

Квантификация критериев оценки качества на этапах конструкторской подготовки производства

П.О. Тарасов

Тверской государственный технический университет

Аннотация: Статья посвящена количественной формализации критериев оценки качества для применения в автоматизированной системе управления качеством на этапах конструкторской подготовки производства (КПП). В статье рассмотрены этапы технического предложения, эскизного проекта, технического проекта и разработки рабочей конструкторской документации. Предложена унифицированная процедура оценки по пяти ключевым группам критериев качества машиностроительного изделия: качество технических решений, надежность и работоспособность, безопасность, технологичность и унифицированность, а также эксплуатационные свойства. Объединение критериев в группы позволяет обеспечить сквозную оценку КПП между этапами, что обеспечивает возможность экспертов для проведения оценки. Для каждой группы сформулирован способ получения итогового показателя, обеспечивающий получение сопоставимой числовой оценки, практически пригодной для дальнейшего использования в автоматизированной системе управления качеством на этапах КПП. Методологической основой исследования выступил анализ источников, позволяющих выявить наиболее характерные проблемы и требования к проведению оценки качества на этапах КПП. Полученные результаты способствуют повышению степени формализации процедуры оценки качества на ранних стадиях жизненного цикла изделия, что создает условия для повышения качества выпускаемой продукции за счет систематической и воспроизводимой оценки инновационных решений. Предусмотрены процедуры нормирования шкал и установления пороговых значений.

Ключевые слова: конструкторская подготовка производства, оценка качества, формальные критерии, техническое задание.

1. Введение

Конструкторская подготовка производства (КПП) является отправной точкой процесса производства нового изделия в машиностроении. В рамках конструкторской подготовки производства осуществляется разработка проектной конструкторской документации, для чего проводятся этапы технического предложения по ГОСТ 2.118-2013, эскизного проекта по ГОСТ 2.119-2013, технического проекта по ГОСТ 2.120-2015 и рабочей конструкторской документации в соответствии последовательно по ГОСТ 2.103-2013. Полученная по результатам документация содержит

требования к техническому облику изделия, содержит описание свойств и качеств, которым изделие должно соответствовать.

Разработка продукции в рамках КПП осуществляется на основе технического задания, в котором должен быть изложен исчерпывающий перечень предъявляемых к новому изделию требований [1]. Далее на проектных этапах конструкторских работ осуществляется поиск технических решений, которые позволяют выполнить эти требования, а на этапах разработки рабочей конструкторской документации окончательное утверждение конструктивных решений.

На этапах КПП формируются основные параметры, определяющие качество изделия, в связи с чем возникает проблема управления качеством при разработке нового изделия. В исследованиях последних лет [2, 3] широко представлены способы управления качеством машиностроительных изделий, многие из них сводятся к созданию формальных систем управления качеством, которые позволяют создать прочную основу для последующей автоматизации процессов управления.

Оценка качества может быть проведена путём экспертизы документации на основе требований ТЗ, нормативной документации и существующего опыта в разработке новых изделий, но для этого, чтобы провести автоматизации процессов управления качеством на этапах КПП, результаты этих оценок должны быть выражены количественно.

Целью настоящего исследования является объединение существующего опыта управления качеством при разработке машиностроительных изделий для формирования критериев качества на этапах КПП и их последующей квантификация в целях обеспечения возможности встраивания в автоматизированные системы управления качеством на этапах КПП.

2. Методика исследования

Исследование проведено на основе обзора преимущественно публикаций в научных журналах в Российской Федерации и за рубежом и требований нормативной документации. На основе публикаций формируется описание группы критериев, которые могут использоваться для оценки качества на каждом из этапов конструкторских работ. Каждая группа критериев содержит 4 основных критерия $K_{ПТ}$, $K_{ЭП}$, $K_{ТП}$, $K_{РКД}$ для каждого из этапов КПП, соответственно. Каждый критерий K имеет название и в свою очередь принимает значение в определенных диапазонах a_k и b_k , которые характеризуют возможные значения каждого из критериев в зависимости от экспертной оценки:

$$K_T \in [a_k, b_k],$$

где T - идентификатор категории критериев в зависимости от этапа КПП.

a_k – нижний диапазон критерия;

b_k – верхний диапазон критерия.

