

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

FUNDAMENTALS OF RELIABILITY AND QUALITY ISSUES

УДК 621.396.6:004.9

doi:10.21685/2307-4205-2023-1-1

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА

О. Н. Пчельникова-Гротова

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
grotova@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Современные способы повышения эффективности производства и повышения качества продукции, использующие функционально-стоимостной анализ (ФСА), главную роль отводят стоимостной оценке бизнес-процессов. Предлагаемая методика, положенная в основу разработанной системы, на первый план выдвигает функциональный подход к анализу объектов, что позволяет сформулировать предложения по совершенствованию как конкретных изделий, так и бизнес-процессов на всех уровнях их организации. *Материалы и методы.* Методика исследования заключается в последовательном построении имитационных моделей объекта анализа. Применение экспертных оценок на всех этапах моделирования дает возможность получить оригинальные решения по улучшению качества и повышению конкурентоспособности анализируемого объекта. Методика ФСА полностью соответствует восьми принципам менеджмента качества, представляющим основу стандартов семейства ИСО 9000:2015. *Результаты и выводы.* Разработанные алгоритмы и программы системы ФСА позволяют пользователям в сжатые сроки исследовать объекты различного уровня и применения. Решения, получаемые в результате анализа, носят нетривиальный характер и способствуют достижению оптимального соотношения «цена–качество». Предложенная методика иллюстрируется примерами анализа изделия с помощью автоматизированной системы ФСА.

Ключевые слова: функционально-стоимостной анализ, имитационное моделирование, экспертная оценка, техническая система, бизнес-процесс

Для цитирования: Пчельникова-Гротова О. Н. Повышение качества продукции на основе системы функционально-стоимостного анализа // Надежность и качество сложных систем. 2023. № 1. С. 5–12. doi:10.21685/2307-4205-2023-1-1

IMPROVING THE QUALITY OF PRODUCTS ON THE BASIS OF THE SYSTEM OF FUNCTIONAL-COST ANALYSIS

O.N. Pchelnikova-Grotova

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia
grotova@mail.ru

Abstract. *Background.* Modern methods of increasing production efficiency and improving product quality, using functional cost analysis (FSA), assign the main role to the valuation of business processes. The proposed methodology, which is the basis of the developed system, brings to the fore a functional approach to the analysis of objects, which makes it possible to formulate proposals for improving both specific products and business processes at all lev-

els of their organization. *Materials and methods.* The research methodology consists in the consistent construction of simulation models of the object of analysis. The use of expert assessments at all stages of modeling makes it possible to obtain original solutions to improve the quality and increase the competitiveness of the analyzed object. The FSA methodology is fully consistent with the eight principles of quality management, which are the basis of the ISO 9000:2015 family of standards. *Results and conclusions.* The developed algorithms and programs of the FSA system allow users to explore objects of various levels and applications in a short time. The solutions obtained as a result of the analysis are non-trivial and contribute to the achievement of the optimal quality-price ratio. The proposed technique is illustrated by examples of product analysis using an automated FSA system.

Keywords: functional cost analysis, simulation modeling, expert assessments, technical system, business process

For citation: Pchelnikova-Grotova O.N. Improving the quality of products on the basis of the system of functional-cost analysis. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2023;(1):5–12. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2023-1-1

Введение

В настоящее время практически каждая компания в экономически развитых странах использует методологию функционально-стоимостного анализа (ФСА) для решения задач повышения конкурентоспособности продукции путем повышения качества при одновременном снижении ее себестоимости. Такой подход к рассмотрению любого изделия основан на том, что потребителя интересует не продукт сам по себе, а его функции, качество их выполнения и затраты на приобретение этого качества, т.е. оптимальное соотношение «цена–качество».

Метод ФСА основан на представлении, что в любом объекте (изделие, процесс, управленческая структура) есть скрытые резервы его совершенствования за счет повышения его функциональных возможностей и снижения избыточных затрат [1]. Рассматриваемая здесь система оказывает пользователю практическую интеллектуальную поддержку в выявлении этих резервов путем последовательного построения ряда моделей, анализа этих моделей для выявления недостатков объекта и формулирования задач по их устранению.

