического уровней структурной организации корпораций ракетно-космической промышленности при создании новой ракетно-космической техники / А.В. Рябченко // Организатор производства. – 2014. – № 4(63). – С. 52-62.
3. Макаренко, Н.О. Анализ современного состояния предприятий ракетно-космической промышленности / Н.О. Макаренко // Менеджмент социальных и экономических систем. – 2016. – № 4. – С. 16-22.
4. Петров М.Н. Отличительные черты современных проектов в ракетно-космической отрасли / М.Н. Петров // Актуальные вопросы экономики и управления: материалы V Междунар. науч. конф. – М.: Буки-Веди, 2017. – С. 28-34.
5. Firesmith Donald Using Quality Models to Engineer

- Quality Requirements // Journal of Object Technology. 2003. № 2. pp. 67-75. doi: 10.5381/jot.2003.2.5.c6.
6. Denger Christian, Olsson Thomas Quality Assurance in Requirements Engineering // Engineering and Managing Software Requirements. 2005. doi: 10.1007/3-540-28244-0\_8.
  7. Unterkalmsteiner Michael, Gorschek Tony Requirements Quality Assurance in Industry: Why, What and How? // Lecture Notes in Computer Science. 2017. doi: 10153. 10.1007/978-3-319-54045-0\_6.
  8. Saavedra Roxana, Ballejos Luciana C., Ale Mariel Alejandra Software Requirements Quality Evaluation: State of the art and research challenges // Материалы конференции XIV Simposio Argentino de Ingenieria de Software (ASSE). 2013. № 42. pp.240-257.
  9. Karl Wieggers Writing quality requirements // Software Development. 1999. № 7(5). pp. 44-48.
  10. Alorage Ahmed Quality in Requirements Engineering: methodologies and knowledge. URL: [https://www.researchgate.net/publication/312023292\\_Quality\\_in\\_Requirements\\_Engineering\\_methodologies\\_and\\_knowledge](https://www.researchgate.net/publication/312023292_Quality_in_Requirements_Engineering_methodologies_and_knowledge) (дата обращения: 14.12.2020)
  11. Чиркова, А.Ю. Метод повышения качества спецификации требований к программно-му средству / А.Ю. Чиркова, В.В. Бахтизин // Доклады БГУИР. – 2015. – № 6(92). – С. 10-16.
  12. The variation management framework (VMF): A unifying graphical representation of robust design / Howard T.J., Eifler T., Pedersen S.N., Gohler S.M., Boorla S.M., Christensen M.E. // Quality Engineering. 2017. № 29(4). pp. 563-572. doi: 10.1080/08982112.2016.1272121.
  13. Contributions concerning the possibility of implementing the APQP concept in the aerospace industry / Pop A.B., Titu M.A., Oprean C., Ceoceca C., Sandu A.V., Titu S. // MATEC Web of Conferences 178, 08013. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201817808013.
  14. Rudolf L., Roszak M.T. Tools of product quality planning in the production part approval process // Archives of Materials Science and Engineering. 2022. № 118(2). pp.67-74. doi: 10.5604/01.3001.0016.2591.
  15. Касьянов, С.В. Производство автомобильной техники: информационно-технологическое сопровождение / С.В. Касьянов, В.Д. Могилевец // Компетентность. – 2021. – № 3. – С. 45-49.
  16. SAE AS9145:2016. Requirements for Advanced Product Quality Planning and Production Part Approval Process // SAE International.
  17. Кудряшов, В. Управление инженерными изменениями на предприятиях — поставщиках автомобильных компонентов / В. Кудряшов // Методы менеджмента качества. – 2019. – №2. – URL: <https://ria-stk.ru/mmqa/detail.php?ID=175730> (дата обращения: 11.01.2021)
  18. Hermans Johanna, Liu Yang Quality Management in the New Product Development: a PPA Approach // Quality Innovation Prosperity. 2013. № 17. doi: 10.12776/qip.v17i2.150
  19. AS9100D:2016. Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space and Defense Organizations // International Organization for Standardization.
  20. Падалко, С.Н. Определение тандемной модели как базовой формы представления многоуровневых математических моделей при проектировании аэрокосмической техники / С.Н. Падалко // Труды МАИ. – 2013. – № 71. – С. 1-13.
  21. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения. Введ. 1986-06-30. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 9 с.
  22. ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство (СПП). Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. Введ. 2017-07-01. Москва: Стандартинформ, 2018. – 15 с.
  23. ISO 9000:2015. Quality management systems - Fundamentals and vocabulary // ISO.
  24. Зубояров, О.Р. Процесс управления корректирующими и предупреждающими действиями на металлургическом предприятии / О.Р. Зубояров // Экономика региона. – 2010. – № 4. – С. 215-220.
  25. Гадисов, Р.Э. Анализ и улучшение процесса управления несоответствующей продукцией / Р.Э. Гадисов, Ю.Г. Малахова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2014. – С. 254-255.
  26. ГОСТ 15.309-98. Система разработки и постановки продукции на производство (СПП). Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения. Введ. 2000-01-01. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.
  27. Белов, А.В. Применение метода анализа видов и последствий потенциальных дефектов в строительных организациях / А.В. Белов // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2013. – С. 39-44.
  28. Федотов, Л.В. Система управления требованиями для обеспечения безопасности полетов на основе систем управления качеством / Л.В. Федотов, А.Ю. Дятлов, М.В. Ермоленко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т.14. – № 4(2). – С. 530-534.

