

Квантификация критериев оценки качества на этапе разработки технического задания

П.О. Тарасов

Тверской государственный технический университет

Аннотация: Статья посвящена формализации критериев оценки качества в рамках разработки автоматизированной системы управления качеством на этапе конструкторской подготовки производства (КПП) машиностроительных изделий. Основной фокус внимания исследования в разработке технического задания (ТЗ). Автор предлагает формальные критерии для оценки качества ТЗ, направленные на формирование исчерпывающих требований к конструкции изделия и организации работ. Методология основана на системном анализе отечественной и зарубежной литературы, а также нормативных документов и формировании на их основе градуированной количественной шкалы для каждого критерия оценки. Выделены ключевые критерии оценки, каждому из которых присвоены характеристики и системы балльной оценки для количественного анализа и возможности последующего использования при создании автоматизированной системы управления качеством на этапе КПП. Работа способствует повышению качества и конкурентоспособности продукции за счет систематической оценки начального этапа разработки и формирования правильных требований к инновационной продукции. Результаты исследования ориентированы как на исследования в научных рецензируемых журналах Российской Федерации, так и с вниманием к международному опыту, что позволяет объединить существующий опыт в предметной области.

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

Введение

Конструкторская подготовка производства (КПП) является одним из ключевых этапов жизненного цикла машиностроительных изделий, определяющим качество и конкурентоспособность новой продукции. Для решения задачи управления качеством на этапе КПП могут быть использованы автоматизированные системы, которые позволят осуществлять контроль качества КД в режиме реального времени и обеспечивать соответствие разрабатываемой документации установленным требованиям [1]. Учитывая специфику машиностроительных изделий, такие системы могут базироваться на принципах экспертных оценок, что требует разработки формальных критериев для автоматизации процесса подготовки этих оценок. Формальные критерии позволят унифицировать подход к оценке качества на

различных этапах КПП и обеспечить объективность принимаемых решений [2]. Целью настоящей статьи является разработка формальных критериев для этапа разработки технического задания, что является первым и одним из наиболее важных этапов для КПП. Методика исследования состоит в анализе отечественной и зарубежной литературы, отдавая предпочтение статьям, опубликованным в научных рецензируемых журналах, а также требования нормативных документов. В зарубежной литературе термин "техническое задание" используется редко, поэтому в обзоре данный этап ассоциируется с процессами формирования требований, концептуализации изделий и разработки договорных обязательств. Это расширяет спектр рассматриваемых источников, включая исследования, посвящённые ранним стадиям жизненного цикла продукции, и обеспечивает учёт международного опыта в управлении качеством разработки.

Критерии оценки

Критерии назначения

Группа $K_{ТЗ}^{\text{назн}}$ (сформирована на базе проводимых работ при разработке изделия, которые состоят в определении области целевого использования изделия. Они нужны, чтобы описать потребность, которая существует на рынке на «техническом» языке, чтобы донести до разработчика задачи, которые решает изделия. Формула группы критериев представлена ниже:

$$K_{ТЗ}^{\text{назн}} = \frac{(K_{ТЗ}^1 + K_{ТЗ}^2 + K_{ТЗ}^3 + K_{ТЗ}^4)}{4}$$

ГОСТ 15.016 напрямую предписывает фиксировать в ТЗ область применения и назначения изделия. Область применения и назначения изделия формулируется посредством задач, которые оно решает в процессе своей эксплуатации для удовлетворения спроса на рынке. В противном случае изделие может оказаться невостребованным на рынке, поскольку

будет разработано и изготовлено в соответствии с ТЗ, но не для реально существующих задач. Ярким примером в истории компании Ford является случай неправильного определения целевого назначения автомобилей марки Mercury с учётом сегментации рынка, марка автомобилей не смогла занять потребительскую нишу и была закрыта в 2011 г. [3, 4].

Таким образом с точки зрения качества, это требование существует для четкого определения потребности, которая должна быть удовлетворена в процессе эксплуатации изделия. Соответственно, чтобы не произвести изделие, на которое не будет спроса у потребителя, нужно максимально полно описать задачи, которые решает изделие, а также ограничения и исключения в решении задач, для чего может быть использован критерий $K_{ТЗ}^1$ представленный в таблице 1.

Таблица №1.

