

# Информатика и вычислительная техника Informatics and Computer Engineering

Научная статья  
УДК 005.41  
doi: 10.14529/ctcr220101

## РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ С УЧЕТОМ ЕГО ПОТЕНЦИАЛОВ

*Наталья Андреевна Муфтахова<sup>1</sup>, Марсель Раисович Нафиков<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

<sup>1</sup> natefimenko@inbox.ru

<sup>2</sup> nafikovmr@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований, а также изложены теоретические и математические модели систем управления жизненным циклом изделий авиационной промышленности с использованием теории потенциалов. Введена новая категория для управления жизненным циклом объекта – потенциал. **Цель.** Разработать инструментарий управления жизненным циклом на основе потенциалов объекта. В качестве объекта выбран узел авиационного двигателя. **Методы.** Основанием для формирования новых инструментов может быть ранее не отмечавшееся свойство объекта, проявляющееся как результат существенных трансформаций во внешней среде и содержащее новую информацию об объекте. Тенденция к развитию информационного обеспечения этапов жизненного цикла создает новые теории и подходы, среди которых представлена теория потенциалов. Предполагается, что разработанный инструментарий можно формализовать под все составные части авиационного двигателя на любом этапе жизненного цикла. Анализ накопленного потенциала связан с прошлыми изменениями. Отсчеты времени производятся против течения времени. Потенциал жизненного цикла вычисляется как накопленный потенциал всех потоков. Необходимым элементом является построение бизнес-модели процесса, включающей модель данных, модель организационной структуры подразделений, участвующих в технологическом процессе, и функциональную модель процесса. **Результаты.** Математическая модель управления жизненным циклом изделия разрабатывается с использованием следующих категорий: накопленный и прогнозный потенциалы. Потенциалы рассчитываются на основе исходных данных предприятия по объекту исследования. Накопленный потенциал учитывает материализацию прошлых потоков данных, поэтому анализ и моделирование увязаны с прошлыми изменениями. Смысл прогнозного потенциала заключается в определении рыночной стоимости будущих платежей. Предполагается, что в совокупности платежи определяют рыночную стоимость актива, связанного с ними. **Заключение.** Существующая структура организационных, функциональных элементов и элементов данных объекта достаточна для определения накопленного потенциала. Действительно, применительно к активам можно посчитать прогнозный и накопленный потенциал, где наблюдается четкая тенденция изменения потенциалов. Целесообразность вычисления потенциала вместо использования исходных данных вызвана большой адекватностью модели потенциала.

**Ключевые слова:** накопленный потенциал, прогнозный потенциал, авиационный двигатель, управление жизненным циклом

**Для цитирования:** Муфтахова Н.А., Нафиков М.Р. Разработка инструментария управления жизненным циклом изделия с учетом его потенциалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 1. С. 5–13. doi: 10.14529/ctcr220101.

## DEVELOPMENT OF A TOOLKIT FOR MANAGING THE LIFE CYCLE OF A PRODUCT TAKING INTO ACCOUNT ITS POTENTIALS

Natalia A. Muftakhova<sup>1</sup>, Marsel R. Nafikov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