3. Критерии оценки

3.1 Критерий используемых технических решений

В таблице 1 изложены критерии $K_{ПТ}^1, K_{ЭП}^1, K_{ТП}^1, K_{РКД}^1$. Результатом каждого из этапов разработки являются вариации конструкторских решений, для которых проводится сравнительный анализ в целях выявления наиболее оптимальных с учётом целей и задач, зафиксированных в техническом задании. Методология управления процессом поиска и сравнения альтернативных вариантов широко описана в научной литературе и занимает важное место в процессе разработки нового изделия, поскольку позволяет оптимизировать время и затраты на разработку нового изделия [4-6] при этом являясь наиболее сложной процедурой в процессе принятия решений [7], что поднимает проблему критериев оценки процесса сравнения альтернатив.

Таблица №1

Основные технические решения

Характеристика	Критерий	Значение
$K_{\text{ПТ}}^1$ –технические решения определены		
По всем ключевым конструктивным элементам, обеспечивающим выполнение функций изделия сформированы принципиальные решения. В пояснительной записке описан принцип действия изделия. Сформирована функциональная схема, демонстрирующая взаимосвязь конструктивных элементов. Рассмотрено более 2 аналогичных решений, при этом проведено сравнение конструктивных элементов по показателям.	Выполнено на достаточном уровне	0,8...1
Определены решения по большинству конструктивных элементов. Рассмотрено 1–2 варианта без сравнения по всем характеристикам конструктивных элементов.	Выполнено удовлетворительно	0,4...0,8
Есть только общее описание принципов работы изделия без функционального описания и параметризации	Выполнено слабо	0... 0,4
Принципиальные решения на этапе технического предложения не определены	Отсутствуют	0
$K_{\text{ЭП}}^1$ – технические решения уточнены		
Сформирована общая компоновка компонентов изделия. Разработаны схемы функционирования основных узлов (электрические, гидравлические, пневматические и др.). Детализированы конструктивные решения по основным элементам изделия либо предложено более 2-х вариантов реализации. Уточнены основные параметры для оценки каждого конструктивного элемента, определены диапазоны регулирования (если применимо). Выбраны и проверены материалы, стандартные и покупные изделия.	Выполнено на достаточном уровне	0,8...1
Определена компоновка и решения по основным конструктивным элементам, отдельные подсистемы/системы не описаны	Выполнено удовлетворительно	0,4...0,8
Разработаны эскизные документы на изделие. Отсутствует детальная проработка составных частей.	Выполнено слабо	0... 0,4
Принципиальные решения на этапе эскизного проекта не определены	Отсутствуют	0

Продолжение таблицы №1

$K_{ТП}^1$ – технические решения утверждены		
Все основные решения по варианту конструктивных элементов изделия утверждены. «Заморожено» компоновочное решение. Все схемы функционирования основных узлов изделия утверждены и могут использоваться для разработки РКД.	Выполнено на достаточном уровне	0,8...1
Большинство решений оформлено и согласовано, остаются неразрешенные вопросы по выбору конструктивных элементов. Имеются замечания, которые необходимо устранить на последующем этапе разработки	Выполнено удовлетворительно	0,4...0,8
Значимые конструктивные элементы остаются незавершенными, либо выявлены противоречия в функционировании конструктивных элементов, не позволяющие обеспечить общую работоспособность изделия	Выполнено слабо	0... 0,4
Принципиальные решения на этапе технического проекта не утверждены	Отсутствуют	0
$K_{РКД}^1$ – технические решения реализованы в КД		
Все технические решения по конструктивным элементам изделия реализованы в комплекте чертежей деталей, сборочных единиц, комплектов, комплексов. Для сборочных единиц разработаны спецификации.	Выполнено на достаточном уровне	0,8...1
Большинство технических решений по конструктивным элементам изделия отражены в КД: выпущены чертежи основных деталей и сборочных единиц, а также спецификации. По ряду элементов отсутствуют отдельные 3D-модели. Все замечания внесены в перечень доработок с установленными сроками устранения.	Выполнено удовлетворительно	0,4...0,8
В КД зафиксирована лишь часть технических решений: отсутствуют чертежи значимого числа деталей и узлов, спецификации разработаны фрагментарно или не обеспечивают полноты состава. КД разработана на базе 2D чертежей без использования 3D моделей. Комплект КД не может быть передан в производство без существенных доработок.	Выполнено слабо	0... 0,4
Принципиальные решения не зафиксированы в комплекте КД.	Отсутствуют	0