Критерий области применения и назначения изделия в ТЗ.

Характеристика	Критерий	Значение
В ТЗ в полной мере присутствует описание перечня задач, которые решает изделие, ограничения и исключения применимости изделия	Определены в достаточной мере	0,8...1
Приведено общее назначение без полного перечня задач или без явных границ и ограничений	Определены удовлетворительно	0,5...0,8
Представлены один-два тезиса без детализации уточнений	Определены слабо	0...0,5
Область применения/назначение не указаны	Не выполнено	0

В ТЗ должны быть зафиксированы цели разработки изделия. Известны случаи неудачного формулирования целей разработки изделий. Противоречивые или недостаточно проработанные цели зачастую становятся причиной провала крупных проектов, например универсального самолёта F-35 Lightning II, проекта Boeing Sonic Cruiser или телефона Iridium Satellite [5,

6]. Цель должна быть четкой и измеримой, если целей несколько должна быть выстроена их иерархия и указан приоритет выполнения. При формулировании цели важно определить функцию изделия и ожидаемый эффект для заказчика, желательно в числовом виде. На базе представленных материалов сформулируем критерий $K_{ТЗ}^2$ (см. таблицу 2).

Таблица №2.

Критерий оценки целей, представленных в ТЗ

Характеристика	Критерий	Значение
В ТЗ сформулированы чёткие, измеримые и ранжированные цели разработки. Для каждой цели указаны: требуемая функция, целевое числовое значение и ожидаемый эффект для заказчика	Определены в достаточной мере	0,8...1
Цели перечислены, но часть из них задана качественно, отсутствуют связь с рыночной потребностью	Определены удовлетворительно	0,5...0,8
Приведена одна-две общие фразы, без чисел, сроков и приоритетов	Определены слабо	0...0,5
Цели не зафиксированы в ТЗ	Цель не зафиксирована	0

В процессе разработки ТЗ должны быть определены требования к условиям эксплуатации изделия. Они должны содержать достаточное описание полигона эксплуатации будущего изделия, задач, которые оно будет решать в процессе эксплуатации, указания факторов внешней среды, а также ограничений, которые будет иметь будущее изделие. Всё это нужно для того, чтобы в рамках проектных работ на высоком уровне оценить возможные риски [7] при воздействии факторов внешней среды, и учесть факторы внешней среды при проектировании изделия. Значение качества описания полигона эксплуатации можно так же продемонстрировать случаем описанным в статье The Guardian, когда был разработан поезд, который не проходил тоннели на своём полигоне эксплуатации, что привело к

многомиллионным убыткам [8]. На базе представленных материалов сформулируем критерий $K_{ТЗ}^3$ в таблице 3.

Таблица №3.

Критерий оценки описания условий эксплуатации в ТЗ.

Характеристика	Критерий	Значение
В ТЗ указан полный набор условий эксплуатации: климатические, механические, внешние среды, электромагнитные условия и помехи, длительность включения, цикличность. Для каждого условия зафиксированы числовые пределы и составлено полное описание полигона эксплуатации изделия на базе эмпирических данных.	Определены в достаточной мере	0,8...1
Прописаны условия по основным группам (температура, влажность, вибрация), но без детализации остальных факторов или часть пределов указана качественно («умеренный климат», «легкая вибрация»)	Определены удовлетворительно	0,25...0,8
Указан набор общих формулировок либо перечислены только 1–2 параметра без числовых значений	Определены слабо	0...0,25
Условия эксплуатации не заданы	Не выполнено	0

При разработке изделия важно охватить полный жизненный цикл изделия, с учётом его полного периода эксплуатации. Для этого в ТЗ необходимо описать требования к разработке, производству, эксплуатации, обслуживанию, ремонту и утилизации изделия. В литературе известны случаи, когда при разработке изделия не были учтены все этапе жизненного цикла, что приводило к убыткам и снижению спроса со стороны потребителей [9-11]. Важно описать последовательность жизненного цикла изделия с указанием сроков и участников, которые будут работать с

изделием для того, чтобы изделие сохраняло своё актуальность в соответствии с критерием $K_{ТЗ}^4$, представленным в таблице 4.

Таблица №4.

Критерий описания жизненного цикла в ТЗ.