<sup>1</sup> natefimenko@inbox.ru

<sup>2</sup> nafikovmr@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of research, as well as sets forth theoretical and mathematical models of life cycle management systems for products of the aviation industry using the theory of potentials. A new category has been introduced for managing the life cycle of an object - potential. **Aim.** Develop a toolkit for life cycle management based on the potentials of the object. An aircraft engine unit was selected as an object. **Methods.** The basis for the formation of new tools may be a previously unremarked property of an object, which manifests itself as a result of significant transformations in the external environment and contains new information about the object. The trend towards the development of information support for the stages of the life cycle creates new theories and approaches, among which the theory of potentials is presented. It is assumed that the developed toolkit can be formalized for all components of an aircraft engine at any stage of the life cycle. The accumulated potential analysis is related to past changes. Time is counted against the flow of time. Life cycle potential is calculated as the accumulated potential of all threads. A necessary element is the construction of a business model of the process, which includes a data model, a model of the organizational structure of departments involved in the technological process and a functional model of the process. **Results.** A mathematical model of product lifecycle management is developed using the following categories: accumulated and predicted potentials. Potentials are calculated based on the initial data of the enterprise for the object of study. The accumulated potential takes into account the materialization of past data streams, therefore analysis and modeling are linked to past changes. The meaning of the predictive potential is to determine the market value of future payments. Collectively, the payments are assumed to determine the market value of the asset associated with them. **Conclusion.** The existing structure of organizational, functional elements and data elements of the object is sufficient to determine the accumulated potential. Indeed, in relation to assets, it is possible to calculate the predicted and accumulated potential where there is a clear trend in the potential change. The feasibility of calculating the potential instead of using the initial data is caused by the great adequacy of the potential model.

**Keywords:** accumulated potential, forecast potential, aircraft engine, life cycle management

**For citation:** Muftakhova N.A., Nafikov M.R. Development of a toolkit for managing the life cycle of a product taking into account its potentials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(1):5–13. (In Russ.) doi: 10.14529/ctcr220101.

### Введение

Идея управления жизненным циклом авиационного двигателя обсуждается в настоящее время. Тенденции развития авиастроения привели к интенсивному внедрению информационных технологий, поддерживающих управление жизненным циклом авиационных изделий. Сложные системы, обеспечивающие выпуск наукоемких изделий, имеют свойства, сходные со свойствами самих изделий, для них характерны те же стадии жизненного цикла, похожие инструменты и методы анализа и управления [1–9].

Поэтому поиск новых инструментов и моделей, учитывающих неопределенность, в дополнение к системным становится актуальным и поддерживается различными учеными, занимающимися экономическими и смежными с ними вопросами. Следует отметить, что в [10, 11] сформулирован подход, базирующийся на описании формализованного свойства социофизических объектов, названного накопленными и прогнозными потенциалами.

### Методология

Математическая модель управления жизненным циклом изделия разработана с использованием следующих категорий: накопленный и прогнозные потенциалы.

Накопленный потенциал учитывает материализацию прошлых потоков данных, поэтому анализ и моделирование увязаны с прошлыми изменениями [11, 12].

Собственный накопленный потенциал по переменной вычисляется по формулам:

$$F \int_{\tau=0}^{\infty} (t - \tau)\psi(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} f(t - \tau_i)\psi(\tau_i); \quad (1)$$

$$\psi(\tau) = \begin{cases} 1, & \tau = 0 \\ 0, & \tau = \infty \end{cases}; \quad (2)$$

$$\psi(\tau) = e^{-\alpha\tau} \approx \frac{1}{1+\alpha\tau}; \quad (3)$$

$$F = \sum \left( q_i(t - \tau) \cdot \frac{1}{1+\alpha(t)} \right), \quad (4)$$

где  $F$  – накопленный потенциал;

$q_i$  – значение переменной в данном периоде;

$\alpha$  – суммарная ставка рефинансирования.

Прогнозные потенциалы по каждой из переменных социофизического объекта рассчитываются по формуле

$$\Pi = \sum \Pi_i = \sum \left( q_i(t + \tau) \cdot \frac{1}{1+\alpha(t)} \right), \quad (5)$$

где  $\Pi$  – прогнозный потенциал;

$\Pi_i$  – потенциал за период;

$i$  – номер периода по удалённости от настоящего времени;

$q_i$  – значение переменной в данном периоде;

$\alpha$  – суммарная ставка рефинансирования.

В качестве объекта исследования выступает авиационный двигатель.

На рис. 1 представлена структура потенциалов авиационного двигателя с точки зрения авторов.

В данной статье рассчитываются следующие категории потенциалов: экономический и технологический.

