

# УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

## PRODUCT QUALITY MANAGEMENT. STANDARDIZATION. INDUSTRIAL MANAGEMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)  
УДК 658.562.012.7  
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-145-152



### РАЗВИТИЕ АДАПТИВНЫХ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Голубчик Э.М., Полякова М.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** В условиях крупного металлургического предприятия, как правило, номенклатура выпускаемой продукции представляет собой сотни, а порой и тысячи позиций, как по маркам стали, так и по размерному сортаменту, ориентированному на огромное количество потребителей-заказчиков. При этом технологический процесс и применяемое оборудование в достаточной степени унифицировано. Однако зачастую возникает ситуация, когда появляется заказ на новый вид металлопродукции с жестко нормируемыми показателями качества, технико-технологические возможности изготовления которой на первый взгляд не всегда очевидны. В этих условиях необходимо и возможно применение адаптивных принципов управления качеством. **Цель работы.** Изучение возможности принципов технологической адаптации показателей качества применительно к иерархически сложным системам на основе выбора прецедента. **Используемые методы.** Анализ существующих иерархически сложных технологических систем, декомпозиция технологических систем на основе построения метрик и основные положения квалиметрии. **Новизна.** Разработана концепция управления показателями качества на основе их технологической адаптации к постоянно изменяющимся внешним воздействиям. **Результат.** Разработан алгоритм технологической адаптации показателей качества металлопродукции на основе прецедента в технологической системе. **Практическая значимость.** На примере проектирования технологии производства монетной ленты показаны возможности применения адаптивных принципов управления качеством металлопродукции в многовариантных технологических системах.

**Ключевые слова:** адаптация, показатели качества, металлопродукция, прецедент

© Голубчик Э.М., Полякова М.А., 2024

#### Для цитирования

Голубчик Э.М., Полякова М.А. Развитие адаптивных принципов управления качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №2. С. 145-152. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-145-152>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

## DEVELOPMENT OF ADAPTIVE PRINCIPLES OF METAL PRODUCTS QUALITY MANAGEMENT

Golubchik E.M., Polyakova M.A.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** In a large metallurgical enterprise, as a rule, the product range consists of hundreds and sometimes thousands of items, both by steel grade and by a size range, aimed at a huge number of customers. At the same time, the technological process and the equipment used are sufficiently unified. However, there is often a situation when a customer places an order for a new type of metal products with strictly standardized quality indicators, and the technical and technological capabilities of its manufacturing are not always obvious at first glance. In these conditions, it is necessary and possible to use adaptive principles of quality management. **Objectives.** Research is aimed at studying the possibility of principles of technological adaptation of quality indicators in relation to hierarchically complex systems based on the choice of a precedent. **Methods Applied:** the analysis of existing hierarchically complex technological systems; a decomposition of technological systems based on the construction of metrics; basic provisions of qualimetry. **Originality.** A concept has been developed to manage quality indicators based on their technological adaptation to constantly changing external influences. **Result.** An algorithm has been developed for technological adaptation of quality indicators of metal products based on a precedent in the technological system. **Practical Relevance.** Using the example of designing a technology for the production of strips for stamping coins, the authors show the possibilities to apply adaptive principles of metal products quality management in multiple-option technological systems.

**Keywords:** adaptation, quality indicators, metal products, precedent

### For citation

Golubchik E.M., Polyakova M.A. Development of Adaptive Principles of Metal Products Quality Management. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 145-152. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-145-152>

### Введение

Одной из сложно решаемых проблем современного рынка инновационных видов металлопродукции с высокой добавленной стоимостью является установление баланса желаний и запросов потребителей, с одной стороны, и технико-технологических возможностей производителей – с другой. В связи с этим появляется потребность в создании и формулировке новых подходов и концепций проектирования технологических процессов, обеспечивающих требуемый уровень качества выпускаемой продукции и, соответственно, организации такого производства.