Характеристика	Критерий	Значение
В ТЗ подробно описаны все основные этапы жизненного цикла изделия, в числе прочего учтено обслуживание, ремонт, модернизация, утилизация. Для каждого этапа — срок, участники, требования, ограничения.	Определены в достаточной мере	0,75...1
ЖЦ приведён частично, а стадии эксплуатации/утилизации либо не раскрыты, либо указаны без структуры и сроков.	Определены удовлетворительно	0,5...0,75
Указано только, что изделие «подлежит поставке и эксплуатации», без описания стадий и событий ЖЦ.	Определены слабо	0...0,5
Жизненный цикл не описан в ТЗ.	Не выполнено	0

Критерии жизненного цикла

Следующая группа критериев $K_{ТЗ}^{ЖЦ}$ характеризует производственный процесс, и следующим за ним этап верификацию и валидацию его результатов. Формула критерия:

$$K_{ТЗ}^{ЖЦ} = \frac{(K_{ТЗ}^5 + K_{ТЗ}^6)}{2}.$$

В современных исследованиях проблема обеспечения технологичности изделия широко представлена [12-14]. Общей частью такого рода исследований является наличие первоначальных требований, которые являются вводными при описании способа обеспечения технологичности (уровня затрат, такта выпуска, требований к оснастке и др.). Требования к технологичности изделия должны быть описаны в ТЗ на уровне,

позволяющим оптимальным образом изготовить изделие при условии соблюдения требований разработчиком. В ТЗ важно зафиксировать под какие производственные процессы и возможные к закупке материалы должен быть адаптированы конструктивные решения изделия. Так же важно задать целевые показатели производительности и описать ограничения, которые продиктованы оснасткой предприятия, в случае отсутствия возможности перевооружения производства. На базе описания сформулируем критерий $K_{ТЗ}^5$, упомянутой группы, характеризующий требований к технологичности в ТЗ в соответствии с таблицей 5.

Таблица №5.

Критерий оценки требований технологичности в ТЗ.

Характеристика	Критерий	Значение
В ТЗ перечислены все ключевые требования технологичности: допустимые материалы и процессы, предельные допуски/шероховатости и ориентация на имеющееся оборудование, условия сборки, целевые показатели производительности, ограничения по оснастке и контрольным приспособлениям.	Определены в достаточной мере	0,8...1
Описаны материалы, базовые допуски и часть процессов, но нет полной информации по технологии или экономике (или указаны лишь ориентиры без чисел)	Определены удовлетворительно	0,5...0,8
Указана только общие фразы (деталь должна быть технологична) либо упомянут один процесс без нормативов	Определены слабо	0...0,5
Требования к технологичности отсутствуют	Не выполнено	0

Одним из важнейших этапов постановки на производство новой продукции является проведение комплекса испытаний, подтверждающих выполнение параметров, заявленных в ТЗ. В то же время, с принимающей изделие стороны могут возникнуть разногласия, касательно методологии

испытаний, подтверждающих выполнение ТЗ. В научной литературе описаны случаи, когда методология и объём испытаний не были изначально зафиксированы, что приводило к необходимости проведения повторных испытаний. Например, известен случай, когда испытания необитаемого подводного аппарата РБ 600 проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54344, которые не в полной мере подтверждают заявленные характеристики, что в результате привело к необходимости проведения дополнительных научных исследований [15]. Если обратиться к зарубежному опыту, то в отчёте перед конгрессом США (раздел критических недостатков) по статусу производства Топливозаправщик Boeing KC-46 одной из ключевых проблем отмечено наличие разногласий между производителем – компанией Boeing и приёмщиков ВВС США по методам проверки системы RVS 1.0. Общий ущерб от задержки в производстве самолёта на два года оценивается в 1 млрд. долларов США [16]. Составим в таблице 6 описание критерия $K_{ТЗ}^6$ для оценки методологии и объёма испытаний в ТЗ.

Таблица №6.

Критерий методологии и объёма испытаний в ТЗ.

