

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОРАЗОВЫХ ГОЛОВНЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ

© 2024 Н.В. Родионов, М.В. Макарьянц

Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс»
(АО «РКЦ «Прогресс»), г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 23.09.2024

В статье приведены результаты экспертной оценки показателей качества технологий изготовления баллонов высокого давления при проектировании многоразовых головных обтекателей ракет-носителей космического назначения. Сформулирована проблема исследования, которая характеризуется несоответствием уровня качества технологий изготовления баллонов высокого давления требованиям к многоразовым головным обтекателям ракет-носителей космического назначения. Поставлена задача в определении признаков технологий изготовления баллонов высокого давления, подлежащих усовершенствованию в обеспечение проектирования многоразовых головных обтекателей. Решение поставленной задачи представляет собой анализ и обобщение результатов экспертной оценки технологий изготовления баллонов высокого давления. Оценка качества технологий изготовления баллонов высокого давления проведена с использованием модифицированного метода функции развертывания качества (*quality function deployment* – QFD). В исследовании с привлечением ведущих специалистов в области создания головных обтекателей ракет-носителей космического назначения осуществлена экспертная оценка: весов значимости показателей качества, уровней влияния признаков технических решений на развитие показателей качества, взаимосвязь признаков, ранги качества технических решений, ранги качества признаков технических решений. Результат исследования характеризуется тем, что для разработки многоразовых головных обтекателей ракет-носителей космического назначения необходимо увеличивать прочность баллонов высокого давления, а также увеличивать коррозионную стойкость баллонов высокого давления. Актуальность исследования заключается в совершенствовании проектирования новой техники при возможном планировании модернизации перспективных ракет-носителей. Новизна исследования заключается в модификации метода функции развертывания качества QFD в части определения весов значимости показателей качества, а также рангов качества признаков технических решений.

Ключевые слова: экспертная оценка, метод функции развертывания качества, техническое решение, качество.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-437-445

EDN: OTTKRR

ВВЕДЕНИЕ

Головной обтекатель ракеты-носителя космического назначения предназначен для защиты полезной нагрузки ракеты-носителя от аэродинамических, тепловых, и акустических нагрузок с момента запуска ракеты-носителя до отделения створок головного обтекателя в космическом пространстве. Проведен обзор запатентованных технических решений в отношении головного обтекателя, размещенных в международной патентной базе данных [1]. В результате обзора запатентованных технических решений выделено семейство технических решений, которое относится к многоразовым головным об-

текателям. Многоразовый головной обтекатель предназначен для повторного использования после проведения его штатной эксплуатации. Результат анализа уровня техники по теме головных обтекателей показал, что стоимость создания головного обтекателя может достигать 10 % стоимости запуска ракеты-носителя.

Повторное использование головного обтекателя позволяет сократить стоимость одного запуска ракеты-носителя, а также время на подготовку к очередному пуску ракеты-носителя [2]. Далее (рис. 1) представлена траектория полета возвращаемого головного обтекателя.

Далее (рис. 2) представлены фрагменты отработки технологии возврата головного обтекателя на парашюте американской компанией «SpaceX» и швейцарской компанией «RUAG» [3-4].

Как правило в состав многоразовых обтекателей входят баллоны высокого давления, которые предназначены для хранения газа (например, азот, гелий). При этом баллоны высокого давления относятся к системе разделения ство-

Родионов Никита Вадимович, соискатель ученой степени, экономист.

E-mail: rodionovnikitavdimovich@yandex.ru

Макарьянц Михаил Викторович, заслуженный конструктор Российской Федерации, заместитель главного конструктора.

E-mail: Makaryants.MV@samspace.ru



Рис. 1. Траектория полета возвращаемого головного обтекателя



а)



б)

Рис. 2. Фрагменты отработки технологии возврата головного обтекателя:

а) американской компанией «SpaceX», б) швейцарской компанией «RUAG»

рок головного обтекателя. Газ, хранящийся в баллонах высокого давления, поступает к пневмоустройствам для отделения створок головного обтекателя в космическом пространстве.

Объектом исследования являются запатентованные технические решения по технологиям изготовления баллонов высокого давления [5-10]. Далее (рис. 3,4) представлены объекты исследования, подлежащие оценке качества при разработке многоразовых головных обтекателей.