В настоящее время в современной мировой технологической практике управления производством эффективно развиваются концепции, основанные на принципах адаптивного управления качеством продукции. Одним из таких направлений может служить применение принципов «технологической адаптации показателей качества» [1, 2]. В практике управления качеством разработаны и реализованы адаптационные алгоритмы функционирования автономных производственных систем (AMS, IMS-CA), которые базируются на когнитивных технологиях анализа и учета производственных помех, так называемый робастный подход [3, 4]. Кроме того, получают широкое внедрение методы «интеллектуального адаптивного производства». В них используются подходы на ос-

нове адаптации лиц, принимающих решения (ЛПР) по управлению технологическими процессами [5]. Продолжают развиваться методы адаптивного ведения бизнес-процессов на уровне предприятия при ее взаимодействии и адаптации с внешней средой [6]. Получают дальнейшее развитие методы адаптивного управления производством на основе оперативного анализа возникающих проблем и принятия соответствующих корректирующих мероприятий либо использующие решения адаптационных задач на основе прошлого опыта [7-10].

Согласно методологии управления сложными техническими системами, представленной в работах [11, 12], общий принцип управления системой представляет собой определенную последовательность операций по формулировке целей управления, определению объекта управления, синтезу модели и последующей реализации управления. При этом базовым в системе управления является определение и выбор прецедента. Однако описанный в работах метод выбора прецедента не рассматривается с точки зрения управления показателями качества. Наиболее проблемными с точки зрения адаптации показателей качества являются технологии, обеспечивающие выпуск металлопродукции с глубокой степенью переработки, к которой можно отнести, например, продукцию четвертого (лента, трубы) и пятого (метизы) переделов.

## Материалы и методы исследования

В МГТУ им. Г.И. Носова разработан новый подход к управлению качеством, основанный на принципах технологической адаптации показателей качества металлопродукции на основе выбора прецедента и его дальнейшей адаптации [13-15]. В рассматриваемом подходе под термином «технологическая адаптация» понимается процесс целенаправленной корректировки технологической системы в соответствии с заданными критериями приспособления ее структуры и функций к условиям внешней среды. При этом должны быть обеспечены цели эффективного функционирования системы (ожидания потребителей, требования нормативной документации). Под прецедентом понимается базовый вариант технологического процесса, который позволяет сформировать максимально приближенный уровень нормируемых потребителем показателей качества металлопродукции. При этом весь процесс непосредственно адаптации представляется как набор отдельных составляющих элементов, то есть реально возможных различных направлений решения задачи освоения производства конкретного вида продукции с заданными значениями показателей качества. Таким образом, выбор вариантов заключается в определении необходимых элементов адаптации и их сочетаний с учетом адаптации прецедента (рис. 1).

Очевидно, что в условиях многовариантных технологических систем, к которым можно отнести современные производства металлопродукции с глубокой степенью переработки, для реализации процедур адаптации показателей качества проблема выбора прецедента как «наиболее подходящего аналога» является одной из наиболее сложных. Это связано с определением критерия выбора требуемого прецедента. Для решения данной задачи возможно использование подхода, в соответствии с которым необходимо провести сравнение технологического процесса, обеспечивающего достижение показателей качества в текущей базовой ситуации (например, существующий на предприятии базовый набор технологических операций) и в выбранных для анализа технологиях-прецедентах (возможная корректировка набора операций либо направления модернизации технологии и оборудования).

В разработанном подходе адаптивного управления качеством применяется метод «ближайшего соседа» или «принцип одиночной связи», который достаточно активно развит в теории информационных систем. Его основу составляет метод измерения степени близости прецедента и текущего случая по каждому признаку (показателю качества), который можно считать полезным для достижения цели. Для формализации принципа измерения формируется метрика (расстояние) на пространстве всех показателей качества. При этом в исследуемом пространстве находится точка, соответствующая рассматриваемому текущему случаю, и в рамках этой метрики определяется ближайшая к ней точка из всех точек, представляющих собой прецеденты. Непосредственная

оценка показателей качества осуществляется на основе базовых положений теории квалиметрии, то есть каждому показателю качества присваивается весовой показатель (весомость), который учитывает его относительную ценность. Общую степень близости прецедента по всем признакам (показателям качества) можно вычислить по обобщенной формуле типа

$$\frac{\sum_j w_j \cdot \text{sim}(x_{ij}, x_{kj})}{\sum_j w_j},$$

где  $w_j$  – вес  $j$ -го показателя качества;  $\text{sim}$  – функция подобия (метрика);  $x_{ij}$  и  $x_{kj}$  – значения показателя качества  $X_j$  для текущего случая и прецедента соответственно.