В качестве основного предмета сравнения можно выделить функции, которые выполняют конструктивные элементы изделия и их взаимосвязь [8, 9]. Соответственно, на ранних этапах это может быть описание принципа

действия решения в пояснительной записке, тогда как на последующих этапах детализироваться с использованием специализированных функциональных схем и компоновочных решений.

3.2 Критерии надёжности и работоспособности

В таблице 2 представлены критерии $K_{ПТ}^2, K_{ЭП}^2, K_{ТП}^2, K_{РКД}^2$. В ходе разработки машиностроительных изделий решается задача обеспечения не только надёжности, но и общей работоспособности изделия, понимаемой как способность выполнять заданные функции в установленных режимах и условиях в течение требуемого времени. Оценка и управление ведутся в парадигме RAMS и на основе нормативных документов: ГОСТ Р 27.102-2021, ГОСТ Р 27.015-2019. В то же время, в рамках настоящей работы целесообразно расширить понятие надёжности понятием работоспособности изделия в целом.

Для изделия устанавливаются измеримые целевые показатели на основе ТЗ с указанием допустимых отклонений. К таким показателям можно отнести показатели безотказности, интенсивность отказов, средней наработки до отказа коэффициент готовности, долговечность L и многие другие. Достижение и подтверждение целевых значений обеспечиваются расчетами и моделированием (прочностным, усталостным, тепловым, динамическим и др.), а также моделями надёжности с последующей верификацией результатами испытаний и оценкой по данным эксплуатации в соответствии с ГОСТ Р 27.013-2019.

Помимо обозначенных выше процедур, обязательным минимумом для оценки и снижения риска отказов является FMEA/FMECA (Failure Mode and Effects Analysis/Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, анализ режима сбоя и последствий/анализ режима сбоя, последствий и критичности) в соответствии с ГОСТ Р 27.303-2021 (DFMEA на уровне конструкции и PFMEA на уровне процесса).

Таблица №2 Надёжность и работоспособность изделия

Характеристика	Критерий	Значение
$K_{\text{ПТ}}^2$ – надёжность и работоспособность изделия подтверждена		
Подтверждён полный перечень целевых показателей надёжности из ТЗ. Проведён расчёт вероятности отказов на основе данных по аналогичным изделиям. Уточнены коэффициенты, учитывающие условия эксплуатации. Сформирован проект «Плана управления надёжностью» с мероприятиями и сроками. Проведены расчёты, подтверждающие работоспособность основных систем (механические, тепловые, электрические и др.).	Выполнено на достаточном уровне	0,7...1
Охват показателей из ТЗ неполный, но может быть подтверждён на последующих этапах. Применены упрощенные методики расчётов, перечень аналогичных изделий неполный. План управления надёжностью подготовлен в черновом виде. Расчёты, подтверждающие работоспособность выполнены частично	Выполнено удовлетворительно	0,4...0,7
Учтена только наработка на отказ без подтверждения расчётом других показателей. Данные по аналогам не актуальны, план управляющих мероприятий отсутствует. Расчёты, подтверждающие работоспособность не подготовлены	Выполнено слабо	0... 0,4
Надёжность и работоспособность изделия на стадии технического предложение не оценена.	Отсутствуют	0
$K_{\text{ЭП}}^2$ – надёжность и работоспособность изделия подтверждена		
Проведены расчёты вероятности безотказной работы, надёжность подтверждена и соответствует ТЗ. Проведены FMEA/FMECA основных узлов. Разработаны мероприятия по устранению критических отказов. Актуализирован и утверждён «План управления надёжностью» с распределением ответственных за исполнение. Расчёты работоспособности изделия и составных частей актуализированы и имеют положительных результат.	Выполнено на достаточном уровне	0,85...1
Модель охватывает большую часть элементов. Проведён базовый FMEA анализ, критичные элементы не выявлены. Расчёты вероятности безотказной работы подготовлены не по всем целевым показателям. Имеется отрицательных результат по отдельным показателям работоспособности, существует план улучшения конструкции для приведения в соответствии целевых показателям в ТЗ.	Выполнено удовлетворительно	0,7...1
Модель обеспечения надёжности неполная, критические показатели не описаны. FMEA анализ отсутствует. Надёжность подтверждена только для отдельных компонентов. Работоспособность изделия подтверждена только для основных систем.	Выполнено слабо	0,4...0,7
Надёжность и работоспособность изделия на стадии эскизного проекта не оценена.	Отсутствуют	0... 0,4