В результате проведенного обзора технических решений [5-10] отмечено их несоответствие требованиям многоразовых головных обтекателей и в связи с этим поставлена проблема отсутствия технических решений, удовлетворя-

ющих в полном объеме достижения требований баллонов высокого давления при разработке многоразовых головных обтекателей.

В обеспечение решения проблемы определены следующие задачи исследования:

1. Формирование показателей качества к разрабатываемым технологиям изготовления баллонов высокого давления при проектировании многоразовых головных обтекателей.
2. Проведение оценки технического уровня признаков технических решений.
3. Определение рангов качества технических решений.
4. Определение тенденций развития технических решений.

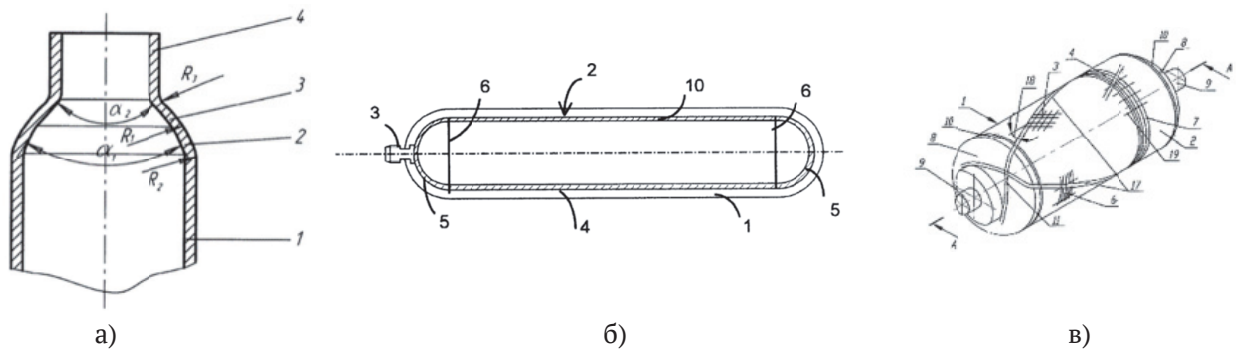


Рис. 3. Баллоны высокого давления:
а) патент РФ № 2246371, б) патент РФ № 2289062 в) патент РФ № 2395749

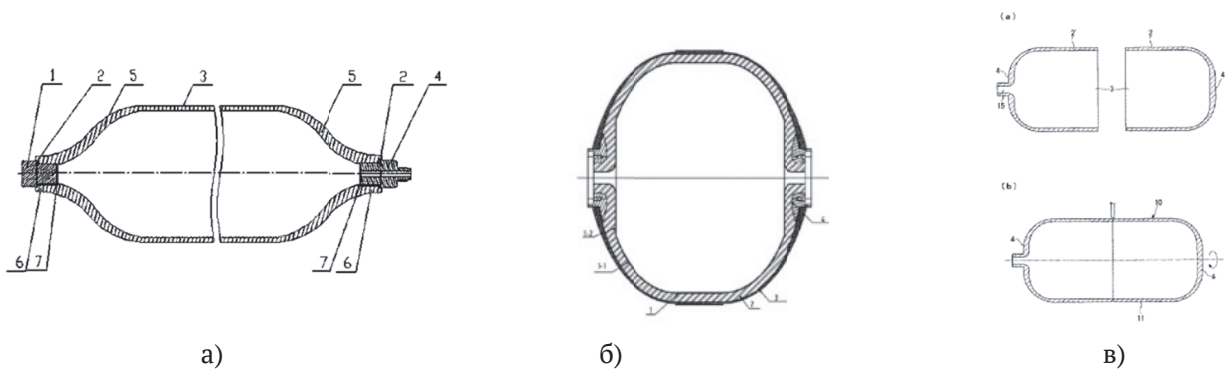


Рис. 4. Баллоны высокого давления:
а) патент CN № 107448771, б) патент CN № 104948901 в) патент JP № 2005337391

Предметом исследования является описание модифицированного метода функции развертывания качества *QFD*, предназначенного для оценки качества запатентованных технических решений на примере способов изготовления баллонов высокого давления при проектировании многоразовых головных обтекателей ракет-носителей.