В качестве объекта анализа в системе ФСА используется понятие «техническая система» (ТС) [2], которая представляет собой систему, включающую хотя бы один искусственный элемент и имеющую целью удовлетворение хотя бы одной потребности человека. Выделение элементов в техническую систему носит субъективный характер. Для ТС характерен закон S-образного развития [3], в соответствии с которым совершенствование любой ТС происходит по кривой, содержащей три этапа: 1 – медленный рост (зарождение); 2 – быстрое лавинообразное нарастание; 3 – стабилизация характеристик системы. После выполнения последнего этапа развитие системы прекращается.

Организация работы в системе ФСА

Задачей ФСА является создание усовершенствованной ТС (УТС), полученной в результате устранения выявленных недостатков и имеющей по сравнению с исходной системой более высокие функциональные показатели при меньших затратах (рис. 1).

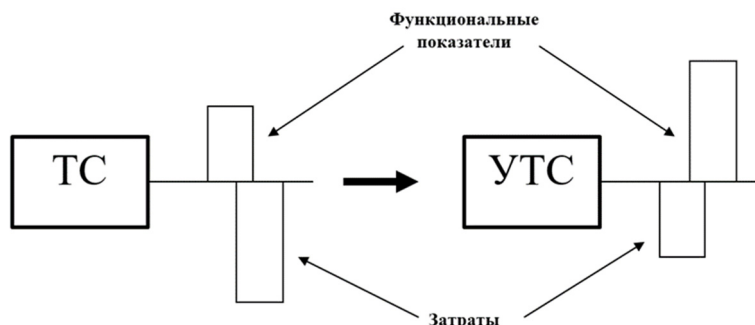


Рис. 1. Совершенствование технической системы

Рассматриваемая система ФСА состоит из нескольких блоков (рис. 2) и позволяет проводить анализ как по отдельным блокам (пошаговый режим), выбирая доступный блок по ходу анализа, так и по заранее выбранному пути (маршрутный режим).

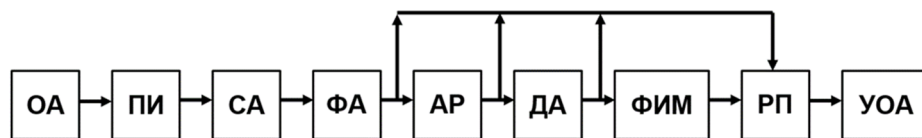


Рис. 2. Структура системы: ТС – техническая система; ПИ – блок подготовки информации; СА – блок структурного анализа; ФА – блок функционального анализа; АР – блок анализа ресурсов; ДА – блок диагностического анализа; ФИМ – блок функционально-идеального моделирования; РП – блок решения проблемы; УТС – усовершенствованная техническая система

Порядок работы блоков системы

Блок подготовки информации (ПИ) предназначен для ввода исходных данных, необходимых для начала работы с системой. Такими данными являются:

- название объекта анализа (ОА);
- цель анализа;
- условия использования ОА (типовая ситуация использования ОА на одной из стадий жизненного цикла);
- фамилия сотрудника, проводящего анализ.

Например, для устройства, предназначенного для очистки поверхностей [4], в блоке подготовки информации нужно ввести следующие данные:

- клинер;
- модернизация объекта;
- удаление грязи с поверхности;
- Иванов А. И.

В **блоке структурного анализа (СА)** выполняется построение структурной модели и проводится ее анализ. Сначала определяются состав ОА и иерархия его элементов, представляющие компонентную модель. Каждый объект рассматривается как система, в состав которой, кроме компонентов (элементов ОА), могут входить подсистемы, сама система в свою очередь является частью системы более высокого уровня (надсистемы) (рис. 3).