## ANALYSIS OF THE OBJECTIVES OF MANAGING PRODUCT REQUIREMENTS AND PRODUCT QUALITY

© 2023 E.S. Lesik

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The article is devoted to the issues of product requirements management and product quality management in the aerospace industry. The relevance of the topic of requirements management and product quality is shown. The necessity of developing a model containing a formalized requirements management process with implemented quality management procedures is substantiated. The purpose of the research is to highlight the properties of the tasks of managing requirements for products and managing product quality and establishing the relationship between them. The tasks of managing requirements for products are considered on the example of designing a product as a key stage in the formation of requirements for manufactured products. The analysis of the tasks of product quality management is based on the process of quality control of manufactured products, as the process of establishing compliance the actual values of the parameters that describe the product with the requirements for this product. The article presents the structure and properties of the tasks of requirements management systems for products and product quality management based on the tandem model, the rules for the interaction of model elements are also given, and the place of tasks of quality management systems in solving the tasks of the requirements management system is established. The specifics of the key tasks of each of the systems are considered. The relationship between the tasks of quality management and product requirements management using the apparatus of tandem models is shown. The model of representation of the requirements management system and the product quality management system proposed in this article suggests the establishment of boundaries between the processes of these systems. The use of the apparatus of tandem models makes it possible to guarantee compliance with all requirements formed in the process of functioning of quality management and requirements management systems. The results obtained can be used to further formalization of quality management processes in order to form a methodology for designing a digital product quality management system in the aerospace industry.

**Keywords:** quality management, requirements management, requirements decomposition, tandem model.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-2-61-71

EDN: DYAAZX

### REFERENCES

1. *Smirnov, O.L.* SAPR: formirovanie i funkcionirovanie proektnyh modulej / O.L. Smirnov, S.N. Padalko, S.A. Piyavskij. – M.: Mashinostroenie, 1987. – S. 57.
2. *Ryabchenko, A.V.* Model' vzaimodejstviya nauchno-tehnicheskogo i proizvodstvenno-tehnologicheskogo urovnej strukturnoj organizacii korporacij raketno-kosmicheskoy promyshlennosti pri sozdanii novoy raketno-kosmicheskoy tekhniki / A.V. Ryabchenko // Organizator proizvodstva. – 2014. – № 4(63). – S. 52-62.
3. *Makarenko, N.O.* Analiz sovremennogo sostoyaniya predpriyatij raketno-kosmicheskoy promyshlennosti / N.O. Makarenko // Menedzhment social'nyh i ekonomicheskikh sistem. – 2016. – № 4. – S. 16-22.
4. *Petrov M.N.* Otlichitel'nye cherty sovremennyh proektov v raketno-kosmicheskoy otrasli / M.N. Petrov // Aktual'nye voprosy ekonomiki i upravleniya: materialy V Mezhdunar. nauch. konf. – M.: Buki-Vedi, 2017. – S. 28-34.
5. *Firesmith Donald* Using Quality Models to Engineer Quality Requirements // Journal of Object Technology. 2003. № 2. pp. 67-75. doi: 10.5381/jot.2003.2.5.c6.
6. *Denger Christian, Olsson Thomas* Quality Assurance in Requirements Engineering // Engineering and Managing Software Requirements. 2005. doi: 10.1007/3-540-28244-0\_8.
7. *Unterkalmsteiner Michael, Gorschek Tony* Requirements Quality Assurance in Industry: Why, What and How? // Lecture Notes in Computer Science. 2017. doi: 10153. 10.1007/978-3-319-54045-0\_6.
8. *Saavedra Roxana, Ballejos Luciana C., Ale Mariel Alejandra* Software Requirements Quality Evaluation: State of the art and research challenges // Materialy konferencii XIV Simposio Argentino de Ingenieria de Software (ASSE). 2013. № 42. pp.240-257.
9. *Karl Wiegers* Writing quality requirements // Software Development. 1999. № 7(5). pp. 44-48.
10. *Alorage Ahmed* Quality in Requirements Engineering: methodologies and knowledge. URL: [https://www.researchgate.net/publication/312023292\\_Quality\\_in\\_Requirements\\_Engineering\\_methodologies\\_and\\_knowledge](https://www.researchgate.net/publication/312023292_Quality_in_Requirements_Engineering_methodologies_and_knowledge) (data obrashcheniya: 14.12.2020)
11. *Chirkova, A.Yu.* Metod povysheniya kachestva specifikacii trebovanij k programmno-mu sredstvu / A.YU. Chirkova, V.V. Bahtizin // Doklady BGUIR. - 2015. – № 6(92). – S. 10-16.
12. *The variation management framework (VMF): A unifying graphical representation of robust design / Howard T.J., Eifler T., Pedersen S.N., Gohler S.M., Boorla S.M., Christensen M.E.* // Quality Engineering. 2017. № 29(4). pp. 563-572. doi: 10.1080/08982112.2016.1272121.

