DOI: 10.54861/27131211_2023_11_19

Специальность ВАК: 5.2.3

УДК 338.28: 338.984

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОЕНИЯ

Бобков И.А., аспирант, Московский авиационный институт (МАИ), г. Москва, Россия

Аннотация. Целью данной статьи является формирование экономического инструментария анализа цифровых двойников инновационной продукции авиастроения, под которой в данном исследовании понимаются беспилотные летательные аппараты самолетного типа (БПЛА). Задача исследования состоит в поиске такой конфигурации БПЛА и такой комбинации существующих материалов авиастроения, которые позволят значительно улучшить их летные характеристики. Автором показано, что качественное улучшение основных параметров БПЛА напрямую влияет на получение стратегического конкурентного преимущества на рынке беспилотных авиационных систем. Предложен экономический инструментарий анализа цифровых двойников, основанный на понятии «стратегической целесообразности производства», то есть показателя целесообразности производства авиационной техники, обеспечивающего конкурентное преимущество в долгосрочной перспективе за счёт качественного изменения лётных характеристик в разработанной конфигурации, учитывающий сложность обновления производства, ценовой фактор. Множество анализируемых цифровых двойников формируется посредством нейросетевого моделирования. Нейронные сети были обучены на

сведениях о различных моделях БПЛА самолетного типа, что закладывает в полученные модели некоторый опыт авиастроения и позволяет производить эффективное планирование производства для получения стратегического конкурентного преимущества. Полученные в ходе данного исследования результаты составляют его научную новизну.

Ключевые слова: цифровой двойник, беспилотный летательный аппарат, нейронные сети, стратегическая целесообразность, авиационная техника.

ECONOMIC TOOLS FOR ANALYZING DIGITAL TWINS OF INNOVATIVE AIRCRAFT PRODUCTS

Bobkov I.A., Postgraduate student, Moscow Aviation Institute (MAI), Moscow, Russia

Abstract. The purpose of this article is to form an economic toolkit for analyzing digital counterparts of innovative aircraft products, which in this study is understood as unmanned aerial vehicles of the aircraft type (UAV). The task of the study is to find such a configuration of UAVs and such a combination of existing aircraft materials that will significantly improve their flight characteristics. The author shows that the qualitative improvement of the main parameters of the UAV directly affects the acquisition of a strategic competitive advantage in the market of unmanned aircraft systems. An economic toolkit for analyzing digital twins is proposed, based on the concept of «strategic feasibility of production», that is, an indicator of the feasibility of manufacturing aviation equipment, which provides a competitive advantage in the long term due to qualitative changes in flight characteristics in the developed configuration, taking into account the complexity of updating production, the price factor. The set of analyzed digital doubles is formed by means of neural network modeling. Neural networks were trained on information about various models of aircraft-type UAVs, which puts some experience in aircraft

construction into the models obtained and allows for effective production planning to obtain a strategic competitive advantage. The results obtained in the course of this study constitute its scientific novelty.

Keywords: digital twin, drone, neural networks, strategic reasonability, aviation technology.

JEL classification: L52, M11, O22.

Для цитирования: *Бобков И.А. Экономический инструментарий анализа цифровых двойников инновационной продукции авиастроения // Прогрессивная экономика. 2023. № 11. С. 19–33.*

Введение

Авиационная отрасль Российской федерации является высокотехнологичной и быстро развивающейся отраслью промышленности, стимулирующей развитие других наукоемких отраслей. При этом на государственном уровне выделяется в отдельный сектор сегмент беспилотных авиационных систем [11], характеризующийся высокими темпом развития и уровнем инновационной активности.

В работах [12; 13] показана экономическая эффективность применения цифровых двойников (ЦД) на промышленных предприятиях. Практика показывает, что предприятиям, в том числе и авиационного сектора, выгоднее задействовать ресурсы для создания виртуальных копий проектируемых БПЛА на ранней стадии жизненного цикла авиационной продукции. Это позволяет избежать больших издержек при возможных неудачах во время стадии летных испытаний, приводящим к повторному созданию опытных образцов.