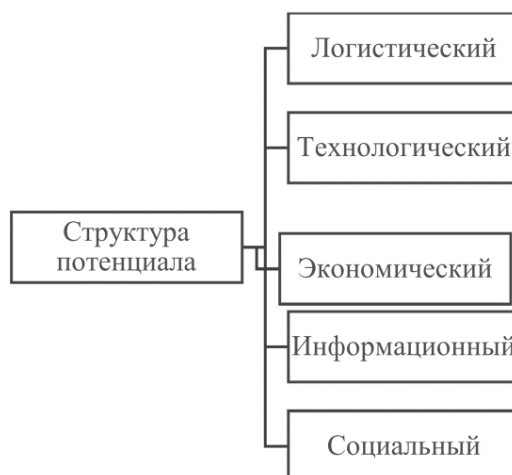


Рис. 1. Структура потенциалов  
Fig. 1. Potential structure

Технологический потенциал – затраченное время на технологическую обработку составных деталей и узлов авиационного двигателя. Экономический потенциал – суммарные экономические затраты.

На рис. 2 представлена система управления жизненным циклом изделия с учетом его потенциалов.

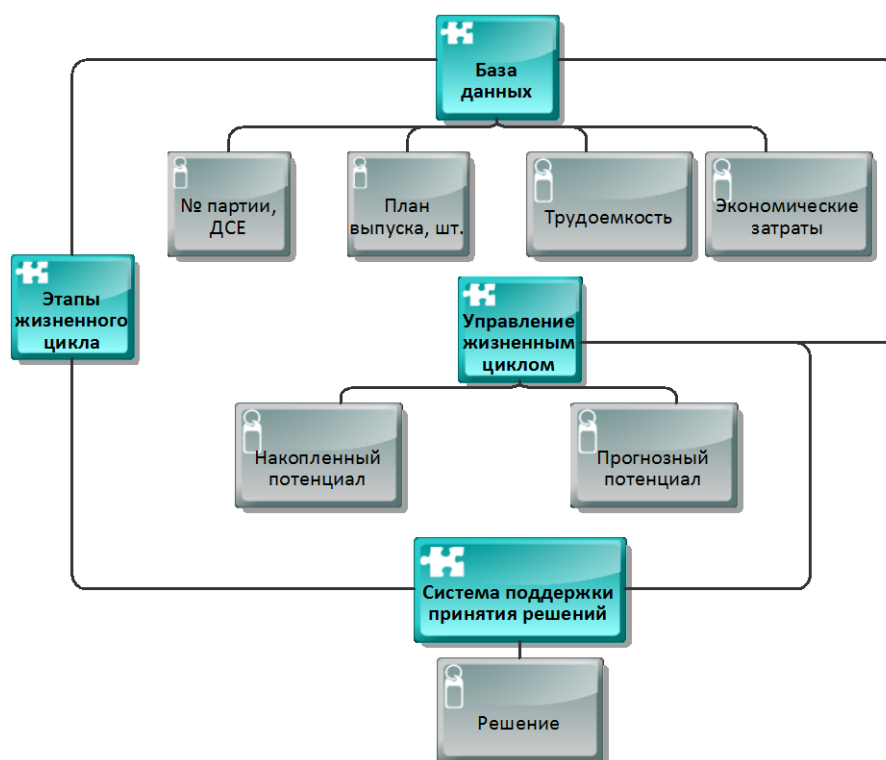


Рис. 2. Система управления жизненным циклом  
Fig. 2. Lifecycle management system

Исходные данные планируются на предприятии и корректируются согласно этапу производства. Затем происходит отбор данных по заданным критериям, проводится контроль и анализ, расчет накопленного и прогнозного потенциалов. Итоговые значения передаются в систему поддержки принятия решений, делается вывод о системе [13, 14].

Расчет накопленного потенциала проводился по формулам (1)–(4). В качестве исходных данных использована трудоемкость технологической обработки узла авиационного двигателя.

Итоговые расчеты технологического накопленного потенциала представлены в табл. 1.