В условиях иерархически сложно организованных технологических систем применение методики адаптивного управления качеством на основе прецедента с использованием метода ближайшего соседа приводит к необходимости оценивать не только отдельные показатели качества продукции, но и результат коррекционного воздействия на них, а также на систему в целом. При этом количество процедур адаптации, которые необходимы для обеспечения достижения нормируемых значений показателей качества в выбранной технологической схеме производства, должно быть минимальным. Поэтому очевидно, что наиболее близким можно будет принять прецедент, позволяющий достигать цели за минимальное число шагов. В таких условиях может появиться многоуровневая метрика, так как выход на требуемый уровень качества металлопродукции может быть обеспечен не прямолинейно, а через промежуточные ее состояния. Тогда в общем случае можно представить многоуровневую метрику, где прецеденты сравниваются по состоянию до воздействия, во время воздействия и состоянию после воздействия. В отдельных случаях найденный прецедент может быть полным аналогом текущей ситуации (исходной базовой технологией).

Стадия адаптации прецедента должна содержать следующие ключевые процедуры: определение вариантов адаптации; их проверку на обеспечение требуемого уровня показателей качества; переход к производству с занесением результатов в технологическую базу данных с ее последующим накоплением.

В рамках рассматриваемого подхода адаптации показателей качества по прецеденту различают три вида соответствующих элементов технологической адаптации:

- $A^1$  – адаптация технологических режимов в данной операции (параметрическая адаптация);
- $A^2$  – адаптация технологической схемы производства (структурно-параметрическая адаптация);
- $A^3$  – адаптация требуемого набора показателей качества в исходном состоянии (например, свойства исходной заготовки).

Следовательно, возникает задача выбора рационального варианта адаптации прецедента (рис. 2).

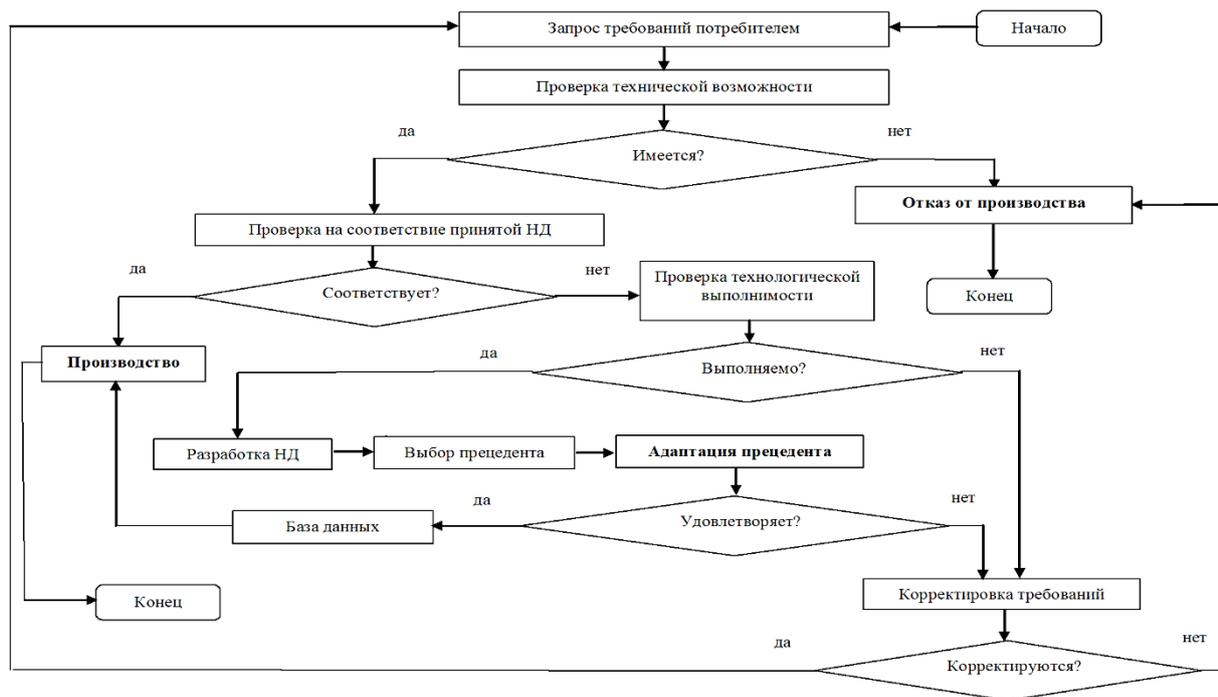


Рис. 1. Алгоритм технологической адаптации показателей качества металлопродукции на основе прецедента в технологической системе