В условиях рыночной конкуренции, ключевым является получение конкурентного преимущества продукции, что может быть достигнуто за счет улучшения основных летных характеристик БПЛА, а также за счет

применения новейших композитных материалов и сплавов. Авторами предложен методический подход к формированию пространства цифровых двойников на основе применения нейросетевых моделей, в которые заложена информация о том, какие летные характеристики имеют различные БПЛА самолетного типа, из каких материалов произведены элементы их основных компонент (крыло, хвостовое оперение, фюзеляж). Однако, на данном этапе исследования необходимо определить критерии выбора из множества цифровых двойников БПЛА, получаемого путем нейросетевого моделирования, отвечающие требованиям получения максимального конкурентного преимущества. Таким образом, *целью* данной статьи является формирование экономического инструментария для анализа цифровых двойников БПЛА.

Обзор литературы

В настоящее время существует несколько подходов к оценке эффективности инновационной продукции. Классическими методами являются: метод вычисления прибыли на инвестированный капитал ROI, вычисление соотношения общей выручки ко всем затратам BCR и вычисление чистого дисконтированного дохода NPV. Данные подходы подробно описаны в работах следующих авторов: О.В. Тахмутовой [8], В.Н. Абанникова [1], П.Ю. Корчагина [9] и других. Указанные системы показателей имеют ряд недостатков, среди которых сложность расчета ставки дисконтирования, лежащей в основе вычислений, и в конечном итоге искажение результатов.

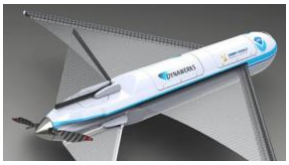
В работах И.А. Ахметовой, А.Г. Башировой [2] рассмотрена система оценки уровня готовности технологий, которая внедрена в ведущих западных предприятиях авиастроения «Airbus» и «Boeing». Данная система позволяет оценить степень «зрелости» инновационной продукции, а также степень соответствия уровня развития производственной базы стоящим перед предприятия задачам. Данная система или ее аналоги показывают на практике свою эффективность, однако требуют модернизации в соответствии с быстро развивающимися информационными технологиями.

Материалы и методы

Для формирования пространства цифровых двойников обучены нейронные сети (НС) на основе собранных данных о различных моделях БПЛА самолетного типа. В таблице 1 приведены основные летные характеристики некоторых из изученных моделей, влияющие на конкурентное преимущество инновационной продукции.

Таблица 1

Основные летные характеристики БПЛА

	ООО НПП «ИДС Технологии», Россия	«AI Bird UAV Co.», Китай	«DynaWerks Inc.». США
			
	IDS-5	AI Bird KC-2000	DynaWerks Gale
Грузоподъемность, кг	8	4	5
Масса пустого, кг	30	9	20
Максимальная скорость, км/ч	130	150	120
Крейсерская скорость, км/ч	90	110	110
Максимальная высота полета, м	3000	4600	250
Максимальная дальность полета, м	260000	225000	120000
Тяга, Н	2500	2300	1750

Источник: составлено автором по данным [3]

Для нейросетевого моделирования необходимо сформировать данные о существующих композитных материалах и сплавах. В этой связи были изучены характеристики материалов авиастроения, среди которых для моделирования используются: плотность [кг/м^3], предел прочности при растяжении [МПа], теплопроводность [Вт/(мК)], модуль упругости при растяжении [МПа], предел выносливости (усталости) [б/р], коэффициент линейного температурного расширения [мкм/(мК)], удельная прочность [м^2/с^2] и сопротивление усталостному разрушению [б/р]. В данном

исследовании материалы авиастроения рассматриваются в качестве набора перечисленных характеристик.

В результате анализа конструкторского членения БПЛА самолетного типа были разработаны и обучены нейронные сети для определения оптимальных элементов основных компонент БПЛА (крыло, фюзеляж и хвостовое оперение). Для обучения использовались данные о том, из каких материалов (как набора характеристик) изготовлены элементы основных компонент с учетом их имеющихся. Структура входных и выходных данных построенных нейронных сетей представлена на рисунках 1–3. На рисунке 1 представлена структура данных НС моделирования крыла беспилотного летательного аппарата.

