

УДК 004.02; 685.5; 681.1; 681.2

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.М. Медунецкий<sup>a</sup>, В.В. Николаев<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Университет ИТМО, Санкт Петербург, 197101, Российская Федерация

<sup>b</sup> ЗАО «Системы управления и приборы», Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

Адрес для переписки: mak5@inbox.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию 29.06.16, принята к печати 23.09.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1128-1132

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Медунецкий В.М., Николаев В.В. Методика оценки уровня качества механических изделий в процессе их проектирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 6. С. 1128–1132. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1128-1132

### Аннотация

Рассматриваются задачи обеспечения качества механических систем на этапах проектирования, так как выбор технического решения при проектировании механических систем оказывает существенное влияние на качество изделия. В сложившейся практике процесс выбора итогового технического решения, как правило, осуществляется разработчиками, которые опираются на свой личный опыт и профессиональную интуицию. Известные методы прогноза качества опираются в основном на статистические данные, что приводит к ограничению применения таких методик для прогнозирования качества в процессе разработки оригинальных единичных механических изделий, в которых закладываются новые технические решения. Предложена методика, основанная на относительной качественно-количественной оценке вариантов конструктивного исполнения проектируемого изделия для осуществления обоснованного выбора оптимального технического решения из ряда альтернативных. Конечной целью предлагаемой и рассматриваемой методики является повышение уровня качества разрабатываемых механических изделий. Одним из отличительных элементов методики является определение основного показателя качества проектируемого изделия, базовых показателей качества, а также использование базового технического решения, относительно которого будет производиться оценка и сравнение технических решений. В основу качественной оценки вариантов заложен метод экспертных оценок в модифицированном варианте. Количественная оценка вариантов осуществляется на основе анализа конструктивно-технологических параметров, влияющих на основной показатель качества и на базовые показатели качества. Методика использована при исследовании зубчатых передач исполнительных механизмов, оптико-механических систем и конструкций механического автоматического захвата кластера. Предложенная методика позволяет повысить качество разработки изделий за счет снижения влияния субъективности разработчиков, повышения качества анализа информации и привлечения инженерного потенциала коллектива в вопросах выбора технического решения из ряда возможных. Описан алгоритм предлагаемой методики, отмечены ее отличительные особенности и сделаны выводы о целесообразности использования предложенной методики в инженерной практике.

### Ключевые слова

проектирование, сопоставление технических решений, метод экспертных оценок, механические системы

## ESTIMATION TECHNIQUE OF MECHANICAL PRODUCTS QUALITY LEVEL IN DESIGN PROCESS

V.M. Medunetskiy<sup>a</sup>, V.V. Nikolaev<sup>b</sup>

<sup>a</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

<sup>b</sup> "Control Systems and Instruments", JSC, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation

Corresponding author: mak5@inbox.ru

### Article info

Received 25.07.16, accepted 16.09.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1128-1132

Article in Russian

**For citation:** Medunetskiy V.M., Nikolaev V.V. Estimation technique of mechanical products quality level in design process. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 6, pp. 1128–1132. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1128-1132

**Abstract**

The paper considers the challenges of providing mechanical systems quality at the design stages. The engineering solution choice in the design of mechanical systems has a significant impact on the product quality. It is noted that in practice a developer often resorts to an expert estimation when solving choice problems. Known methods of quality forecasting are based mainly on statistical data. This leads to limited application possibilities for these methods in practice for quality forecasting in the development process of original single-piece mechanical products with the new engineering solutions built in them. Proposed method is based on the relative qualitative and quantitative evaluation of different design options for developed products aimed at reasonable choosing of optimal engineering solution from a number of alternative ones. The final scope of proposed and considered method is quality improvement of the mechanical products being developed. A distinguishing feature of the method is determination of the main quality indicator, the basic quality indicators, and the usage of reference basic technical solution to estimate and compare development solutions. The base for qualitative assessment of options is modified expert evaluation method. Quantitative assessment of options is based on the analysis of constructive and technological parameters that influence the main quality indicator and basic quality indicators. The proposed method is examined on the example of operating mechanism gears, optical-mechanical systems and automatic gripper of a cluster fuel assembly. The proposed technique enables to increase the product development quality due to lowering the developer subjectiveness, increase of information analysis quality and the usage of staff engineering potential concerning the aspects of engineering solution choice from a number of alternative ones. The algorithm for proposed methodology is described, its distinguishing features are highlighted, and the conclusions about advisability of this methodology application in practice are made.