Актуальность исследования заключается в совершенствовании проектирования новой техники при возможном планировании модернизации перспективных ракет-носителей.

Новизна исследования заключается в модификации метода функции развертывания качества *QFD* в части определения весов значимости показателей качества, а также рангов качества признаков технических решений.

Апробация модифицированной модели оценки качества запатентованных технических решений по теме способов изготовления баллонов высокого давления при проектировании многоразовых головных обтекателей ракет-носителей реализована с привлечением ведущих специалистов акционерного общества «Ракетно-космический центр «Прогресс».

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведен обзор исследований по теме описания метода *QFD* [11-14]. Результаты исследования показали, что метод *QFD* используется на

предприятии при проектировании новой техники и способствует оценке уровня взаимосвязи технических показателей и требований потребителей с последующим определением минимального объема технических показателей, подлежащих усовершенствованию для удовлетворения требований потребителей к разрабатываемой технике. В связи с тем, что оценка качества технических решений не может быть проведена по установленному алгоритму метода *QFD* [11-14], в исследовании приведены сведения об описании и апробации модифицированного метода *QFD* применительно к оценке качества технических решений. Далее (рис. 5) изображена схема модифицированного метода *QFD*.

По рис. 5 отметим, что модифицированный метод *QFD* используется в следующей последовательности действий:

1. В блоке № 1 экспертами построчно указываются показатели качества оцениваемых технических решений.

2. В блоке № 2 экспертами указываются построчно экспертные оценки весов значимости оцениваемых показателей качества технических решений. При этом предложена следующая шкала экспертных оценок, разработанная на основе классического метода *QFD* [15]: 1 – показатель качества не важен; 3 – показатель качества менее важен; 9 – показатель качества важен.

3. В блоке № 4 экспертами в каждом столбце указываются признаки оцениваемых техниче-

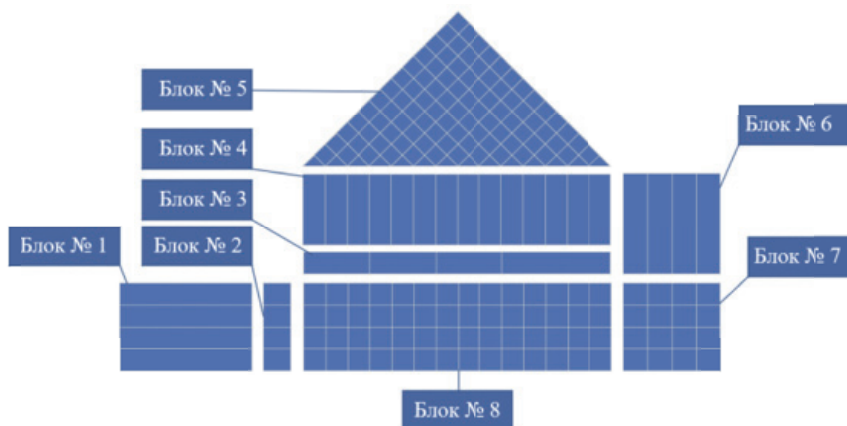


Рис. 5. Схема модифицированного метода QFD

ских решений. При этом оценка признаков осуществляется с их сопоставлением с реперными признаками технического решения, имеющего самую раннюю дату опубликования.

4. В блоке № 3 экспертами формируются названия групп признаков технических решений.

5. В блоке № 5 в клетках экспертами указывается символ «+» в случае взаимосвязи сопоставляемых признаков (пересечения диагоналей треугольной формы).

6. В блоке № 6 экспертами указываются референтные данные (регистрационный номер, дата опубликования) оцениваемых технических решений и реперного технического решения.

7. В блоке № 7 каждой клетке по показателям качества экспертами присваиваются

ранги качества совершенства или несовершенства оцениваемых технических решений относительно реперного технического решения. Далее (табл. 1) приведена шкала экспертных оценок, разработанная на основе исследования [15].

По табл. 1 отметим, что относительно реперного технического решения происходит сравнительно-парная экспертная оценка технических решений.