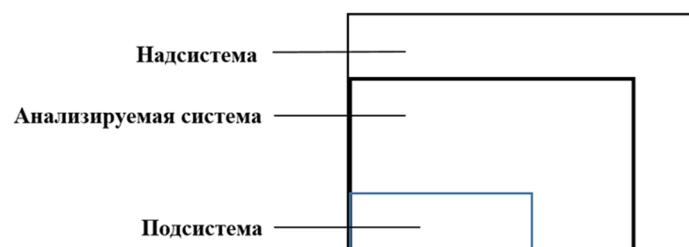


Рис. 3. Иерархия составных частей объекта анализа

В компонентную модель ОА входят элементы надсистемы, с которыми его компоненты взаимодействуют в заданных условиях использования. На разных стадиях жизненного цикла объекта в надсистему могут входить: оборудование, материалы, производственное помещение, объект функции, источник энергии, транспортные средства, упаковка, элементы внешней среды и т.д.

Например, в надсистему ОА «КЛИНЕР» вводят элементы «Источник энергии» и «загрязнение».

Далее устанавливается наличие/отсутствие связи между компонентами ОА, в результате чего получается матрица, представляющая собой компонентную модель ОА. Если связь между компонентами существует, проводится описание этих связей во времени (постоянно, периодически или разово) и в пространстве (в непосредственном контакте, в контакте через третий элемент или через поле).

Если компоненты взаимодействуют между собой, то один из них должен совершать некоторое полезное действие, целью которого является функционирование ОА. Это действие должно быть описано в модели. Если при этом возникает какой-либо нежелательный эффект, то его также следует указать.

Например, компонентная модель клинера включает компоненты КОРПУС, ПОРШЕНЬ, ПРУЖИНА, РАСТВОРИТЕЛЬ, ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ и ЗАГРЯЗНИТЕЛЬ. Компоненты ПОРШЕНЬ–ПРУЖИНА взаимодействуют *постоянно, в непосредственном контакте*. При этом полезное действие – *перемещать поршень*, нежелательного эффекта нет.

Блок функционального анализа (ФА) предназначен для выявления и формулировки функций ОА, ранжирования функций и построения функциональной модели ОА в виде причинно-следственных цепочек функций методом FAST [5], который основан на постепенном описании всей цепочки, в которой функции последовательно связаны между собой. При этом компоненты рассматриваются только с точки зрения выполняемых ими функций, абстрагируясь от их вещественного воплощения. Сначала определяется направленность функции, так как при взаимодействии компонентов один из них (активный) воздействует на другой (пассивный). Затем формулируется главная функция ее носителя, состоящая из действия и объекта функции (рис. 4). В формулировке функции может также присутствовать дополнение, описывающее время, место, направление функции и т.п.



Рис. 4. Структура формулирования функции

После формулировки главных функций всех компонентов проводится ранжирование функций, т.е. определение значимости этих функций относительно главной. В порядке убывания значимости выделяют следующие ранги функций: главная (Г), основная (О), вспомогательная (В) и ненужная (Н).

Например, функциональная модель клинера имеет следующий вид:

КЛИНЕР – удалять грязь – Г
 РАСТВОРИТЕЛЬ – удалять грязь – В
 КОРПУС – удерживать растворитель – В
 ПОРШЕНЬ – перемещать растворитель – В
 ПРУЖИНА – перемещать поршень – Н

Блок анализа ресурсов (АР) предназначен для экспертной оценки качества выполнения компонентами требуемых функций с помощью сравнения фактического значения параметра с требуемым [6]. Различают нормальный, избыточный и недостаточный ресурс по функциям в зависимости от качества ее выполнения (рис. 5). Наличие избыточных и недостаточных ресурсов является недостатком ОА. Их своевременное выявление и устранение – один из способов совершенствования ТС.

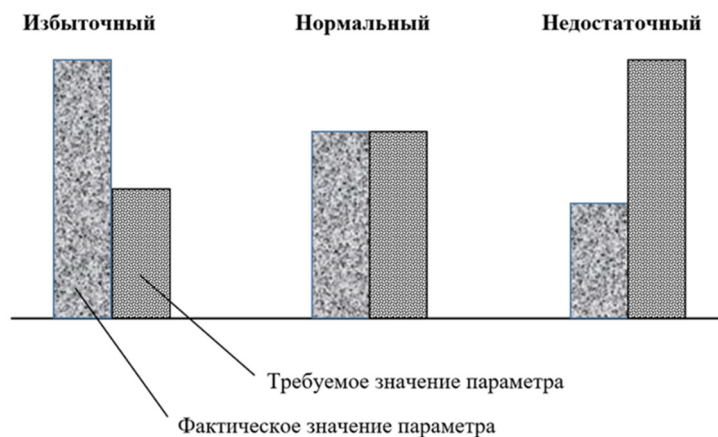


Рис. 5. Виды ресурсов по функциям

Например, ПОРШЕНЬ
 Функция – перемещать растворитель – В
 Параметр – скорость перемещения
 Фактическое значение – 20 мм/с
 Требуемое значение – 25 мм/с
 Ресурс функции недостаточный.