Fig. 1. An algorithm for technological adaptation of the metal products quality indicators based on a precedent in the technological system



Рис. 2. Алгоритм адаптации прецедента в условиях технологической адаптации показателей качества

Fig. 2. An algorithm for adaptation of a precedent in conditions of technological adaptation of the quality indicators

### Полученные результаты и их обсуждение

Одним из примеров реализации разработанного подхода адаптивного управления качеством на базе выбора прецедента является разработка технологии изготовления стальной холоднокатаной ленты для монетных заготовок. В качестве базовой технологии производства ленты (прецедент) была взята имеющаяся на металлургическом предприятии технология, включающая следующие основные операции: продольный роспуск широкой горячекатаной полосы (подката) на узкие полосы; солянокислотное непрерывное травление узкого горячекатаного подката; холодную прокатку травленной ленты на конечную толщину; термообработку холоднокатаной ленты в колпаковых печах с защитной азото-водородной атмосферой; дрессировку термообработанной холоднокатаной ленты; продольный роспуск дрессированной ленты на заказную ширину.

Следует отметить, что особенностью рассматриваемого производства ленты является технологическая многовариантность, то есть возможность осуществления нескольких прокаток и термообработок. Таким образом, при проектировании эффективной технологии изготовления монетной ленты возникла проблема выбора исходного прецедента. Кроме того, при выборе технологии-прецедента требовалось учитывать особенности непосредственно монетной ленты, к которым можно отнести сложно сочетаемый набор нормируемых потребителем показателей качества, среди которых наиболее значимыми являются: твердость поверхности в узком диапазоне ( $HR15T = 72-76$  ед.) для обеспечения процесса чеканки и снижения при этом износа рабочего инструмента, а также для бездефектной высокоскоростной вырубке монетной заготовки, исключения частых переналадок оборудования; низкие значения шероховатости поверхности ленты ( $Ra$  не более  $0,8$  мкм; влияет на расход и качество никелевого покрытия на монете); высокая точность изготовления по толщине ленты ( $\Delta h = 0/-0,06$  мм), что связано с весом и геометрией монеты. При проектировании и разработке технологии изготовления монетной ленты наиболее сложным оказалось обеспечение нормируемой твердости поверхности ленты, что связано со сложностями достижения узкого диапазона твердости горячекатаного подката в силу специфики процесса горячей прокатки.

Таким образом, выбор прецедента сводился к управлению качеством по обеспечению твердости при возможной адаптации других показателей качества. При этом на основе комплексных исследований, связанных с определением химического состава стали, режимов горячей и холодной прокатки, режимов термообработки и дрессировки ленты, применялись принципы адаптации технологических режимов (эле-

мент адаптации  $A^3$ ), а также адаптации характеристик подката (элемент адаптации  $A^2$ ) (см. рис. 2). Причем элемент технологической адаптации, предусматривающий изменение непосредственно характеристик подката ( $A^3$ ) для монетной ленты, также учитывал подбор рационального сочетания химического состава стали (был предложен химический состав стали: марка стали типа IF), а также температурных режимов горячей прокатки и смотки горячекатаной полосы в рулон.

На основе указанного выше для выработки эффективного механизма технологической адаптации по описанному алгоритму было принято решение производить контроль механических свойств горячекатаного подката. Так, с учетом нормирования показателя твердости холоднокатаной ленты HR15T проводились испытания горячекатаного подката на определение твердости по Роквеллу (HRB), выбранной в качестве единого интегрального показателя механических свойств подката. Было установлено, что независимо от применяемых технологических режимов прокатки, термообработки и дрессировки ленты с увеличением твердости исходного горячекатаного подката возрастает и твердость готовой холоднокатаной монетной ленты. Вследствие этого при выработке адаптационных решений для обеспечения требуемого уровня твердости готовой монетной ленты обязателен учет качественных характеристик подката (в рассматриваемом случае твердости HRB), чего не предусматривалось ранее в базовой технологии производства ленты.