Характеристика	Критерий	Значение
Методология и объём испытаний позволяют верифицировать все ключевые параметры, охватывает крайние режимы работы, описывает приёмочные пределы и способы статистической обработки	Определены в достаточной мере	0,75...1
Описаны методы испытаний только для основных параметров; крайние режимы расписаны частично	Определены удовлетворительно	0,25...0,75
Проведена экспертная оценка	Определены слабо	0...0,25
Методология испытаний не зафиксирована	Требования отсутствуют	0

Заключение

В результате исследования предложено 6 основных критериев на базе 2 групп критериев, которые формализованы для возможности их автоматизации и встраивания в автоматизированную систему управления качеством. Учтены требования нормативных документов и законов Российской Федерации, в то же время, методология формирования критериев позволяет расширить область применения и на международные стандарты. Дальнейшие исследования могут быть посвящены формализации критериев для этапов технического предложения, эскизного проекта, техническое проекта и рабочей конструкторской документации. Методология допускает возможность предприятию сформулировать собственные критерии качества и дать им градуированную оценку в случае наличия отраслевой специфики.

Критерии могут использоваться в качестве ключевых опорных точек в рассуждении эксперта, осуществляющего оценку качества изделия на этапе разработки ТЗ и формализовать результаты его оценки, которые уже в дальнейшем могут быть возвращены разработчику для корректировки ТЗ. Многие из этих критериев будут так или иначе модифицированы для использования в последующих этапах, но оценка уже может быть проведена по критериям соответствия требованиям ТЗ, что даёт возможность дальнейшему развитию предложенного метода описания критериев в последующих исследованиях.

Литература

1. Бурдо Г.Б., Семенов Н.А. Основные принципы создания систем автоматизации проектирования и управления в машиностроительных производственных системах // Программные продукты и системы. 2019. Т. 32, № 1. С. 134–140.

2. Femmer H., Unterkalmsteiner M., Gorschek T. Which requirements artifact quality defects are automatically detectable? A case study URL: arxiv.org/pdf/2308.15057 (дата обращения: 30.06.2025).

3. Liu C., Rouse W.A., Yu Z. When Transformation Fails: Twelve Case Studies in the American Automobile Industry // Journal of Enterprise Transformation. 2015. V. 5, № 2. pp. 71–112.

4. Mukherjee J. Tata Nano: Case of Repositioning: Case Analysis // Vikalpa: The Journal for Decision Makers. 2021. Vol. 46, № 3. P. 188–190.

5. Aloisio D.C., Marais K. Preventing slips, overruns, and cancellations: Application of system accident investigations and theory to the understanding and prevention of engineering project failures // PLOS ONE. 2020. V. 15, № 3. URL: journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0229825 (дата обращения: 30.06.2025).

6. Hepperle M. The Sonic Cruiser: A Concept Analysis // Aviation Technologies of the XXI Century: New Aircraft Concepts and Flight Simulation: Proc. Int. Symp., Aviation Salon ILA-2002, Berlin, 7–8 May 2002, 2002. pp. 1–10.

7. Kargar V., Jahangiri M., Alimohammadlu M., Kamalinia M., Mirazahossieninejad M. Risk assessment of mobile crane overturning in Asymmetric Tandem Lifting (ATL) operation based on fuzzy fault tree analysis (FFTA) // Results in Engineering. 2022. V. 16. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302200425X (дата обращения: 30.06.2025).

8. Jones S. Spanish transport secretary resigns after new trains too big for tunnels // The Guardian. 21 Feb. 2023. URL: theguardian.com/world/2023/feb/21/spanish-transport-secretary-resigns-new-renfe-trains-too-big-for-tunnels (дата обращения: 30.06.2025).

9. Yang J., Meng F., Zhang L. et al. Solutions for recycling emerging wind turbine blade waste in China are not yet effective // Communications Earth &

Environment. 2023. V. 4. URL: [nature.com/articles/s43247-023-01104-w](https://www.nature.com/articles/s43247-023-01104-w) (дата обращения: 30.06.2025).

10. Delaney E.L., Leahy P.G., McKinley J.M., Gentry T.R., Nagle A.J., Elberling J., Bank L.C. Sustainability implications of current approaches to end-of-life of wind turbine blades — A review // Sustainability. 2023. V. 15, № 16. URL: [mdpi.com/2071-1050/15/16/12557](https://www.mdpi.com/2071-1050/15/16/12557) (дата обращения: 30.06.2025).