Исходные значения и значения расчета

Таблица 1

Initial values and calculation values

Table 1

Период	Динамика исходных данных по трудоёмкости, н-час	Динамика технологического потенциала, н-час
Январь	472	472,0
Февраль	1298	991,2
Март	0	2419,0
Апрель	1062	2419,0
Май	1652	3584,5
Июнь	944	5397,6
Июль	1416	6428,9
Август	1062	7972,4
Сентябрь	1770	9130,0
Октябрь	1180	11 054,8
Ноябрь	1534	12 335,1
Декабрь	1062	13 995,7

На рис. 3 представлены графики динамики исходных данных и накопленного технологического потенциала объекта исследования.

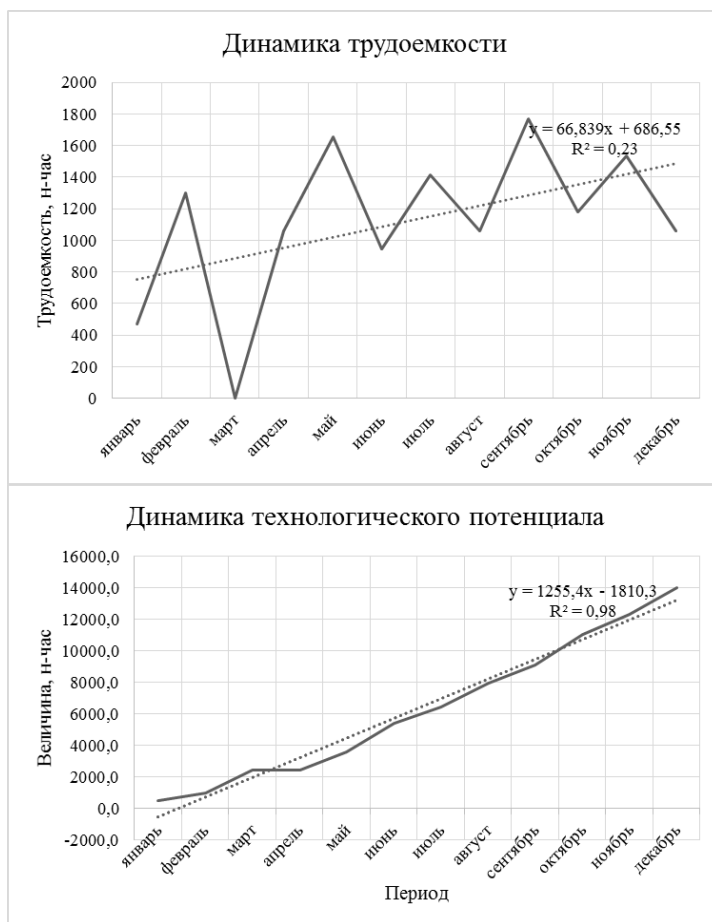


Рис. 3. Динамика трудоемкости и динамика накопленного технологического потенциала  
Fig. 3. Dynamics of labor intensity and dynamics of accumulated technological potential

Как видно из рис. 3, график исходных данных имеет нелинейный характер, коэффициент детерминации равен 0,23, что свидетельствует о низком качестве математической модели. График динамики технологического потенциала имеет линейный характер, коэффициент детерминации равен 0,98. Это можно оценить как адекватную модель и перейти к анализу системы.

Итоговые расчеты экономического накопленного потенциала представлены в табл. 2.

Исходные значения и значения расчета

Таблица 2

Initial values and calculation values

Table 2

Период	Динамика исходных данных по затратам, тыс. руб.	Динамика экономического потенциала, тыс. руб.
Январь	1638,6	1638,6
Февраль	4494,2	51 075,3
Март	0,0	51 075,3
Апрель	3686,8	91 630,7
Май	5735,1	153 282,9
Июнь	3277,2	188 512,8
Июль	4915,8	238 899,8
Август	3686,8	275 768,2
Сентябрь	6144,7	337 215,7
Октябрь	4096,5	377 156,6
Ноябрь	5325,4	427 748,3
Декабрь	3686,8	461 851,7

На рис. 4 представлены графики динамики исходных данных и накопленного экономического потенциала объекта исследования.