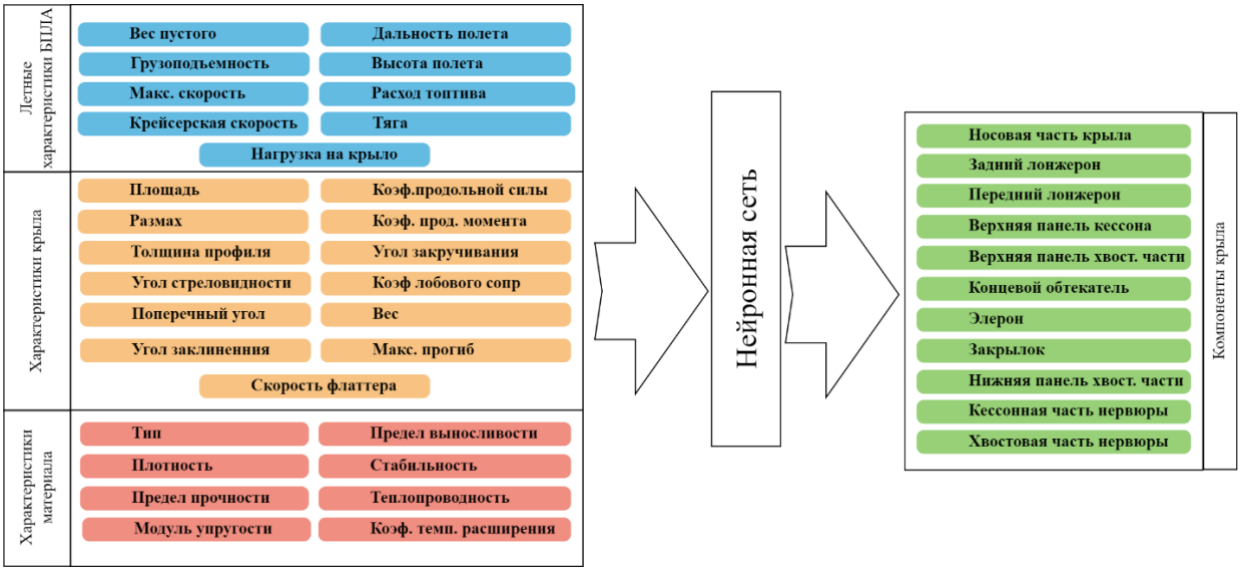


Рис. 1. Структура данных НС моделирования крыла БПЛА

Источник: составлено автором

На рисунке 2 представлена структура данных нейросетевого моделирования фюзеляжа беспилотного летательного аппарата.