В блоке № 8 экспертами оценивается уровень влияния оцениваемого признака технического решения на показатель качества. При этом используются следующие экспертные оценки: 1 – слабый уровень; 3 – средний уровень; 9 – высокий уровень [16].

Таблица 1. Экспертные оценки модифицированного метода QFD

Значение экспертной оценки	Характеристика
-5	Очень сильный уровень превосходства реперного технического решения относительно оцениваемого технического решения
-4	Сильный уровень превосходства реперного технического решения относительно оцениваемого технического решения
-3	Средний уровень превосходства реперного технического решения относительно оцениваемого технического решения
-2	Слабый уровень превосходства реперного технического решения относительно оцениваемого технического решения
-1	Очень слабый уровень превосходства реперного технического решения относительно оцениваемого технического решения
0	Реперное техническое решение на одном уровне с оцениваемым техническим решением
1	Очень слабый уровень превосходства оцениваемого технического решения относительно реперного технического решения
2	Слабый уровень превосходства оцениваемого технического решения относительно реперного технического решения
3	Средний уровень превосходства оцениваемого технического решения относительно реперного технического решения
4	Сильный уровень превосходства оцениваемого технического решения относительно реперного технического решения
5	Очень сильный уровень превосходства оцениваемого технического решения относительно реперного технического решения

экспертной комиссией сформированы наиболее значимые признаки технических решений по теме технологий изготовления баллонов высокого давления, а также осуществлена в отношении них экспертная оценка. Далее (рис. 7) изображен график, иллюстрирующий уровень показателей качества технических решений.

По рис. 7 отметим, что наиболее значимыми показателями качества являются: повышение прочности конструкции, увеличение

коррозионной стойкости баллонов. К наименее значимым показателям относятся: увеличение точности обработки конструкции, а также увеличение циклической стойкости. Далее (рис. 8) изображена диаграмма, отражающая ранги качества наиболее приоритетных признаков технических решений, которые существенно превосходят по техническому уровню относительно признаков реперного технического решения.