При этом из анализа результатов проведенных исследований было определено, что для гарантированного обеспечения требуемого диапазона твердости готовой ленты  $HR15T = 72-76$  ед. для выбранного прецедента необходимы следующие адаптационные условия: твердость исходного горячекатаного подката  $46-49$  ед. HRB; суммарное относительное обжатие при холодной прокатке  $60-75\%$ ; температура окончательной выдержки при рекристаллизационном отжиге ленты  $730^\circ\text{C}$ ; относительное обжатие при дрессировке  $1,1-1,4\%$ . Таким образом, при неизменности базовой технологической схемы производства ленты, характерной для выбранного прецедента, адаптационным воздействиям подверглись исходные характеристики подката и режимы технологических операций холодного передела при изготовлении указанной ленты. На рис. 3 представлено полученное частотное распределение значений показателя качества готовой монетной ленты – твердость HR15T при достижении всех остальных нормируемых показателей качества.

На рис. 4 представлено соотношение освоенных толщин монетной ленты и монет Российской Федерации.

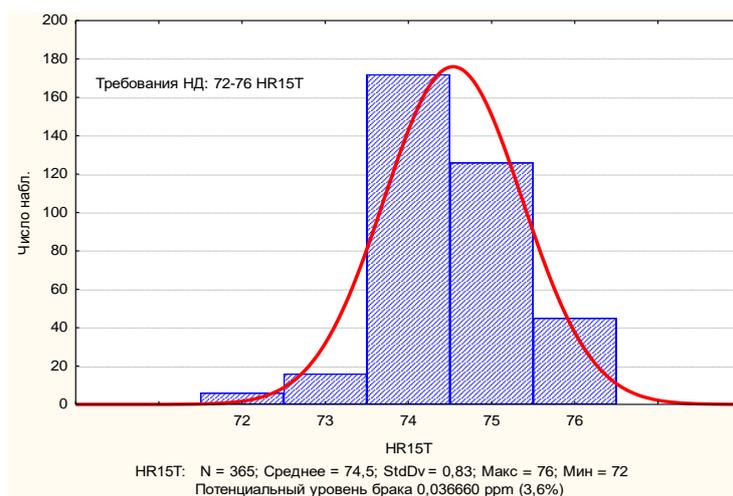


Рис. 3. Гистограмма частотного распределения твердости HR15T холоднокатаной монетной ленты  
 Fig. 3. A frequency histogram of hardness HR15T of cold rolled strips for coins



Рис. 4. Освоенные толщины холоднокатаной ленты для изготовления монетных заготовок  
 Fig. 4. Mastered thicknesses of cold rolled strips for manufacturing coin blanks

**Заключение**

Таким образом, разработанный подход адаптивного управления качеством металлопродукции на основе прецедента применительно к сложным многовариантным технологическим системам позволяет эффективно обеспечивать устойчивый баланс интересов (запросов) потребителей и возможности производителей. При этом у предприятия-производителя металлопродукции даже при явной в первом приближении невозможности обеспечить запрашиваемый потребителем уровень ее показателей качества появляется возможность проанализировать свои ресурсы и максимально использовать технологические резервы для удовлетворения интересов потребителя.

**Список источников**

1. Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1(45). С. 63-69.
2. Применение адаптационных механизмов для повышения качества продукции с глубокой степенью переработки / Голубчик Э.М., Корчунов А.Г.,

Пивоварова К.Г., Лысенин А.В. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. №5. С. 131-134.

3. Park H.S., Tran N.-H. An autonomous manufacturing system for adapting to disturbances // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. October 2011, vol. 56, iss. 9-12, pp. 1159-1165.
4. Park H.S., Tran N.-H. A cognitive agent based manufacturing system adapting to disturbances // International Journal of Control, Automation and Systems. August 2012, vol. 10, iss. 4, pp. 806-816.
5. Sokol M.B. Adaptation to difficult designs: Facilitating use of new technology // Journal of Business and Psychology. Spring 1994, vol. 8, iss. 3, pp. 277-296.
6. Kim N., Pae J.H. Utilization of new technologies: organizational adaptation to business environments // Journal of the Academy of Marketing Science. June 2007, vol. 35, iss. 2, pp. 259-269.
7. Žapčević S., Butala P. Adaptive process control based on a self-learning mechanism in autonomous manufacturing systems // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. June 2013, vol. 66, iss. 9-12, pp. 1725-1743.