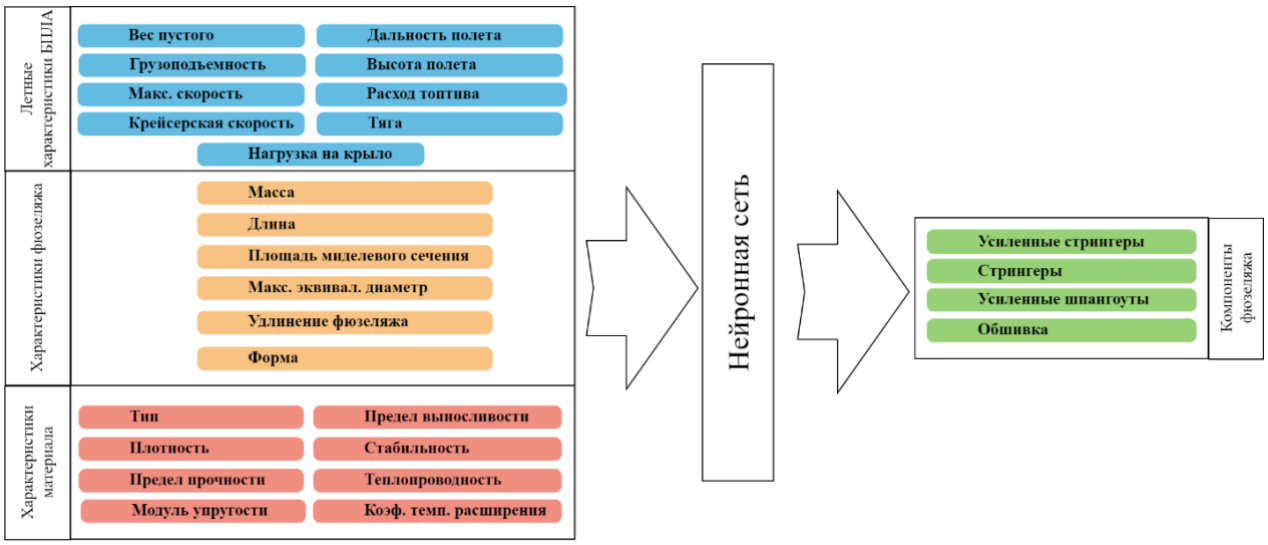


Рис. 2. Структура данных НС моделирования фюзеляжа БПЛА

Источник: составлено автором

На рисунке 3 представлена структура данных нейросетевого моделирования хвостового оперения беспилотного летательного аппарата.

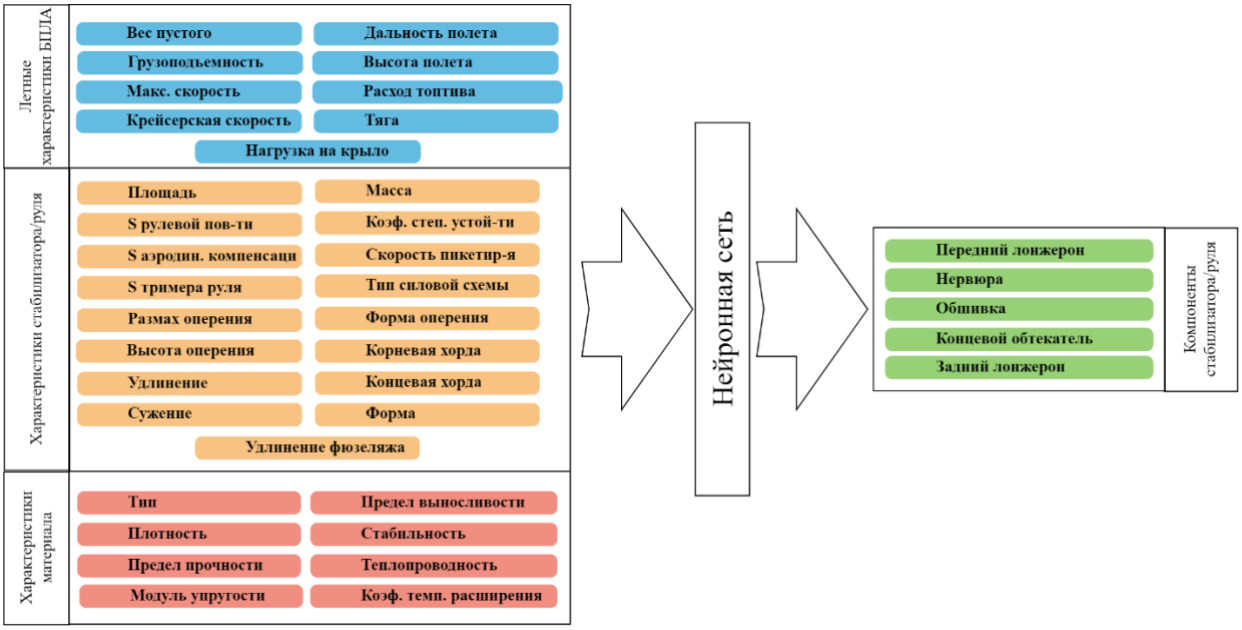


Рис. 3. Структура данных НС моделирования хвостового оперения

Источник: составлено автором

Результатом работы каждой нейронной сети является рекомендации по наилучшему применению рассматриваемого материала для производства того или иного элемента основного компонента БПЛА. Данные рекомендации

могут быть визуализированы при помощи гистограммы, пример которой приведен на рисунке 4. Для дальнейших вычислений выделяется аргумент, соответствующий максимальному значению целесообразности.