**Keywords**

development, engineering solutions comparison, expert evaluation method, mechanical systems

В инженерной практике на этапах проектирования для обеспечения требуемого качества механических изделий (узлов, систем) важно проводить сравнение альтернативных вариантов конструкции изделия и осуществлять обоснованный выбор наиболее предпочтительного из них [1–3]. Существующие методы оценки вероятности возникновения событий, такие как статистический, вероятностно-статистический, логико-вероятностный, эвристический [4–8], опираются только на статистические данные и используются преимущественно для анализа и оценки структурно-сложных технических объектов. Применение на этапах разработки стандартизированных методов оценки (прогноза) качества механических изделий, в частности по критериям надежности<sup>1</sup>, существенно затруднено в связи с необходимостью наличия статистических количественных данных (к примеру, интенсивность отказов и т.д.) [9–12] подобных изделий<sup>2</sup> (систем, узлов). В сложившейся практике на начальных этапах разработки механических изделий разработчик, как правило, отталкивается от изделия-прототипа и в большинстве случаев опирается на личный опыт и профессиональную интуицию, а это нередко приводит к некоторому ограничению уровня качества разработки.

Авторами проведены исследования и далее разработана методика качественно-количественной оценки технических решений механических устройств. Основной принцип оценки основан на качественном и относительно-количественном сравнении ряда вариантов технических решений относительно базового решения по балльной системе и определения наиболее предпочтительного и обоснованного. В качестве базового метода оценки рассматриваемых решений выбран метод экспертных оценок<sup>3</sup> в модифицированном варианте (с рядом определенных дополнений), обладающий относительной простотой в реализации и достаточной достоверностью оценки при высокой квалификации экспертов-практиков [13, 14]. Для повышения достоверности оценки в качестве экспертов следует привлекать специалистов, связанных с различными этапами жизненного цикла проектируемого изделия (проектирование, производство, эксплуатация). Методика включает в себя четыре основных последовательно выполняемых этапа: подготовительный этап, качественная оценка, количественная оценка (в относительно количественном варианте), итоговая оценка.

Отличительной особенностью методики является то, что вначале определяются основной показатель качества (ОПК) изделия и базовые показатели качества (БПК). Под ОПК следует понимать показатель, характеризующий функциональные свойства изделия и обуславливающий диапазон его применимости (показатель назначения). К БПК можно отнести, например, технические, технологические, экономические показатели. Обобщенная функциональная схема предлагаемой методики показана на рис. 1.

<sup>1</sup> ГОСТ 27.503-81. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности. Введен 01.07.1982. М.: Изд-во стандартов, 1982. 56 с.; ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. Введен 01.07.1984. М.: Госстандарт России. 35 с.; РД 102-31-85. Руководящий нормативный документ. Методы оценки надежности трубопроводостроительных машин. Введен. 17.09.1984.

<sup>2</sup> ГОСТ 27.301-2011. Надежность в технике. Управление надежностью. Техника анализа безотказности. Введен 01.09.2012. М.: Стандартинформ, 2013. 56 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 23554.0-79. Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Основные положения. Введен 01.01.1980. М.: Изд-во стандартов, 1986. 23 с.

На подготовительном (первом) этапе разработчиком механического изделия определяются исходные данные задачи выбора, в том числе варианты технических решений, базовое техническое решение, экспертная группа, исходный регламент экспертизы. Далее формируются предварительные перечни проектных ограничений и приоритетов, набор критериев и их весовых коэффициентов, порядок подсчета оценок. Также отличительной особенностью методики является то, что исходные данные для экспертизы технических решений первоначально передаются экспертам для осуществления их корректировки и дополнения. За счет этого заметно повышается эффективность методики и дальнейшая достоверность оценки проектируемых изделий.