13. Contributions concerning the possibility of implementing the APQP concept in the aerospace industry / Pop A.B., Titu M.A., Oprean C., Ceocea C., Sandu A.V., Titu S. // MATEC Web of Conferences 178, 08013. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201817808013.
14. Rudolf L., Roszak M.T. Tools of product quality planning in the production part approval process // Archives of Materials Science and Engineering. 2022. № 118(2). pp. 67-74. doi: 10.5604/01.3001.0016.2591.
15. Kas'yanov, S.V. Proizvodstvo avtomobil'noj tekhniki: informacionno-tehnologicheskoe soprovozhdenie / S.V. Kas'yanov, V.D. Mogilevec // Kompetentnost'. - 2021. - № 3. - S. 45-49.
16. SAE AS9145:2016. Requirements for Advanced Product Quality Planning and Production Part Approval Process // SAE International.
17. Kudryashov, V. Upravlenie inzhenernymi izmeneniyami na predpriyatiyah — postavshchikah avtomobil'nyh komponentov / V. Kudryashov // Metody menedzhmenta kachestva. - 2019. - №2. - URL: <https://ria-stk.ru/mmq/adetail.php?ID=175730> (data obrashcheniya: 11.01.2021)
18. Hermans Johanna, Liu Yang Quality Management in the New Product Development: a PPAP Approach // Quality Innovation Prosperity. 2013. № 17. doi: 10.12776/qip.v17i2.150
19. AS9100D:2016. Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space and Defense Organizations // International Organization for Standardization.
20. Padalko, S.N. Opredelenie tandemnoj modeli kak bazovoj formy predstavleniya mnogourovnevnyh matematicheskikh modelej pri proektirovanii aerokosmicheskoy tekhniki / S.N. Padalko // Trudy MAI. - 2013. - № 71. - S. 1-13.
21. GOST 27.004-85. Nadezhnost' v tekhnike (SSNT). Sistemy tekhnologicheskije. Terminy i opredeleniya. Vved. 1986-06-30. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2002. 9 s.
22. GOST R 15.301-2016. Sistema razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo (SRPP). Produkcija proizvodstvenno-tehnicheskogo naznacheniya. Poryadok razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo. Vved. 2017-07-01. Moskva: Standartinform, 2018. – 15 s.
23. ISO 9000:2015. Quality management systems - Fundamentals and vocabulary // ISO.
24. Zuboyarov, O.R. Process upravleniya korrektruyushchimi i preduprezhdayushchimi dejstvuyami na metallurgicheskom predpriyatii / O.R. Zuboyarov // Ekonomika regiona. – 2010. – № 4. – S. 215-220.
25. Gadisov, R.E. Analiz i uluchshenie processa upravleniya nesootvetstvuyushchej produkciej / R.E. Gadisov, YU.G. Malahova // Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavтики. – 2014. – S. 254-255.
26. GOST 15.309-98. Sistema razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo (SRPP). Ispytaniya i priemka vypuskaemoj produkcii. Osnovnye polozheniya. Vved. 2000-01-01. – M.: Standartinform, 2008. – 16 s.
27. Belov, A.V. Primenenie metoda analiza vidov i posledstvuj potencial'nyh defektov v stroitel'nyh organizacijah / A.V. Belov // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo social'no-ekonomicheskogo universiteta. – 2013. – S. 39-44.
28. Fedotov, L.V. Sistema upravleniya trebovaniyami dlya obespecheniya bezopasnosti poletov na osnove sistem upravleniya kachestvom / L.V. Fedotov, A.YU. Dyatlov, M.V. Ermolenko // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2012. – T.14. – № 4(2). – S. 530-534.