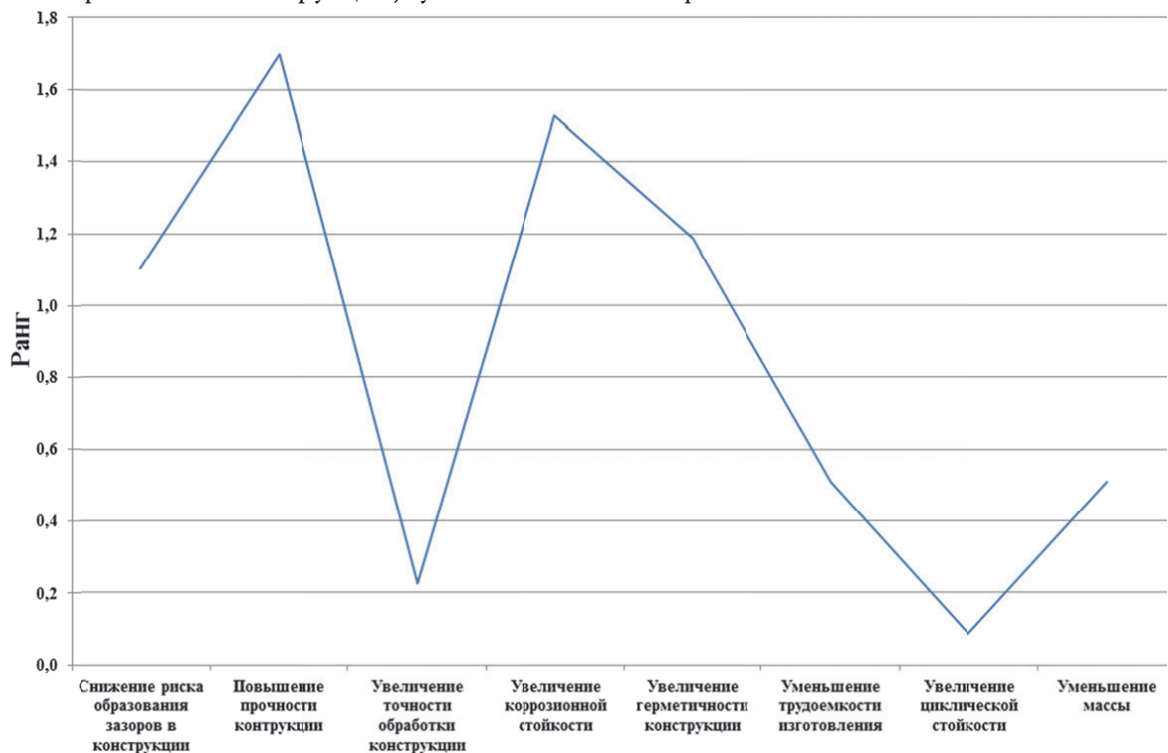


Рис. 7. Результаты оценки значимости показателей качества технических решений

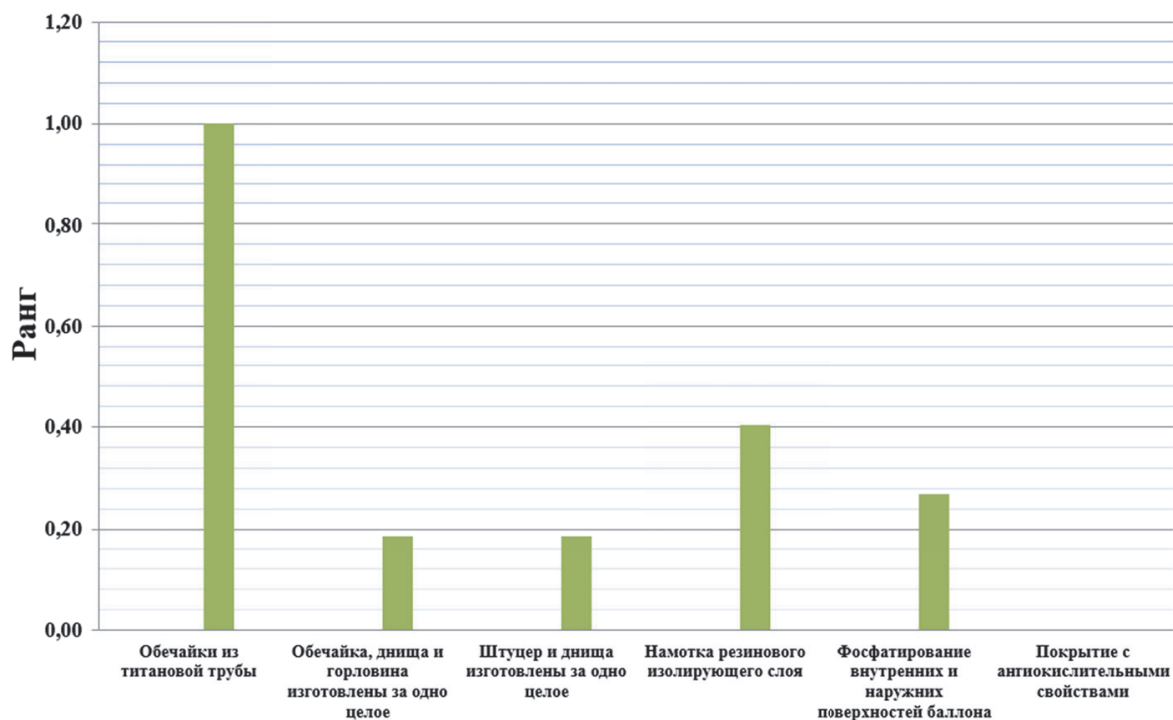


Рис. 8. Результаты оценки рангов качества признаков технических решений

По рис. 8 отметим, что приведены данные о наиболее качественных конструктивных и технологических признаках баллонов высокого давления. При этом высокой значимостью по сравнению с другими признаками обладает признак, характеризуемый обечайками, полученными из титановой трубы. Далее (рис. 9) приведены данные о рангах качества технических решений.

По рис. 9 отметим, что проведена оценка технического уровня запатентованных изобретений, относящихся к способам изготовления баллонов высокого давления. При этом к изобретениям, характеризующимся высоким техническим уровнем, относятся технические решения аддитивного производства баллонов высокого давления с применением композиционных материалов.