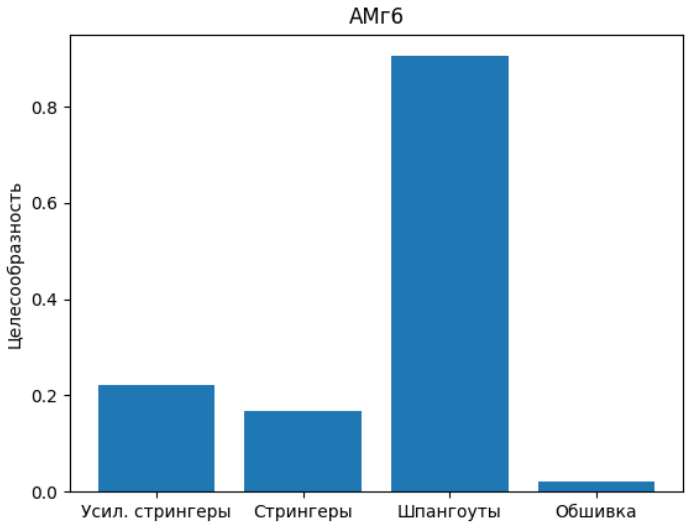


Рис. 4. Рекомендации по использованию материала в фюзеляже БПЛА

Источник: составлено автором

В результате приведенного процесса нейросетевого моделирования формируется пространство, состоящее из различных комбинаций полученных цифровых двойников основных компонент БПЛА. Для определения оптимальных конфигураций БПЛА, которые дадут конкурентное преимущество на рынке беспилотных авиационных систем, разработан критерий стратегической целесообразности производства.

Результаты и обсуждение

Стратегическая целесообразность (СЦ) – показатель целесообразности производства авиационной техники, обеспечивающей конкурентное преимущество в долгосрочной перспективе за счёт качественного изменения лётных характеристик в разработанной конфигурации, учитывающий сложность обновления производства, ценовой фактор, развитие в стране материально-технической, полигонной базы для производства АТ.

Для создания инновационной продукции авиастроения, обладающей свойствами стратегической целесообразности, необходимо учитывать возможную трансформацию предприятий авиационной отрасли. В этой связи предлагается использовать следующие группы производственных показателей:

1. Анализ влияния изменений по материалам и компонентам на характеристики БПЛА. Изменения по материалам ($М_ч$) – показатель степени влияния изменения материала, используемого в производстве компонента БПЛА, на летные характеристики. Изменения по конструкции ($К_ч$) – показатель степени влияния изменения конструкции на летные характеристики БПЛА. (Оценка 1 – небольшие изменения, 10 – большие изменения). Вводятся весовые коэффициенты w_i, учитывающие важность улучшения тех или иных характеристик. При этом должно выполняться условие $\sum w_i = 1$. Изменения по конструкции и материалам вычисляются как скалярное произведение вектора оценок и весов.

2. Оценка производственного риска. Группа показателей производственного риска (ПР) включает в себя следующие показатели: сложность производства (СлПр), время производства (ВП) и стоимость производства (СтПр), которые вычисляются как скалярное произведение вектора оценок и значимости изменения характеристик w.

Формула (1) для вычисления производственного риска [6]:

$$ПР = \frac{\sqrt{СлПр} \cdot СтПр}{ВП} \quad (1)$$

3. Оценка стратегической целесообразности производства основывается на следующих показателях (2):

Сложность обновления производственной базы ($Сл_{обн}$) - показатель, определяющий необходимость и комплексную оценку трудозатрат на

требуемую трансформацию предприятия авиационной промышленности. Чем сильнее изменения, тем выше сложность обновления.

$$Сл_{обн} = 2\,arctg(М_ч \cdot К_ч)\sqrt{К_ч} \quad (2)$$

Время обновления ($Вр_{обн}$) - параметр, характеризующий скорость требуемой трансформации предприятия в зависимости от изменений в материалах и/или конструкции инновационной продукции. При небольших изменениях в материальной базе и/или конструкции время обновления невысокое (3).

$$Вр_{обн} = \frac{М_ч}{3}\sqrt{К_ч} \quad (3)$$

Стоимость обновления ($Ст_{обн}$) - параметр, показывающий объем затрат на обновление производственной базы и подготовки кадров относительно капитала предприятия.