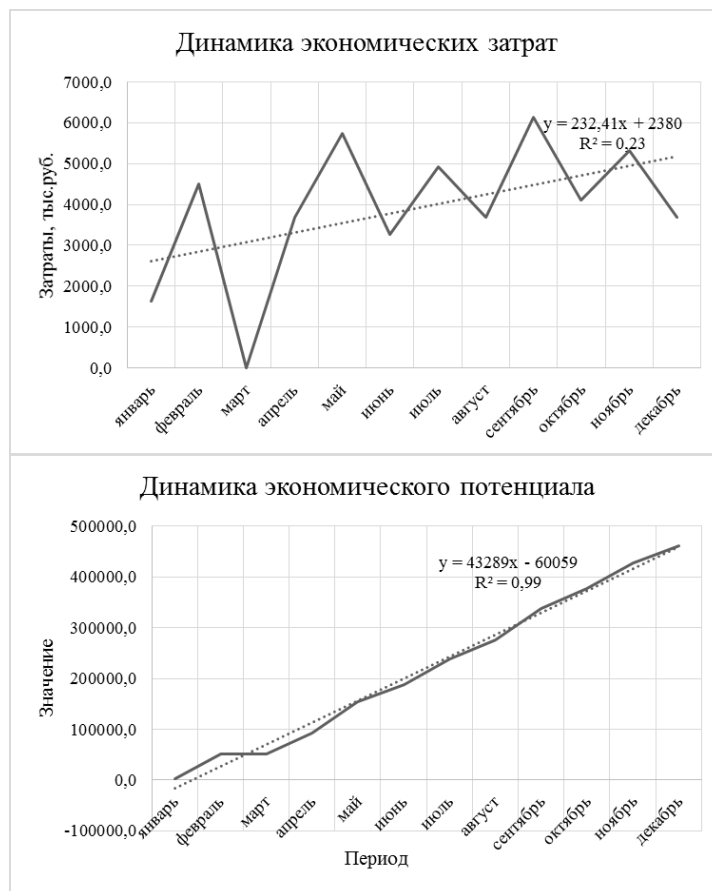


Рис. 4. Динамика экономических затрат и динамика накопленного технологического потенциала  
Fig. 4. Dynamics of economic costs and dynamics of accumulated technological potential

Как видно из рис. 4, график исходных данных имеет нелинейный характер, коэффициент детерминации равен 0,24, что свидетельствует о низком качестве математической модели. График динамики технологического потенциала имеет линейный характер, коэффициент детерминации равен 0,99. Это можно оценить как адекватную модель и перейти к анализу системы.

На рис. 5 изображен график соотношения накопленного технологического и экономического потенциалов.

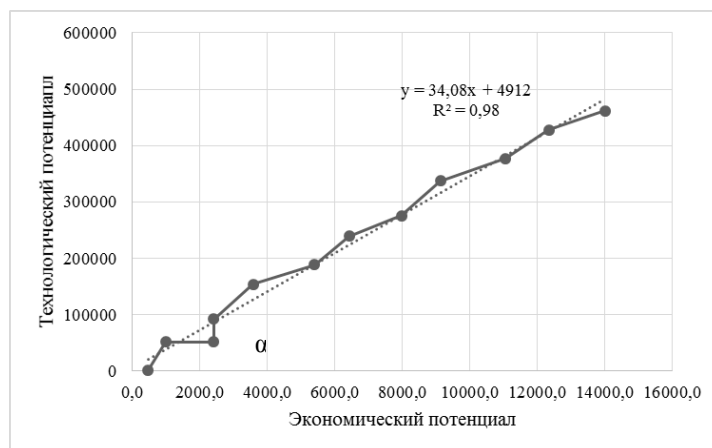


Рис. 5. Соотношение накопленного технологического и экономического потенциалов  
Fig. 5. The ratio of the accumulated technological and economic potential

Расчет прогнозного потенциала проводился с использованием исходных данных из табл. 1, 2 по формуле (5).