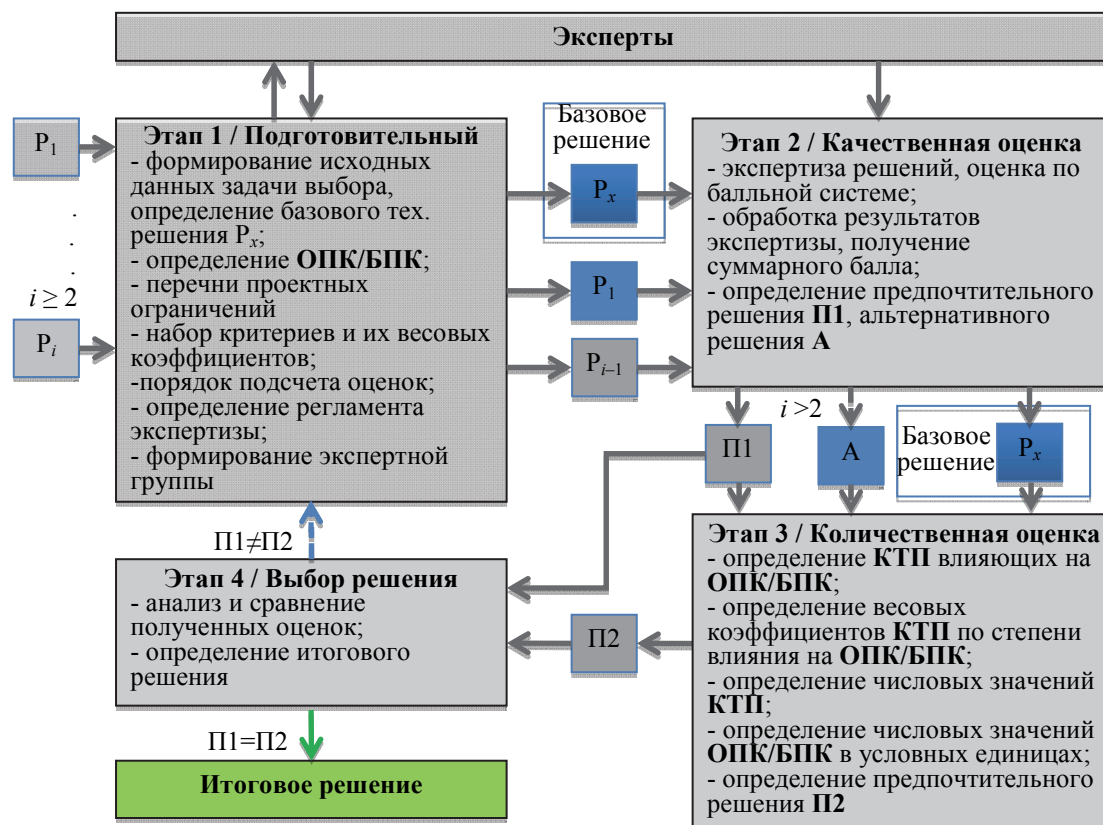


Рис. 1. Функциональная блок-схема методики оценки технических решений на этапе проектирования ( $P_1 \dots P_i$  – рассматриваемые технические решения;  $P_x$  – базовое решение;  $\Pi 1, \Pi 2$  – предпочтительные решения,  $A$  – альтернативное решение)

На втором этапе производится качественная оценка сравниваемых решений группой экспертов-практиков по балльной системе (например, по 10-балльной). При этом в случаях затруднения в оценке по какому-либо критерию эксперт дает оценку по среднему баллу (т.е. 5 при 10-балльной системе). В результате анализа оценок экспертов определяется предпочтительное техническое решение  $\Pi 1$ .

Третий этап включает в себя относительную-количественную оценку и сравнение технических решений на основе анализа конструктивно-технологических параметров (КТП), влияющих на ОПК/БПК, и это влияние определяется в относительных единицах (например, количество энергии, запасаемой в системе, необходимое на смену состояния механического устройства). В результате анализа определяется предварительно предпочтительное техническое решение  $\Pi 2$ .

На четвертом этапе (итоговая оценка) производится анализ и сравнение полученных результатов на предыдущих этапах (на втором и третьем) и обоснованно выбирается окончательное техническое решение для реализации на практике.

Рассмотренная методика была применена при исследовании зубчатых передач исполнительных механизмов, оптико-механических систем и конструкций механического автоматического захвата кластера из состава комплекса оборудования для перегрузки ядерного топлива АЭС. В качестве примера на рис. 2 приведена функциональная блок-схема сопоставления двух схемных решений механического захвата кластера. Частичный функциональный анализ этих схемных решений механического захвата кластера приведен в работе [15].

Таким образом, предложенная методика оценки механических изделий в процессе их проектирования, основанная на качественной и относительно количественной оценке, направленная на повышение их уровня качества, закладываемого на этапах проектирования, подтверждает свою эффективность, и ее

можно рекомендовать для использования в инженерной практике при разработке и изготовлении механических устройств.