Стратегическая значимость обновления **(**$СтрЗн_{обн}$**)** - один из ключевых параметров, определяющий важность производства БПЛА, отвечающего рассматриваемому ЦД, с точки зрения получения стратегического преимущества перед конкурентными предприятиями отрасли. Высокое значение данного параметра говорит о необходимости обновления производства для достижения конкурентного преимущества.

Возможность финансирования ($ВФ_{обн}$) также определяется экспертными оценками и коэффициентами значимости изменений.

Данные показатели вычисляются как скалярное произведение вектора оценок и вектора значимости изменения характеристик w.

Результирующим интегральным показателем является показатель стратегической целесообразности, вычисляемый по следующей формуле (4):

$$СЦ = \frac{ВФ_{обн} \cdot СтрЗн_{обн} + Ст_{обн} \cdot Сл_{обн}}{ВФ_{обн} \cdot СтрЗн_{обн} + Ст_{обн} \cdot Сл_{обн} + ПР \cdot Вр_{обн}} \quad (4)$$

Данные формулы получены путем обработки данных метода экспертных оценок с последующим получением приближенных выражений методом МНК. Шкала оценки показателя стратегической безопасности представлена в таблице 2.

Таблица 2

Шкала оценки стратегической целесообразности

Низкая оценка	Средняя оценка	Высокая оценка
[0; 0.3)	[0.3; 0.7)	[0.7; 1]

Источник: составлено автором

Таким образом, данные показатели могут являться критерием оценки инновационных проектов авиастроения с целью выбора ЦД для производства. Учет производственных факторов и ключевых изменений по материалам и конструкции основных компонент БПЛА позволяет создать опытный образец, обеспечивающий конкурентное преимущество на рынке беспилотных авиационных систем.

Заключение

Разработанный экономический инструментарий анализа цифровых двойников основан на нейросетевом моделировании характеристик компонент авиационной техники и материалов авиастроения. Использование нейронных сетей для решения задач планирования на предприятиях авиационной промышленности соответствует концепции развития искусственного интеллекта в РФ до 2030 года [10], и способствует развитию отраслевого искусственного интеллекта.

Система экономических показателей стратегической целесообразности производства БПЛА с заданной конфигурацией, соответствующей сформированному цифровому двойнику, позволяет производить эффективное

планирование производства для получения стратегического конкурентного преимущества. Оно может быть достигнуто за счет обновления производственной базы с учетом требований к летным характеристикам, применения инновационных композитных материалов и изменения конструкторских решений.

Литература

1. Абанников В.Н. Инновационный менеджмент: Учебное пособие / 2-е изд. испр. и доп. СПб.: РГГМУ, 2010. 254 с.

2. Ахметова И.А., Баширова А.Г., Брутян М.М. и др. Проблемы экономики и управления предприятиями, отраслями, комплексами. Новосибирск: ЦРНС, 2015. 216 с

3. Бобков И.А., Бурдина А.А. Формирование оптимального цифрового двойника инновационных сплавов и композитных материалов на основе нейросетевого моделирования // СТИН. 2023. № 9. С. 58–60.

4. Бобков И.А., Бурдина А.А., Нехрест-Бобкова А.А. Моделирование неопределенности при помощи нейронных сетей // Ars Administrandi (Искусство управления). 2023. Т. 15. № 1. С. 45–59.

5. Бобков И.А., Нехрест-Бобкова А.А., Бурдина А.А. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта для анализа новостных заголовков с целью прогнозирования // Социальные и экономические системы. Экономика. 2022. № 6 (4). С. 237–249.

6. Бобков И.А., Бурдина А.А., Нехрест-Бобкова А.А. Разработка нейросетевого фильтра для системы анализа новостных заголовков как подсистемы экономической безопасности предприятия авиационной промышленности // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2023. № 1. С. 69–74.

7. Бурдина А.А., Бобков И.А., Нехрест-Бобкова А.А. Оптимизация себестоимости производства крыла летательного аппарата при помощи нейронных сетей // Экономика и предпринимательство. 2022. № 12 (149). С.

674–677.

8. Бурса И.А., Тахумова О.В. Б91 Инновационно-инвестиционный анализ и оценка проектов: учебное пособие. 2-е изд. Краснодар: ООО «Принт-Терра», 2021. 113 с.