На рис. 6 представлены динамика технологического и экономического потенциала изделия.

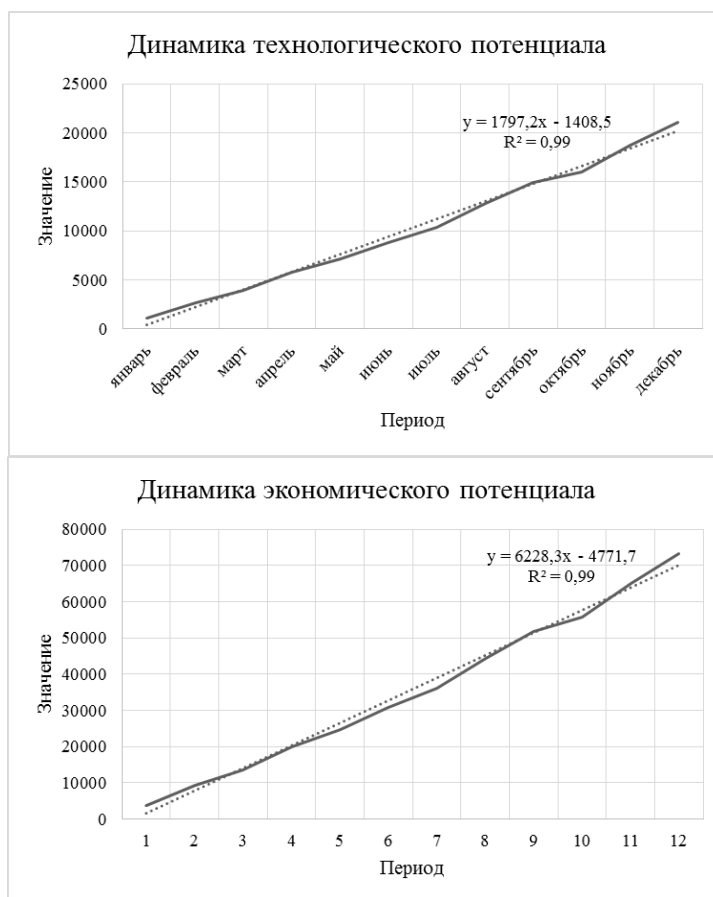


Рис. 6. Динамика прогнозного технологического и экономического потенциалов  
Fig. 6. Dynamics of predicted technological and economic potentials

Динамика технологического и экономического потенциалов имеет линейный характер, что позволяет перейти к анализу системы.

На рис. 7 изображен график соотношения прогнозного технологического и экономического потенциалов.

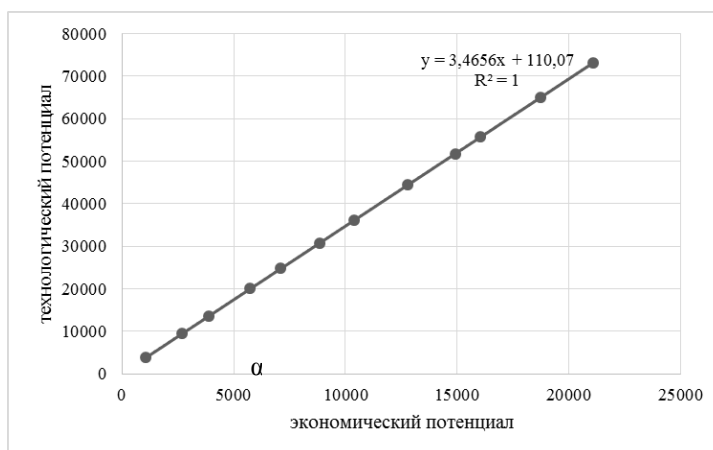


Рис. 7. Соотношение прогнозного технологического и экономического потенциалов  
Fig. 7. The ratio of predicted technological and economic potentials