$K_{ТД}^2$ – надёжность и работоспособность изделия подтверждена		
Проведены детальные расчёты надёжности изделия с учётом реальных материалов, режимов нагрузок и условий эксплуатации. Результаты полностью соответствуют ТЗ. Проведён полный FMEA анализ, составлен перечень корректирующих мероприятий; внедрены процедуры контроля. Подготовлена программы предварительный и приёмно-сдаточных испытаний проверки работоспособности изделия.	Выполнено на достаточном уровне	0,7...1
Расчёты надёжности и работоспособности охватывают все составные части изделия, но не для всех испытаний разработаны программы испытаний. FMEA анализ выполнен для всех систем, выявлено отклонения от ТЗ, но разработан план корректирующих действий.	Выполнено удовлетворительно	0,4...0,7
Расчёты надёжности и работоспособности выполнены не в полном размере, FMEA анализ выполнен только для ключевых систем.	Выполнено слабо	0... 0,4
Надёжность и работоспособность изделия на стадии технического проекта не оценена.	Отсутствуют	0
$K_{РКД}^2$ – надёжность и работоспособность изделия подтверждена		
Проведены актуализированные расчёты с учётом внесённых конструкторских изменений при разработке РКД. Разработаны и утверждены программы и методики предварительных и приёмочных испытаний, а также согласованы с заказчиком при необходимости. Проведён анализ соответствия программ и методик испытаний пунктам ТЗ.	Выполнено на достаточном уровне	0,85...1
Актуализированы основные расчёты с учётом внесённых конструкторских изменений. Выполнена оценка надёжности по ключевым узлам. Программы и методики предварительных и приёмочных испытаний разработаны и покрывают большинство ключевых требований ТЗ, для части испытаний уточняются критерии и средства измерений, допуски, отдельные методики пока не утверждены.	Выполнено удовлетворительно	0,6...0,85
Расчёты выполнены фрагментарно либо не актуализировались, отсутствуют подтверждённые результаты по ряду изменённых узлов. Изменения ухудшают плановые показатели надёжности. Программы и методики испытаний отсутствуют либо представлены черновиками, не содержат полноценных критериев, средств измерений и порядка обработки результатов. Требования ТЗ подтверждены не в полной мере.	Выполнено слабо	0... 0,6
Надёжность и работоспособность изделия на стадии РКД не подтверждена.	Отсутствуют	0

Результаты FMEA, ранжирование критичности и корректирующие мероприятия консолидируются в плане управления надежностью, который

структурирует цели, ответственность, метрики RAMS, план испытаний и контроля, а также процедуры сбора и анализа отказов [10, 11].

4. Заключение

Проведён анализ источников, в результате которого сформированы два основных группы критериев, которые позволяют провести оценку качества изделия на этапах КПП: критерии используемых технических решений, надёжности и работоспособности изделия, Группировка критериев позволяет обеспечить специализацию экспертов в процессе оценки.

Критерии позволяют перевести оценку эксперта в набор числовых характеристик, на базе которых может быть построена автоматизированная система управления качеством на этапах КПП. Полученные характеристики могут показать слабые места разработанного изделия и использоваться для выработки управляющих воздействий по улучшению конструкторских решений машиностроительного изделия.

Дальнейшие исследования могут вестись в двух ключевых направлениях:

1. Разработка архитектуры системы управления с использованием упомянутых числовых оценок с последующей реализацией алгоритма принятия решений на этапах КПП.