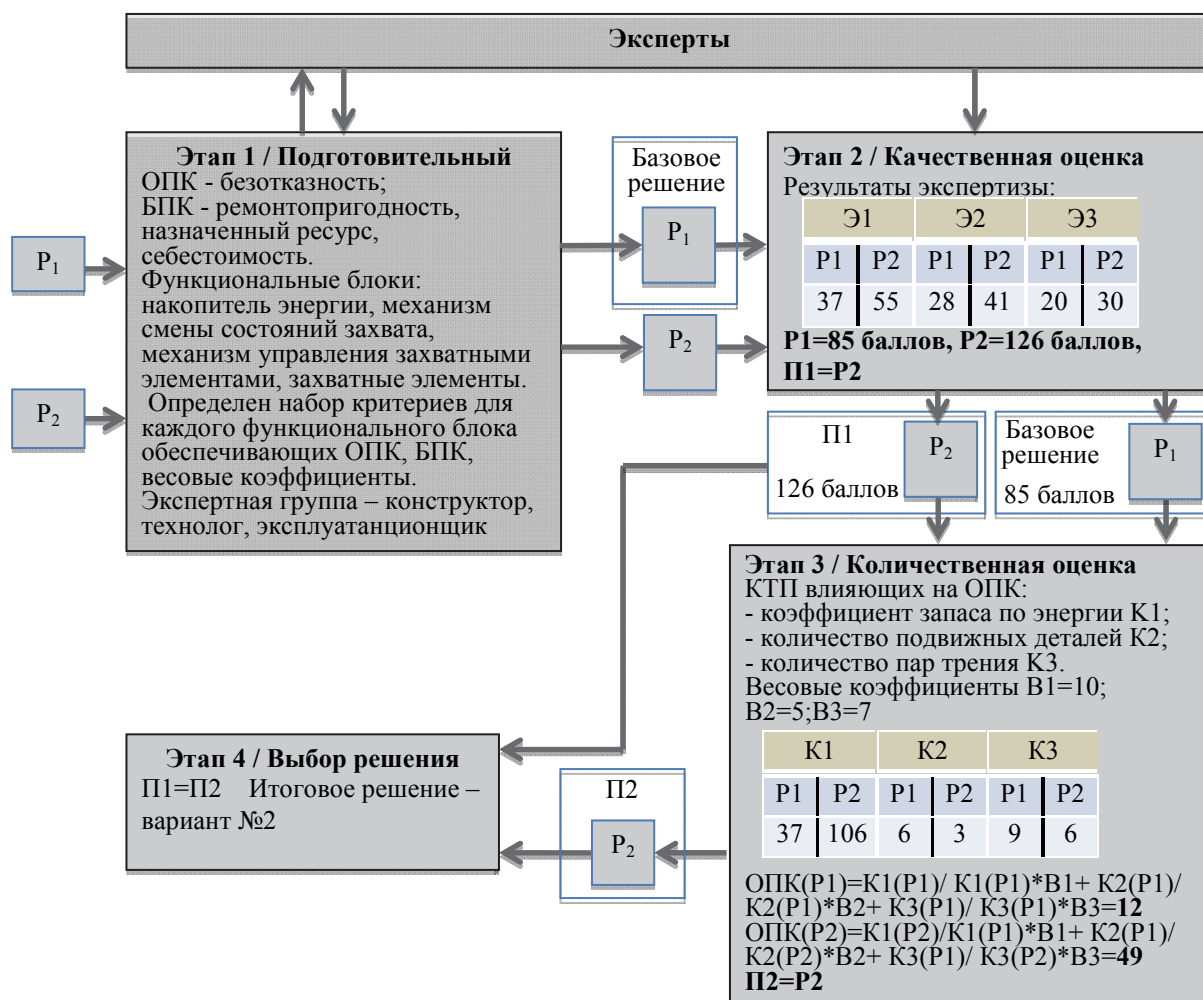


Рис. 2. Функциональная блок-схема сопоставления двух схемных решений механического автоматического захвата кластера

### Литература

1. Стариков В.П., Кац Н.Г. Физико-математические методы в нефтяной технологии. М.: Машиностроение-1, 2007. 152 с.
2. Хорошев А.Н. Основы системного проектирования технических объектов. Москва, 2011. 125 с.
3. Семенов С.С., Полтавский А.В., Маклаков В.В., Крынев А.В. Анализ методов принятия решений при разработке сложных технических систем // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 2014. С. 8101–8123.
4. Рябинин И.А. Логико-вероятностный анализ проблем надежности, живучести и безопасности. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. 600 с.
5. Острейковский В.А., Швыряев Ю.В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. М.: Физматлит, 2008. 352 с.
6. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000. 248 с.
7. Поленин В.И., Рябинин И.А., Свирин С.К., Гладкова И.А. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства. СПб.: РАЕН, 2011. 416 с.
8. Thomas J., Leveson N. Evaluating the safety of digital instrumentation and control systems in nuclear power plants. Research Report NRC-HQ-11-6-04-0060, 2012.
9. Махитко В.П., Засканов В.Г., Савин М.В. Методы оценки показателей надежности изделий по результатам испытаний