Обобщая результаты исследования отметим, что определение значений рангов (рис. 7-9) осуществлено на основе показателя нормализации [16]. Результат оценки технических решений экспертной комиссией по формулам (1-4) характеризуется высоким уровнем согласованности значений экспертных оценок, рассчитанных с использованием коэффициента конкордации Кендалла и составляет 1,17.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, осуществлена экспертная оценка качества технических решений, относящихся к способам изготовления баллонов высокого давления. В соответствии с поставленными задачами исследования определены требования потенциальных заказчиков при проектировании многоразовых головных обтекателей ракет-носителей космического назначения в виде следующих показателей качества: снижение риска образования зазоров в конструкции, повышение прочности конструкции, увеличение

точности обработки конструкции, увеличение коррозионной стойкости, увеличение герметичности конструкции, уменьшение трудоемкости изготовления, увеличение циклической стойкости и уменьшение массы конструкции. Также установлены наиболее приоритетные признаки технических решений по оптимальным значениям экспертных оценок показателей качества относительно реперного технического решения (Пат. 2289062 (РФ)): обечайки выполнены из титановой трубы, намотка резинового изолирующего слоя, а также фосфатирование внутренних и внешних поверхностей баллона. Проведена экспертная оценка технического уровня изобретений, которая характеризуется тем, что технологии изготовления баллонов высокого давления (Pat. 107448771 (CN), Pat. 2005337391 (JP)) обладают наивысшим рангом качества относительно реперного технического решения. Кроме того, тенденция развития технических решений в области способов изготовления баллонов высокого давления характеризуется повышением прочности конструкции, а также увеличением коррозионной стойкости конструкции. Установлено, что технические решения (Pat. 107448771 (CN), Pat. 2005337391 (JP)) удовлетворяют требованиям при проектировании многоразовых головных обтекателей ракет космического назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patentscope the world intellectual property organization (WIPO). – URL: <https://www.wipo.int/patentscope/ru/> (дата обращения 20.08.2024).
2. Петрищев В.Ф. Многоразовая створка головного обтекателя ракеты-носителя и способ ее посадки: Пат. 2816372 (РФ). 2024.
3. SpaceX fairing recovery attempts (2017–2022). – URL: <https://www.elonx.net/spacex-fairing-recovery-attempts-2017-2022/> (дата обращения 25.08.2024).