### Выводы

Соотношение накопленного технологического и экономического потенциалов (см. рис. 5) интерпретируется следующим образом: тангенс угла  $\alpha$  – это коэффициент рыночной доходности [1]. Данный коэффициент численно равен коэффициенту регрессионного уравнения (3,5). Следовательно, для поддержания положительной динамики накопленного потенциала необходимо 99 % накопленного потенциала готовой продукции. Аналогично для интерпретации соотношения прогнозных потенциалов: для поддержания положительной динамики накопленного потенциала необходимо 100 % накопленного потенциала готовой продукции [15].

Сравнение графиков (см. рис. 4, 6) иллюстрирует различия в продуктивной составляющей. Целесообразность вычисления потенциала вместо использования исходных данных вызвана большой адекватностью модели потенциала, а также возможностью построения динамической модели управления объектом. График исходных данных имеет нелинейный характер, коэффициент детерминации равен меньше 0,5, что свидетельствует о низком качестве математической модели. График динамики потенциала имеет линейный характер, коэффициент детерминации близок к 0,99. Это можно оценить как адекватную модель и перейти к анализу системы.

### Список литературы

1. Мустаев И.З., Иванов В.Ю., Куликов Г.Г., Мустаев Т.И. Проект создания авиационного изделия как особый класс инноваций // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2021. Т. 21, № 2. С. 145–153. doi: 10.14529/ctcr210214.
2. Кумагина Е.А., Неймарк Е.А. Модели жизненного цикла и технологии проектирования программного обеспечения: учеб.-метод. пособие. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2016. 41 с.
3. Зараменских Е.П. Управление жизненным циклом информационных систем: моногр. Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2014. 270 с.
4. Доросинский Л.Г., Зверева О.М. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Ульяновск: Зебра, 2016. 243 с.
5. Журавлев В.Ю. Управление жизненным циклом изделий ракетно-космической техники: учеб. пособие. Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2015. 194 с.
6. Шустов С.А., Крупенич И.Н. CALS/PLM технологии. Текст лекций. Самара, 2013.
7. Ramis Ferrer, B., Mohammed W.M., Ahmad M. et al. Comparing ontologies and databases: a critical review of lifecycle engineering models in manufacturing // Knowledge and Information Systems. 2021. Vol. 63. P. 1271–1304. <https://doi.org/10.1007/s10115-021-01558-4>.
8. Sudarsan R., Fenves S.J., Sriram R.D., Wang F. A product information modeling framework for product lifecycle management // Computer-Aided Design. 2005. Vol. 37, iss. 13. P. 1399–1411. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2005.02.010>.
9. Li J., Tao F., Cheng Y., Zhao L. Big data in product lifecycle management // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 81. P. 667–684. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7151-x>.
10. Мустаев И.З. Экономические модели инноватики. Уфа: РИК УГАТУ, 2013. 202 с.
11. Мустаев И.З. Социофизические модели инноватики. Уфа: РИК УГАТУ, 2017. 174 с.
12. Мустаев И.З. Механика живых и интеллектуальных систем: учеб. пособие. Уфа: УГАТУ, 2020. 160 с.
13. Губич Л.В., Ковалев М.Я., Паткевич Н.И. Внедрение на промышленных предприятиях информационных технологий поддержки жизненного цикла продукции. Минск: Беларуская Навука, 2012. 190 с.
14. Скворцов А.В., Схиртладзе А.Г., Чмырь Д.А. Автоматизация управления жизненным циклом продукции: учеб. М.: Издат. центр «Академия», 2013. 320 с.
15. Loos L., Verbeeck K., Laet L. Data visualisation as a tool for informed structural design // Computer-Aided Design. 2019. Vol. 115. P. 267–276. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2019.06.003>.