8. Akwei C., Zhang L. Integrating risk and performance management in quality management systems for the development of complex bespoke systems (CBSs) // *Production Planning & Control*. 2018, vol. 29(15), pp. 1275-1289.
9. Analysis and synthesis of complex technological systems / Ohrimenko O.I., Vilisova M.L., Rokotyanskaya V.V., Bidova B.B., Popovskaya A.S. // *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*. 2019, vol. 14(6), pp. 322-328.
10. Technology of Quality and Reliability of Complex Technical Systems Characteristics Stage-by-stage Improvement on Examples of Rocket-Space Technology Objects / Ivanov V.P., Zawadzki V.K., Kablova E.B., Klenovaya L.G. // *Advances in Systems Science and Applications*. 2019, vol. 19(2), pp. 1-7.
11. Растрингин Л.А., Мафжаров Н.Е. Введение в идентификацию объектов управления. М.: Энергия, 1977. 214 с.
12. Растрингин Л.А. Адаптация сложных систем // *Известия АН Латвийской ССР*. 1978. №5(370). С. 87-97.
13. Golubchik E., Polyakova M., Gulin A. Adaptive approach to quality management in combined methods of materials processing // *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 656, pp. 497-506.
14. Golubchik E.M., Polyakova M.A., Chikishev D.N. Modern approaches to product quality adaptive control // *International Journal for Quality Research*. 2024, vol. 18(1), pp. 199-208.
15. Голубчик Э.М., Полякова М.А. Особенности управления качеством металлопродукции в многообъектных технологических системах // *Качество. Инновации. Образование*. 2023. №4(186). С. 3-11.
4. Park H.S., Tran N.-H. A cognitive agent based manufacturing system adapting to disturbances. *International Journal of Control, Automation and Systems*. 2012;10(4):806-816.
5. Sokol M.B. Adaptation to difficult designs: Facilitating use of new technology. *Journal of Business and Psychology*. 1994;8(3):277-296.
6. Kim N., Pae J.H. Utilization of new technologies: organizational adaptation to business environments. *Journal of the Academy of Marketing Science*. 2007;35(2):259-269.
7. Žapčević S., Butala P. Adaptive process control based on a self-learning mechanism in autonomous manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013;66(9-12):1725-1743.
8. Akwei C., Zhang L. Integrating risk and performance management in quality management systems for the development of complex bespoke systems (CBSs). *Production Planning & Control*. 2018;29(15):1275-1289.
9. Ohrimenko O.I., Vilisova M.L., Rokotyanskaya V.V., Bidova B.B., Popovskaya A.S. Analysis and synthesis of complex technological systems. *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*. 2019;14(6):322-328.
10. Ivanov V.P., Zawadzki V.K., Kablova E.B., Klenovaya L.G. Technology of quality and reliability of complex technical systems characteristics stage-by-stage improvement on examples of rocket-space technology objects. *Advances in Systems Science and Applications*. 2019;19(2):1-7.
11. Rastrigin L.A., Mafzharov N.E. *Vvedenie v identifikatsiyu obektov upravleniya* [Introduction to identification of control objects]. Moscow: Energiya, 1977, 214 p. (In Russ.)
12. Rastrigin L.A. Adaptation of complex systems. *Izvestiya AN Latvyskoy SSR* [News of the Academy of Sciences of the Latvian Soviet Socialist Republic]. 1978;(5(370)):87-97. (In Russ.)
13. Golubchik E., Polyakova M., Gulin A. Adaptive approach to quality management in combined methods of materials processing. *Applied Mechanics and Materials*. 2014;656:497-506.
14. Golubchik E.M., Polyakova M.A., Chikishev D.N. Modern approaches to product quality adaptive control. *International Journal for Quality Research*. 2024;18(1):199-208.
15. Golubchik E.M., Polyakova M.A. Features of steel products quality management in multi-object technological systems. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Innovation. Education]. 2023;(4(186)):3-11. (In Russ.)

### References

Поступила 26.03.2024; принята к публикации 11.04.2024; опубликована 27.06.2024  
Submitted 26/03/2024; revised 11/04/2024; published 27/06/2024

**Голубчик Эдуард Михайлович** – доктор технических наук, профессор,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.  
Email: e.golubchik@magtu.ru. ORCID 0000-0003-3064-1311

**Полякова Марина Андреевна** – доктор технических наук, профессор,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.  
Email: m.polyakova@magtu.ru. ORCID 0000-0002-1597-8867

**Eduard M. Golubchik** – DrSc (Eng.), Professor,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.  
Email: e.golubchik@magtu.ru. ORCID 0000-0003-3064-1311

**Marina A. Polyakova** – DrSc (Eng.), Professor,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.  
Email: m.polyakova@magtu.ru. ORCID 0000-0002-1597-8867