Блок диагностического анализа (ДА) предназначен для нахождения в АО компонентов, требующих совершенствования, а также должен сформулировать предложения по устранению недостатков. Анализ проводится путем сравнения проблемной, функциональной и затратной значимостей компонентов, которые определяются в большинстве случаев методом экспертных оценок [7].

При оценке проблемной значимости экспертам предоставляется возможность оценить в процентах недостатки каждого компонента и сформулировать предложения по их устранению.

В ходе анализа функциональной значимости оценивается вклад каждого компонента в выполнение главной функции АО. При этом учитывается ранг главной функции компонентов, а также количество и значимость дополнительных функций.

Затратная значимость компонентов оценивается по нескольким статьям затрат (на материалы, на покупные изделия, трудовые, на сборку и др.), после чего полученные оценки по разным статьям приводятся к общим единицам измерения. В результате выявляются компоненты с избыточным уровнем затрат (компоненты 2 и 5, рис. 6).

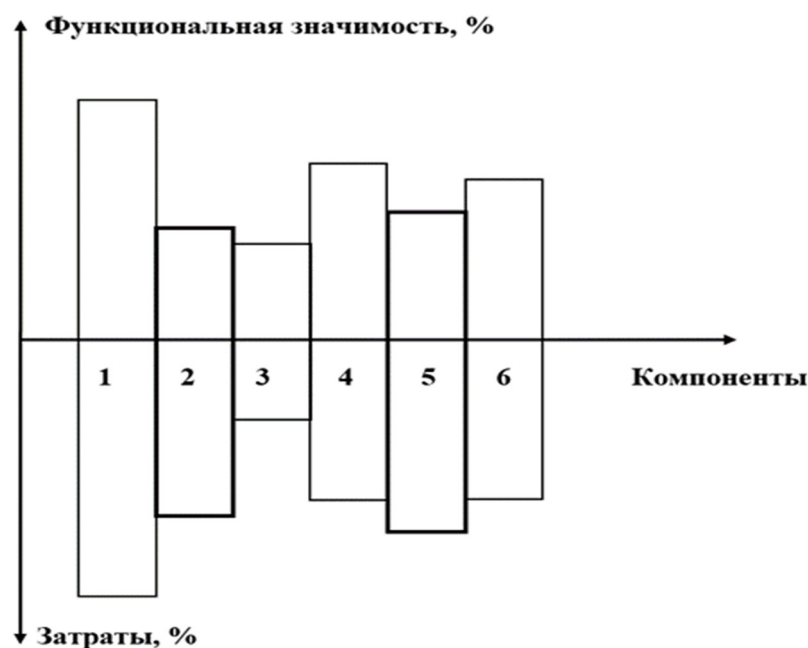


Рис. 6. Сравнительная оценка функциональной и затратной значимости

В результате все компоненты разделяются на три группы приоритетов, определяющие, в каком порядке они будут рассматриваться при дальнейшем анализе. К первой группе приоритетов система относит компоненты, сумма оценок которых составляет около 75 %, ко второй – около 20 %, к третьей – оставшиеся компоненты.

Далее можно перейти к функционально-идеальному моделированию, представляющему собой процедуру анализа, в результате которой происходит повышение идеальности АО за счет эффективного выполнения полезных функций минимальным числом компонентов.

Блок функционально-идеального моделирования (ФИМ) предназначен для преобразования функциональной модели ОА в функционально-идеальную и формулировки задач по ее реализации. Таким образом, функционально-идеальная модель содержит меньшее количество функций и, следовательно, меньшее число компонентов по сравнению с исходной моделью. При исключении компонента из модели ОА его функции либо ликвидируются, либо передаются остальным компонентам. Уменьшить число компонентов (свернуть компонент) в модели ОА (рис. 7) можно тремя способами.