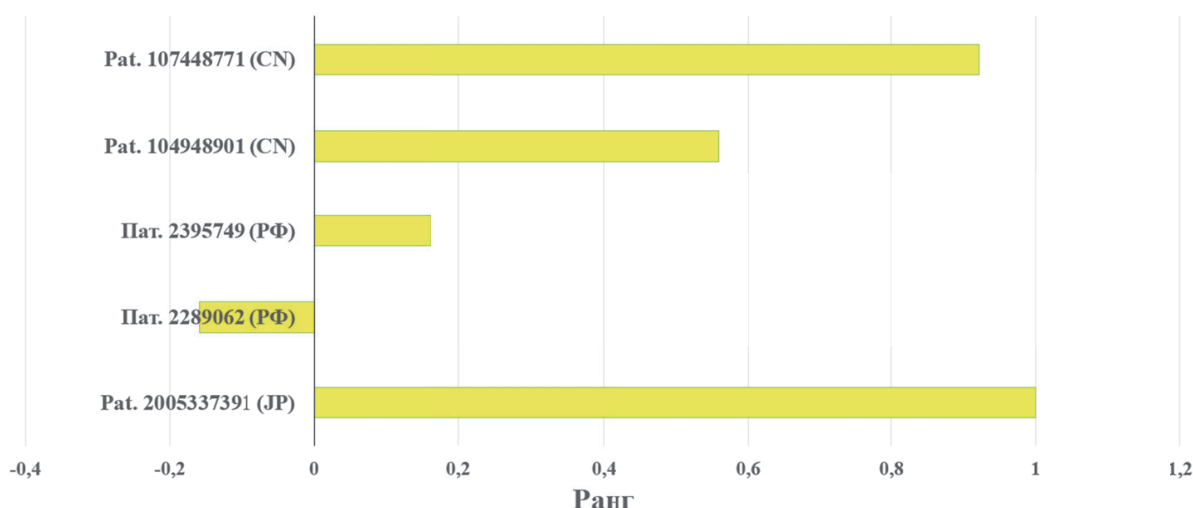


Рис. 9. Результаты оценки рангов качества технических решений

- RUAG Reusable Payload Fairing – презентация компании RUAG URL: <https://www.ruag.com> (дата обращения 21.08.2024).
- Федулов С.А. Способ изготовления баллонов высокого давления и баллон высокого давления: Пат. 2246371 (РФ). 2005.
- Клюнин О.С., Елкин Н.М. Металлопластиковый баллон высокого давления и способ его изготовления: Пат. 2289062 (РФ). 2006.
- Яиков В.П. Способ изготовления баллона высокого давления из полимерных композиционных материалов и баллон высокого давления из полимерных композиционных материалов: Пат. 2395749 (РФ). 2010.
- Chunxue W., Yongfeng Z., Fangjie R., Chunfeng D. Titanium alloy high-pressure seamless gas cylinder with large volume, and manufacturing method: Pat. 107448771 (CN). 2017.
- Guiping Y., Zeyong H., Shuai G. L., Defeng D., Zhibin Z. Manufacturing method of high-temperature and high-pressure gas cylinder with thin-wall metal lining structure: Pat. 104948901 (CN). 2015.
- Takaomi I., Toru T. Manufacturing method of liner for gas cylinder, liner for gas cylinder and gas cylinder: Pat. 2005337391 (JP). 2005.
- Ishii, Y. Trend analysis of technology by using F-trem japanese patent and core technology clarification with Quality Function Deployment (QFD) approach / Y. Ishii, S. Haruyama // Salud, Ciencia y Tecnología. – 2022. – Vol. 2. – PP. 196-196.
- Cristiano, J.J. Key factors in the successful application of quality function deployment (QFD) / J.J. Cristiano, K.L. Jeffrey, C.C. White // IEEE transactions on engineering management. – 2001. – Vol. 48. – №. 1. – PP. 81-95.
- Глудкин, О.П. Управление качеством / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин. М.: Изд-во Горячая линия – Телеком. – 2001. – 600 с.
- Брагин, Ю.В. Путь QFD: проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей / Ю.В. Брагин, В.Ф. Корольков. – Ярославль: Изд-во Центр качества. – 2003. – 239 с.
- Стрижов, В.В. Объективизация экспертных оценок, выставленных в ранговых шкалах / В.В. Стрижов, Т.В. Казакова // Математические методы распознавания образов. – 2007. – Т. 13. – № 1. – С. 209-212.
- Вашуков, Ю.А. QFD: Разработка продукции и технологических процессов на основе требований и ожиданий потребителей / Ю.А. Вашуков, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та. – 2012. – 32 с.

MODEL OF THE ASSESSMENT OF QUALITY OF MANUFACTURING TECHNIQUES OF HIGH-PRESSURE TANKS AT DESIGN OF THE REUSABLE HEAD FAIRING

© 2024 N.V. Rodionov, M.V. Makaryants

JOINT-STOCK COMPANY “Space-Rocket Center “Progress”
(JSC «SRC «Progress»), Samara, Russia

Results of expert evaluation of indicators of quality of manufacturing techniques of high-pressure tanks at design of the reusable head fairing of carrier rockets of space appointment are given in article. The research problem which is characterized by discrepancy of the quality level of manufacturing techniques of high-pressure tanks to requirements to the reusable head fairing of carrier rockets of space appointment is formulated. The task in determination of signs of manufacturing techniques of the high-pressure tanks which are subject to improvement in ensuring design of the reusable head fairing is set. The solution of the objective represents the analysis and generalization of results of expert evaluation of manufacturing techniques of high-pressure tanks. Quality evaluation of manufacturing techniques of high-pressure tanks is carried out with use of the modified quality expansion function method (quality function deployment – QFD). In research with involvement of leading experts in area of creation of the head fairing of carrier rockets of space appointment expert evaluation is performed: scales of the importance of indicators of quality, levels of influence of signs of technical solutions on development of indicators of quality, interrelation of signs, ranks of quality of technical solutions, ranks of quality of signs of technical solutions. The result of research is characterized by the fact that for development of the reusable head fairing of carrier rockets of space appointment it is necessary to increase durability of high-pressure tanks, and also to increase corrosion resistance of high-pressure tanks. Relevance of research consists in improvement of design of new equipment at possible planning of modernization of perspective carrier rockets. Novelty of research consists in modification of the method of function of expansion of quality of QFD regarding determination of scales of the importance of indicators of quality, and also ranks of quality of signs of technical solutions.