## References

1. Mustaev I.Z., Ivanov V.Yu., Kulikov G.G., Mustaev T.I. The Project of Creation of an Aviation Product as a Special Class of Innovation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2021;21(2):145–153. (in Russ.) doi: 10.14529/ctcr210214.
2. Kumagina E.A., Neimark E.A. *Modeli zhiznennogo tsikla i tekhnologii proektirovaniya programmnogo obespecheniya: ucheb.-metod. posobie*. Nizhnii Novgorod: NNSU Publ.; 2016. 41 p. (In Russ.)
3. Zaramenskikh E.P. *Upravlenie zhiznennym tsiklom informatsionnykh sistem: monogr.* Novosibirsk: Center for the Development of Scientific Cooperation Publ.; 2014. 270 p. (In Russ.)
4. Dorosinskii L.G., Zvereva O.M. *Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla izdeliya*. Ul'yanskiy: Zebra; 2016. 243 p. (In Russ.)
5. Zhuravlev V.Yu. *Upravlenie zhiznennym tsiklom izdelii raketno-kosmicheskoi tekhniki: ucheb. posobie*. Krasnoyarsk: Siberian State Aerospace University; 2015. 270 p. (In Russ.)
6. Shustov S.A., Krupenich I.N. *CALS/PLM tekhnologii. Tekst leksii*. Samara; 2013. (In Russ.)
7. Ramis Ferrer B., Mohammed W.M., Ahmad M. et al. Comparing ontologies and databases: a critical review of lifecycle engineering models in manufacturing. *Knowledge and Information Systems*. 2021;63:1271–1304. <https://doi.org/10.1007/s10115-021-01558-4>.
8. Sudarsan R., Fenves S.J., Sriram R.D., Wang F. A product information modeling framework for product lifecycle management. *Comput Aided Des*. 2005;37(13):1399–1411. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2005.02.010>.
9. Li J., Tao F., Cheng Y. et al. Big Data in product lifecycle management. *Int J Adv Manuf Technol*. 2015;81:667–684. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7151-x>.
10. Mustaev I.Z. *Ekonomicheskie modeli innovatiki*. Ufa: EPC USATU; 2013. 202 p. (In Russ.)
11. Mustaev I.Z. *Sotsiofizicheskie modeli innovatiki*. Ufa: EPC USATU; 2017. 174 p. (In Russ.)
12. Mustaev I.Z. *Mekhanika zhivyykh i intellektual'nykh sistem: ucheb. posobie*. Ufa: USATU; 2020. 160 p. (In Russ.)
13. Gubich L.V., Kovalev M.Ya., Patkevich N.I. *Vnedrenie na promyshlennyykh predpriyatiyakh informatsionnykh tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii*. Minsk: Belaruskaya Navuka, 2012. 190 p. (In Russ.)
14. Skvortsov A.V., Skhirtladze A.G., Chmyr' D.A. *Avtomatizatsiya upravleniya zhiznennym tsiklom produktsii: ucheb.* Moscow: Akademiya Publ.; 2013. 320 p. (In Russ.)
15. Loos L., Verbeeck K., Laet L. Data visualisation as a tool for informed structural design. *Comput Aided Des*. 2019;115:267–276. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2019.06.003>.

**Информация об авторах**

**Муфтахова Наталия Андреевна**, старший преподаватель кафедры управления инновациями, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия; natefimenko@inbox.ru.

**Нафиков Марсель Раисович**, старший преподаватель кафедры управления инновациями, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия; nafikovmr@mail.ru.

**Information about the authors**

**Natalia A. Muftakhova**, Senior Lecturer of the Department of Innovation Management, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia; natefimenko@inbox.ru.

**Marsel R. Nafikov**, Senior Lecturer of the Department of Innovation Management, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia; nafikovmr@mail.ru.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

**Статья поступила в редакцию 22.12.2021; одобрена после рецензирования 11.01.2022; принята к публикации 17.01.2022.**

**The article was submitted 22.12.2021; approved after reviewing 11.01.2022; accepted for publication 17.01.2022.**