Рис. 7. Фрагмент функциональной модели ОА

Способ 1. Случай отсутствия объекта функции (рис. 8).



Рис. 8. Фрагмент первого способа свертывания компонента 1

При выполнении этого условия анализируемый компонент (1, см. рис. 8) и его функция $F1$ становятся ненужными, и их можно исключить из состава ОА. Но в этой ситуации необходимо проанализировать условия свертывания компонента (2, см. рис. 8), на который была направлена удаляемая функция, с точки зрения обеспечения выполнения функции $F2$. Этот процесс можно повторять для всех компонентов ОА, связанных причинно-следственной цепочкой функций, до тех пор, пока в объекте не появятся недопустимые изменения.

Способ 2. Функцию выполняет сам объект функции (рис. 9).



Рис. 9. Фрагмент второго способа свертывания компонента 1

При выполнении второго условия из ОА исключается только анализируемый компонент (1, см. рис. 9), а его функцию $F1$ начинает выполнять компонент (2, см. рис. 9), на который было направлено действие функции. Для этого компонент следует изменить так, чтобы он самостоятельно смог выполнять перенесенную на него функцию.

Способ 3. Функцию выполняют оставшиеся элементы ОА (рис. 10).

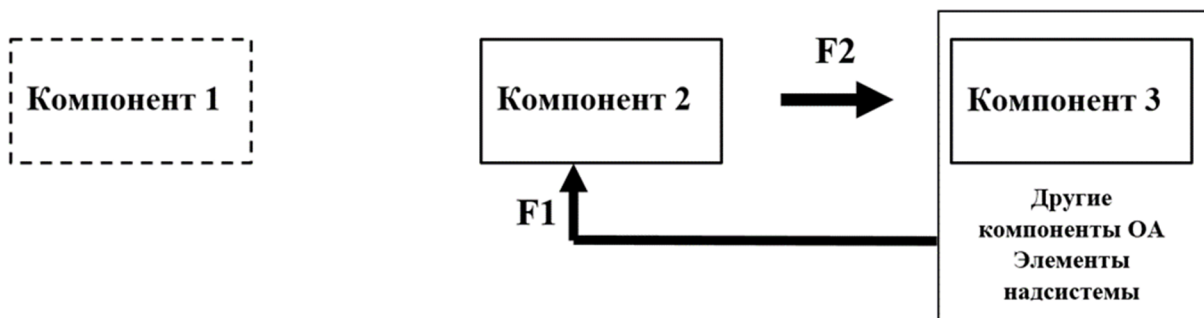


Рис. 10. Фрагмент третьего способа свертывания компонента 1

При исключении компонента (1, рис. 10) согласно третьему условию его функции передаются другим компонентам ОА или элементам надсистемы. Для элементов, на которые переносится функция $F1$ удаляемого элемента, необходимо сформулировать предложения по их изменению таким образом, чтобы они смогли выполнять перенесенную функцию.

Например, для АО «КЛИНЕР» анализ условий свертывания выглядит следующим образом:

Для компонента ПРУЖИНА и его функции – *перемещать поршень*.

1. Нет компонента ПОРШЕНЬ.
2. Функцию *перемещать поршень* выполняет сам компонент ПОРШЕНЬ.
3. Функцию *перемещать пружину* выполняют компоненты – КОРПУС, РАСТВОРИТЕЛЬ или элементы надсистемы.

В результате анализа условий свертывания ликвидирован компонент ПРУЖИНА и его функция *перемещать поршень* передана компоненту ПОРШЕНЬ.

Предложено сделать ПОРШЕНЬ и ПРУЖИНУ единым элементом, выполняющим функцию «перемещать поршень», конструктивно в качестве такого элемента можно использовать сильфон.