Keywords: expert assessment, quality expansion function method, technical solution, quality.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-437-445

EDN: OTTKRR

REFERENCES

- Patentscope world intellectual property organization (WIPO) URL: <https://www.wipo.int/patentscope/ru/> (date of the address 20.08.2024).
- Petrishchev V.F. Reusable shutter of a head fairing of the carrier rocket and method of its landing: Stalemate. 2816372 (Russian Federation). 2024.
- SpaceX fairing recovery attempts (2017–2022) URL: <https://www.elonx.net/spacex-fairing-recovery->

- attempts-2017-2022/ (date of the address 25.08.2024).
4. RUAG Reusable Payload Fairing – the presentation of the RUAG URL company: <https://www.ruag.com> (date of the address 21.08.2024).
 5. Fedulov S.A. Method of production of high-pressure tanks and high-pressure tank: Stalemate. 2246371 (Russian Federation). 2005.
 6. Klyunin O.S., Elkin N.M. Metalplastic high-pressure tank and method of its production: Stalemate. 2289062 (Russian Federation). 2006.
 7. Yaikov V.P. A method of production of a high-pressure tank from polymeric composition materials and a high-pressure tank from polymeric composition materials: Stalemate. 2395749 (Russian Federation). 2010.
 8. Chunxue W., Yongfeng Z., Fangjie R., Chunfeng D. Titanium alloy high-pressure seamless gas cylinder with large volume, and manufacturing method: Pat. 107448771 (CN). 2017.
 9. Guiping Y., Zeyong H., Shuai G. L., Defeng D., Zhibin Z. Manufacturing method of high-temperature and high-pressure gas cylinder with thin-wall metal lining structure: Pat. 104948901 (CN). 2015.
 10. Takaomi I., Toru T. Manufacturing method of liner for gas cylinder, liner for gas cylinder and gas cylinder: Pat. 2005337391 (JP). 2005.
 11. Ishii, Y. Trend analysis of technology by using F-trem japanese patent and core technology clarification with Quality Function Deployment (QFD) of approach/Y. Ishii, S. Haruyama // Salud, Ciencia y Tecnología. – 2022. – Vol. 2. – PP. 196-196.
 12. Cristiano, J.J. Key factors in the successful application of quality function deployment (QFD)/ J.J. CRISTIANO, K.L. Jeffrey, C.C. White//IEEE transactions on engineering management. – 2001. – Vol. 48. –№. 1. – PP. 81-95.
 13. Gludkin O.P. Quality management / O.P. Gludkin, N.M. Gorbunov, A.I. Gurov, Yu.V. Zorin. M.: Publishing house the Hot line – the Telecom. – 2001. – 600 P.
 14. Bragin, Yu.V. Path of QFD: design and production proceeding from consumer expectations / Yu.V. Bragin, V.F. Korol'kov. – Yaroslavl: Center of Quality publishing house. – 2003. – 239 P.
 15. Strizhov V.V. Objectification of the expert evaluations which are put down in rank scales // Mathematical methods of pattern recognition / V.V. Strizhov, T.V. Kazakova. – 2007. – T. 13. – No. 1. – PP. 209-212.
 16. Vashukov, Yu.A. QFD: Product development and technology processes on the basis of requirements and consumer expectations / Yu.A. Vashukov, A.Ya. Dmitriyev, T.A. Mitroshkina. – Samara: Publishing House of Samara State Aerospace University. – 2012. – 32 p.

Rodionov Nikita Vadimovich, Candidate for a Scientific Degree, Economist. E-mail: rodionovnikitavadimovich@yandex.ru
Makar'yants Mikhail Viktorovich, Honored Designer of the Russian Federation, Deputy Chief Designer.
E-mail: Makaryants.MV@samspace.ru