11. Rehman S., Al-Greer M., Burn A.S., Short M., Cui X. High-volume battery recycling: technical review of challenges and future directions // Batteries. 2025. V. 11, № 3. URL: [mdpi.com/2313-0105/11/3/94](https://www.mdpi.com/2313-0105/11/3/94) (дата обращения: 30.06.2025).

12. Bochkarev P.Yu., Korolev R.D., Bokova L.G. Comprehensive Assessment of the Manufacturability of Products // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2023. T. 23, № 2. С. 155–168.

13. Вартанов М.В., Чушенков И.И. Методология оценки технологичности изделий машиностроения // Станкоинструмент. 2019. Т. 15, № 2. С. 14–22.

14. Formentini G., Boix Rodríguez N., Favi C. Design for manufacturing and assembly methods in the product development process of mechanical products: a systematic literature review // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. V. 120. pp. 4307–4334.

15. Лебедев А.А., Баранник А.Ю. Особенности подготовки и проведения приёмочных испытаний телеуправляемого необитаемого подводного аппарата // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20, № 1 (75). С. 42–47.

16. United States Government Accountability Office. KC-46 Tanker: Air Force Needs to Mature Critical Technologies in New Aerial Refueling System Design: report to Congressional addressees. URL: [gao.gov/assets/gao-22-104530.pdf](https://www.gao.gov/assets/gao-22-104530.pdf) (дата обращения: 30.06.2025).

References

1. Burdo G.B., Semenov N.A. Programmnye produkty i sistemy. 2019. V. 32, № 1. pp. 134–140.
2. Femmer H., Unterkalmsteiner M., Gorschek T. URL: arxiv.org/pdf/2308.15057 (accessed: 30.06.2025).
3. Liu C., Rouse W.A., Yu Z. Journal of Enterprise Transformation. 2015. V. 5, № 2. pp. 71–112.
4. Mukherjee J. Vikalpa: The Journal for Decision Makers. 2021. V. 46, № 3. P. 188–190.
5. Aloisio D.C., Marais K. PLOS ONE. 2020. V. 15, № 3. URL: journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0229825 (accessed: 30.06.2025).
6. Hepperle M. Aviation Technologies of the XXI Century: New Aircraft Concepts and Flight Simulation: Proc. Int. Symp., Aviation Salon ILA-2002, Berlin, 7–8 May 2002, 2002. pp. 1–10.
7. Kargar V., Jahangiri M., Alimohammadlu M., Kamalinia M., Mirazahossieninejad M. Results in Engineering. 2022. V. 16. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302200425X (accessed: 30.06.2025).
8. Jones S. The Guardian. 21 Feb. 2023. URL: theguardian.com/world/2023/feb/21/spanish-transport-secretary-resigns-new-renfe-trains-too-big-for-tunnels (accessed: 30.06.2025).
9. Yang J., Meng F., Zhang L. Communications Earth & Environment. 2023. V. 4. URL: nature.com/articles/s43247-023-01104-w (accessed: 30.06.2025).
10. Delaney E.L., Leahy P.G., McKinley J.M., Gentry T.R., Nagle A.J., Elberling J., Bank L.C. Sustainability. 2023. V. 15, № 16. URL: mdpi.com/2071-1050/15/16/12557 (accessed: 30.06.2025).
11. Rehman S., Al-Greer M., Burn A.S., Short M., Cui X. Batteries. 2025. V. 11, № 3. URL: mdpi.com/2313-0105/11/3/94 (accessed: 30.06.2025).

12. Bochkarev P.Yu., Korolev R.D., Bokova L.G. Advanced Engineering Research. 2023. V. 23, № 2. pp. 155–168.
13. Vartanov M.V., Chushenkov I.I. Stankoinstrument. 2019. V. 15, № 2. pp. 14–22.
14. Formentini G., Boix Rodríguez N., Favi C. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. V. 120. pp. 4307–4334.
15. Lebedev A.A., Barannik A.Yu. Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2023. V. 20, № 1 (75). pp. 42–47.
16. United States Government Accountability Office. KC-46 Tanker: Air Force Needs to Mature Critical Technologies in New Aerial Refueling System Design: report to Congressional addressees. URL: [gao.gov/assets/gao-22-104530.pdf](https://www.gao.gov/assets/gao-22-104530.pdf) (accessed: 30.06.2025).

Дата поступления: 14.10.2025

Дата публикации: 26.11.2025