Заключение

Программная реализация рассматриваемой системы позволила существенно упростить и формализовать работу специалистов на всех этапах моделирования в ФСА. Разработанная система предоставляет возможность совместной работы конструкторов, технологов, организаторов производства и экспертов из различных отраслей над возникающими проблемами, что особенно важно в современных условиях, когда стандарты качества в международной экономике ориентированы на процессный подход к управлению производством. Мониторинг всех процессов жизненного цикла объектов анализа позволяет существенно повысить конкурентоспособность организаций в результате снижения затрат на объекты с одновременным повышением их ценности для потребителя. Широкое применение методов экспертных оценок, в частности «мозгового штурма», позволяет на основе рекомендаций системы ФСА найти нестандартные варианты совершенствования объектов анализа.

Благодаря тому, что в основу ФСА положен системный подход, предлагаемая система имеет очень широкую сферу применения: от совершенствования конкретных изделий и процессов до систем подготовки и управления производством, а также для исследования деятельности и перспектив развития организаций и программ различного уровня.

Список литературы

1. Шеремет А. Д., Ковалев А. П. Функционально-стоимостный анализ : учеб. пособие. М. : Изд-во эконом. ф-та МГУ им. М. В. Ломоносова, 2017. 204 с.
2. Скуратович А. И. Интеллектуальная система поддержки проведения функционально-стоимостного анализа – ИМ-ФСА. // Журнал ТРИЗ. 1991. № 2. С. 27–34.
3. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. Теория решения изобретательских задач. М. : Сов. радио, 1979. 184 с.
4. Гротова О. Н. Функционально-стоимостной анализ создания устройств информационной и вычислительной техники : учеб. пособие. М. : Изд-во МАИ, 2002. 44 с.
5. Никитина Е. Б. Функционально-стоимостный анализ : учеб. пособие. Пермь, 2021. 100 с. URL: www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/nikitinafunkcionalno-stoimostnyj-analiz.pdf
6. Викентьев И. Л. Перечень контрольных вопросов для выявления и использования ресурсов при решении простых производственных задач // Журнал ТРИЗ. 1992. № 3. С. 67–68.
7. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование : учебник в 3 ч. Ч. 2. Экспертные оценки. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 486 с.

References

1. Sheremet A.D., Kovalev A.P. *Funktsional'no-stoimostnyy analiz: ucheb. posobie = Functional and cost analysis : textbook*. Moscow: Izd-vo ekonom. f-ta MGU im. M.V. Lomonosova, 2017:204. (In Russ.)
2. Skuratovich A.I. Intelligent support system for functional and cost analysis - IM-FSA. *Zhurnal TRIZ = Journal of TRIZ*. 1991;(2):27–34. (In Russ.)
3. Al'tshuller G.S. *Tvorchestvo kak tochnaya nauka. Teoriya resheniya izobretatel'skikh zadach = Creativity as an exact science. Theory of solving inventive problems*. Moscow: Sov. radio, 1979:184. (In Russ.)
4. Grotova O.N. *Funktsional'no-stoimostnoy analiz sozdaniya ustroystv informatsionnoy i vychislitel'noy tekhniki: ucheb. posobie = Functional and cost analysis of the creation of information and computer technology devices : textbook*. Moscow: Izd-vo MAI, 2002:44. (In Russ.)
5. Nikitina E.B. *Funktsional'no-stoimostnyy analiz: ucheb. posobie = Functional and cost analysis : textbook*. Perm, 2021:100. (In Russ.). Available at: www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/nikitinafunkcionalno-stoimostnyj-analiz.pdf
6. Vikent'ev I.L. List of control questions for identifying and using resources in solving simple production tasks. *Zhurnal TRIZ = Journal of TRIZ*. 1992;(3):67–68. (In Russ.)
7. Orlov A.I. *Organizatsionno-ekonomicheskoe modelirovanie: uchebnik v 3 ch. Ch. 2. Ekspertnye otsenki = Organizational and economic modeling : textbook in 3 hours 2. Expert assessments*. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2011:486. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Ольга Николаевна Пчельникова-Гротова

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры цифровых технологий
и информационных систем,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: grotova@mail.ru

Olga N. Pchelnikova-Grotova

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of digital technologies and information systems,
Moscow Aviation Institute
(National Research University)
(4 Volokolamsk highway, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 21.11.2022

Поступила после рецензирования/Revised 23.12.2022

Принята к публикации/Accepted 20.01.2023