### References

1. Starikov V.P., Kats N.G. *Physical and Mathematical Methods in the Oil Techniques*. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2007, 152 p. (In Russian)
2. Khoroshev A.N. *Basics of System Design of Technical Objects*. Moscow, 2011, 125 p. (In Russian)
3. Semenov S.S., Poltavskii A.V., Maklakov V.V., Kryanev A.V. Analysis of decision-making methods in the complex technical systems development. *XII Vserossiiskoe Soveshchanie po Problemam Upravleniya, VSPU-2014*. Moscow, 2014, pp. 8101–8123. (In Russian)
4. Ryabinin I.A. *Logiko-Veroyatnostnyi Analiz Problem Nadezhnosti, Zhivuchesti i Bezopasnosti* [Logical and Probabilistic Analysis of Reliability, Survivability and Security]. Novocherkassk, SRSPU Publ., 2009, 600 p.
5. Ostreikovskii V.A., Shvyryaev Yu.V. *Safety of Nuclear Power Stations. Probabilistic Analysis*. Moscow, Fizmatlit, 2008, 352 p.
6. Ryabinin I.A. *Nadezhnost' i Bezopasnost' Strukturno-Slozhnykh Sistem* [Reliability and Security of Structurally Complex Systems]. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 2000, 248 p.
7. Polenin V.I., Ryabinin I.A., Svirin S.K., Gladkova I.A. *Application of General Logic-Probabilistic Method to Analysis of the Technical, Military, Organizational and Functional Systems and Armed Confrontation*. St. Petersburg, 2011, 416 p.
8. Thomas J., Leveson N. Evaluating the safety of digital instrumentation and control systems in nuclear power plants.

- и эксплуатации // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. №6-1. С. 293–299.
10. Стрельников П.В. Экспериментальная оценка надежности изделий в условиях малого числа отказов // Математические машины и системы. 2011. № 1. С. 141–146.
  11. Стрельников П.В. К оценке граничных уровней контролируемого показателя надежности // Математические машины и системы. 2010. № 2. С. 144–147.
  12. Стрельников П.В. К оценке параметра формы DN-распределения в условиях единичных отказов // Математические машины и системы. 2012. № 1. С. 189–193.
  13. Лисецкий Ю.М. Метод комплексной экспертной оценки для проектирования сложных технических систем // Математические машины и системы. 2006. № 2. С. 141–146.
  14. Коробов В.Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // Научный диалог. 2013. №3. С. 94–108.
  15. Николаев В.В., Медунецкий В.М. Методика оценки уровня качества механических изделий // Евразийский союз ученых. 2015. № 7(16). Ч.2. С. 128–131.
9. Mahitko V.P., Zaskanov V.G., Savin M.V. Methods of products reliability evaluation based on the results of tests and operation. *Proceedings of the Samara Scientific Center of RAS*, 2011, vol. 13, no. 6, pp. 293–299.
  10. Strelnikov P.V. Experimental evaluation of the reliability of products in a small number of failures. *Matematicheskie Mashiny i Sistemy*, 2011, no. 1, pp. 141–146. (In Russian)
  11. Strelnikov P.V. To assessment of levels of the boundary-controlled reliability index. *Matematicheskie Mashiny i Sistemy*, 2010, no. 2, pp. 144–147.
  12. Strelnikov P.V. To the estimation of DN-distribution shape parameter under the condition of a single failure. *Matematicheskie Mashiny i Sistemy*, 2012, no. 1, pp. 189–193.
  13. Lisetskiy Yu.M. Method of complex expert evaluation for difficult technical systems planning. *Matematicheskie Mashiny i Sistemy*, 2006, no. 2, pp. 141–146.
  14. Korobov V.B. Some problems of practical application of expert methods. *Scientific Dialogue*, 2013, no. 3, pp. 94–108.
  15. Nikolaev V.V., Medunetskiy V.M. Technique of quality assessment of mechanical products. *Eurasian Union of Scientists*, 2015, vol. 2, no. 16, pp. 128–131.

### Авторы

**Медунецкий Виктор Михайлович** – доктор технических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, vm57med@yandex.ru

**Николаев Вячеслав Викторович** – ведущий инженер, ЗАО «Системы управления и приборы», Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, mak5@inbox.ru

### Authors

**Viktor M. Medunetskiy** – D.Sc., Full Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, vm57med@yandex.ru

**Vyacheslav V. Nikolaev** – Lead Engineer, "Control Systems and Instruments", JSC, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, mak5@inbox.ru