9. Корчагин П.Ю. Интегральные критерии оценки качества инновационных проектов: автореферат дис. кандидата экономических наук: 08.00.05. Москва, 2008. 27 с.

10. Указ Президента РФ от 10.10.2019 N 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" (вместе с "Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года") // СПС Консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/1f32224a00901db9cf44793e9a5e35567a4212c7/.

11. Распоряжение Правительства РФ от 21.06.2023 N 1630-р «Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и плана мероприятий по ее реализации» // СПС Консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_450667/.

12. Хитрых Д. Цифровые двойники в промышленности: истоки, концепции, современный уровень развития и примеры внедрения // САПР и графика. 2022. № 7. С. 4–11.

13. Шведенко В.Н., Мозохин А.Е. Применение концепции цифровых двойников на этапах жизненного цикла производственных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20. № 6. С. 815–827.

References

1. Abannikov V.N. Innovacionnyj menedzhment: Uchebnoe posobie / 2-e izd. ispr. i dop. SPb.: RGGMU, 2010. 254 s.

2. Ahmetova I.A., Bashirova A.G., Brutyan M.M. i dr. Problemy ekonomiki i upravleniya predpriyatiyami, otraslyami, kompleksami. Novosibirsk: CRNS, 2015. 216 s

3. Bobkov I.A., Burdina A.A. Formirovanie optimal'nogo cifrovogo dvojnika innovacionnyh splavov i kompozitnyh materialov na osnove nejrosetevogo modelirovaniya // STIN. 2023. № 9. S. 58–60.

4. Bobkov I.A., Burdina A.A., Nekhrest-Bobkova A.A. Modelirovanie neopredelennosti pri pomoshchi nejronnyh setej // Ars Administrandi (Iskusstvo upravleniya). 2023. T. 15. № 1. S. 45–59.

5. Bobkov I.A., Nekhrest-Bobkova A.A., Burdina A.A. Perspektivy ispol'zovaniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta dlya analiza novostnyh zagolovkov s cel'yu prognozirovaniya // Social'nye i ekonomicheskie sistemy. Ekonomika. 2022. № 6 (4). C. 237–249.

6. Bobkov I.A., Burdina A.A., Nekhrest-Bobkova A.A. Razrabotka nejrosetevogo fil'tra dlya sistemy analiza novostnyh zagolovkov kak podsistemy ekonomicheskoj bezopasnosti predpriyatiya aviacionnoj promyshlennosti // RISK: Resursy, Informaciya, Snabzhenie, Konkurenciya. 2023. № 1. S. 69–74.

7. Burdina A.A., Bobkov I.A., Nekhrest-Bobkova A.A. Optimizaciya sebestoimosti proizvodstva kryla letatel'nogo apparata pri pomoshchi nejronnyh setej // Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2022. № 12 (149). S. 674–677.

8. Bursa I.A., Tahumova O.V. B91 Innovacionno-investicionnyj analiz i ocenka proektov: uchebnoe posobie. 2-e izd. Krasnodar: OOO «Print-Terra», 2021. 113 s.

9. Korchagin P.YU. Integral'nye kriterii ocenki kachestva innovacionnyh proektov: avtoreferat dis. kandidata ekonomicheskih nauk: 08.00.05. Moskva, 2008. 27 s.

10. Ukaz Prezidenta RF ot 10.10.2019 N 490 "O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federacii" (vmeste s "Nacional'noj strategiej razvitiya iskusstvennogo intellekta na period do 2030 goda") // SPS Konsul'tant Plyus. URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/1f32224a00901db9cf44793e9a5e35567a4212c7/.

11. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 21.06.2023 N 1630-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya bespilotnoj aviacii Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2035 goda i plana meropriyatij po ee realizacii» // SPS Konsul'tant Plyus. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_450667/.

12. Hitryh D. Cifrovye dvojniki v promyshlennosti: istoki, koncepcii, sovremennyj uroven' razvitiya i primery vnedreniya // SAPR i grafika. 2022. № 7. S. 4–11.

13. SHvedenko V.N., Mozohin A.E. Primenenie koncepcii cifrovyh dvojnikov na etapah zhiznennogo cikla proizvodstvennyh sistem // Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki. 2020. T. 20. № 6. S. 815–827.