2. Квантификация и формализация прочих работ и свойств изделия на этапах КПП. К таким можно отнести безопасность для человека и экологии, технологичность и унифицированность, эксплуатационные характеристики, порядок разработки изделия, патентную чистоту, технико-экономические показатели и др.

Литература

1. Тарасов П.О. Квантификация критериев оценки качества на этапе разработки технического задания // Инженерный вестник Дона, 2025, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2025/10573.
 2. Трофимова М. С. Построение моделей управления качеством изделий машиностроения // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2017. № 8. С. 91-104.
 3. Wynn D. C., Maier A. M. Feedback systems in the design and development process // Research in Engineering Design. 2022. V. 33. № 3. pp. 273–306.
 4. Toche B., Pellerin R., Fortin C. Set-based design: a review and new directions // Design Science. 2020. V. 6. pp. 1–41.
 5. Wang Y., Bottazzi V. S., Gattas J. M. A novel framework for set-based steel connection design automation // Computers & Structures. 2024. V. 298. URL: doi.org/10.1016/j.compstruc.2024.107366.
 6. Balmer V.M., Kuhn S.V., Bischof R., Salamanca L., Kaufmann W., Perez-Cruz F., Kraus M.A. Design space exploration and explanation via conditional variational autoencoders in meta-model-based conceptual design of pedestrian bridges // Automation in Construction. 2024. V. 163. URL: doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105411.
 7. Engen S., Muller G., Falk K. Conceptual modeling to support system-level decision-making: An industrial case study from the Norwegian energy domain // Systems Engineering. 2023. V. 26. № 2. pp. 177–198.
 8. Lou S., Feng Y., Gao Y., Zheng H., Peng T., Tan J. A function-behavior mapping approach for product conceptual design inspired by memory mechanism // Advanced Engineering Informatics. 2023. V. 58. URL: doi.org/10.1016/j.aei.2023.102236.
 9. She J., Belanger E., Bartels C. Evaluating the effectiveness of functional decomposition in early-stage design: development and application of problem
-

space exploration metrics // *Research in Engineering Design*. 2024. V. 35. pp. 311–327.

10. Беляева И. А., Козловский В. Н., Подгорный А. С., Гусев А. В. План управления качеством при проектировании машиностроительной продукции // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2024. № 10. С. 120–121.

11. Антипов Д. В., Горохова Д. А., Артюхов А. В., Клентак А. С. Управление качеством проектирования и разработки новой продукции // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2022. Т. 24. № 4. С. 131–136.

References

1. Tarasov P.O. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2025, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2025/10573.

2. Trofimova M. S. *KIP i avtomatika: obsluzhivanie i remont*. 2017. № 8. pp. 91-104.

3. Wynn D. C., Maier A. M. *Research in Engineering Design*. 2022. V. 33. № 3. pp. 273–306.

4. Toche B., Pellerin R., Fortin C. *Design Science*. 2020. V. 6. pp. 1–41.

5. Wang Y., Bottazzi V. S., Gattas J. M. *Computers & Structures*. 2024. V. 298. URL: doi.org/10.1016/j.compstruc.2024.107366.

6. Balmer V.M., Kuhn S.V., Bischof R., Salamanca L., Kaufmann W., Perez-Cruz F., Kraus M.A. *Automation in Construction*. 2024. V. 163. URL: doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105411.

7. Engen S., Muller G., Falk K. *Systems Engineering*. 2023. V. 26. № 2. pp. 177–198.

8. Lou S., Feng Y., Gao Y., Zheng H., Peng T., Tan J. *Advanced Engineering Informatics*. 2023. V. 58. URL: doi.org/10.1016/j.aei.2023.102236.



9. She J., Belanger E., Bartels C. Research in Engineering Design. 2024. V. 35. pp. 311–327.
10. Belyaeva I. A., Kozlovskij V. N., Podgornij A. S., Gusev A. V. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2024. № 10. pp. 120–121.
11. Antipov D. V., Gorohova D. A., Artyuhov A. V., Klentak A. S. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2022. V. 24. № 4. pp. 131–136.

Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 15.01.2026

Дата публикации: 28.02.2026