

Научная статья

УДК 004.42

DOI 10.25205/1818-7900-2022-20-2-50-59

Цифровая трансформация национальной идеи инженерного пространства

Екатерина Юрьевна Мерзлякова¹, Виссарион Григорьевич Сибиряков²,
Юрий Васильевич Елтышев³

¹СибГУТИ

Новосибирск, Россия

²ООО «Ключевые технологии ТРИЗ»

Новосибирск, Россия

³ООО НПФ Гранч, НТИ РГУ им. А.Н. Косыгина

Новосибирск, Россия

¹katerina.artist@yandex.ru

²vissib@mail.ru

³yriwas2@yandex.ru

Аннотация

Данная статья посвящена рассмотрению наиболее часто встречающейся последовательности выполнения наукоемких проектов в области машиностроения и приборостроения в рамках малых предприятий. Рассмотрены причины сложившихся ограничений, влияющих на качество выполнения сложных проектов. Предложена модель формализации области информационного преобразования исходных данных наукоёмких проектов, оказывающей существенное влияние на ожидаемые результаты.

Ключевые слова

CALS, ТРИЗ, цифровой двойник, предсказательная модель

Для цитирования

Мерзлякова Е. Ю., Сибиряков В. Г., Елтышев Ю. В. Цифровая трансформация национальной идеи инженерного пространства // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2022. Т. 20, № 2. С. 50–59. DOI 10.25205/1818-7900-2022-20-2-50-59

Digital transformation of the national idea of engineering space

Catherine Y. Merzlyakova¹, Vissarion G. Sibiryakov², Yuri V. Eltyshov³

¹FSBE IHE SibSUTI

Novosibirsk, Russian Federation

²Key Technologies of TRIZ LLC

Novosibirsk, Russian Federation

³NPF Granch LLC, NTI RSPU named after A.N. Kosygin

Novosibirsk, Russian Federation

¹katerina.artist@yandex.ru

²vissib@mail.ru

³yriwas2@yandex.ru

Abstract

This article is devoted to the consideration of the most common sequences of implementation of high-tech projects in the field of mechanical engineering and instrument engineering in the framework of small enterprises. The reasons for the existing restrictions affecting the quality of complex projects are considered. A model of formalization of the field

© Мерзлякова Е. Ю., Сибиряков В. Г., Елтышев Ю. В., 2022

ISSN 1818-7900 (Print). ISSN 2410-0420 (Online)

Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2022. Том 20, № 2

Vestnik NSU. Series: Information Technologies, 2022, vol. 20, no. 2

of information transformation of the source data of high-tech projects, which has a significant impact on the expected results, is proposed.

Keywords

CALS, TRIZ, digital double, predictive model

For citation

Merzlyakova C. Y., Sibiryakov V. G., Eltyshv Y. V. Digital transformation of the national idea of engineering space. Vestnik NSU. Series: Information Technologies, 2022, vol. 20, no. 2, p. 50–59. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2022-20-2-50-59

Введение

В настоящее время инженерное пространство стремительно меняется и подходы к решению новых задач потребуют использования неизвестных пока приемов в решении стратегических и тактических задач. Одна из главных причин такого изменения – стремительная цифровизация жизни общества, идущая на смену предыдущей, так называемой информатизации. Чему же тогда следует учить инженеров, как их готовить к профессиям, которых еще не существует, и как научить решать проблемы, которых пока нет?

Ответ достаточно очевиден – инженеров надо учить решать творческие задачи безотносительно к той или иной узкой специальности [1]. В свою очередь, умение ставить и решать творческие задачи требует навыков моделирования предметных областей, релевантных решаемым задачам, то есть умения создавать адекватные модели тех или иных явлений, объектов, процессов, такие как, например, в полном анализе ТРИЗ.

Что такое творческая задача, что является причиной и источником ее появления, как правильно ее формулировать и главное – как правильно их решать – вот те основные вопросы, на которые должно отвечать современное инженерное пространство.

При разработке теории решения подобного уровня задач необходимо руководствоваться общими принципами научных исследований, включая обычные аксиомы научного метода, в частности – бритва Оккама. Такой подход позволяет минимизировать изобретательство собственных постулатов, но максимизировать использование установившихся фундаментальных представлений. Важным является так же принцип Поппера: истинность теории не во множестве подтверждающих факторов, а в отсутствии хотя бы одного, ей противоречащего. Этот принцип позволяет строить теорию на малом числе фактов.

Работа с программными системами, которые используют инженеры-конструкторы в области машиностроения и приборостроения, начинается с выполнения эскизов первых деталей проекта. Это является традиционной границей первоначальных инструментов работы над проектом. По какой-то причине разработчики современных программных систем не переходят эту границу и не предлагают пользователям инженерное пространство в предпроектной зоне.

Исходные данные

Национальной идеей инженерного пространства является теория решения изобретательских задач, созданная в СССР и направленная на обеспечение развития технических систем в ситуации скрытого технического противоречия. В шестидесятые-восемидесятые годы прошлого века ТРИЗ развивалась как средство для решения инженерных задач с выраженным конфликтом технической системы. Первая версия ТРИЗ была разработана советским инженером-изобретателем Генрихом Альтшуллером. В девяностые годы ТРИЗ стала известна за пределами бывшего СССР, в том числе она начала применяться в известных крупных корпорациях – Samsung, General Electric, Siemens, Boeing, Bosh, Ford, Intel, Philips [2].

Любая техническая система определяется совокупностью оптимальных параметров, позволяющих снизить уровень имеющихся противоречий. Существует множество методов оптимального проектирования, с помощью которых можно создавать сбалансированные техниче-

ские системы [3]. В процессе оптимизации может подбираться как один, так и одновременно множество параметров конструкции. Однако оптимизация обычно не приводит к новым изобретательским решениям, принципиально новым конструкциям технических систем. Это не ее назначение, она решает свои важные инженерные задачи, но это не основной инструмент изобретателя. Оптимизация не снимает противоречия технической системы, а лишь снижает их уровень до возможно минимального значения.

Для построения технических систем на качественно ином уровне необходимо использовать теоретические представления о том, в каком направлении развивается данная техническая система. Это необходимо знать для организации управления процессом ее проектирования, функционирования и эксплуатации. Технические системы появляются и развиваются по определенным объективным законам.

Справиться с подобными задачами позволяют три принципа, лежащие в основе ТРИЗ [4]:

- принцип объективности законов развития систем: строение, функционирование и смена поколений систем подчиняются объективным законам;
- принцип противоречия: под воздействием внешних и внутренних факторов возникают, обостряются и разрешаются противоречия;
- принцип конкретности: каждый класс систем, как и отдельные представители внутри этого класса, имеет особенности, облегчающие или затрудняющие изменение конкретной системы.

Эти особенности определяются ресурсами: внутренними – теми, на которых строится система, и внешними – той средой и ситуацией, в которых находится система.

Одним из главных достоинств ТРИЗ является высокая степень нахождения практически применимых решений в нетривиальных и объемных творческих задачах и многократное сокращение времени на решение подобных задач. Это сокращение достигается вычерчиванием узкой полосы «незнания» при выполнении проекта, что позволяет притягивать специальные компетенции не масштабно, а точно (рис. 1).

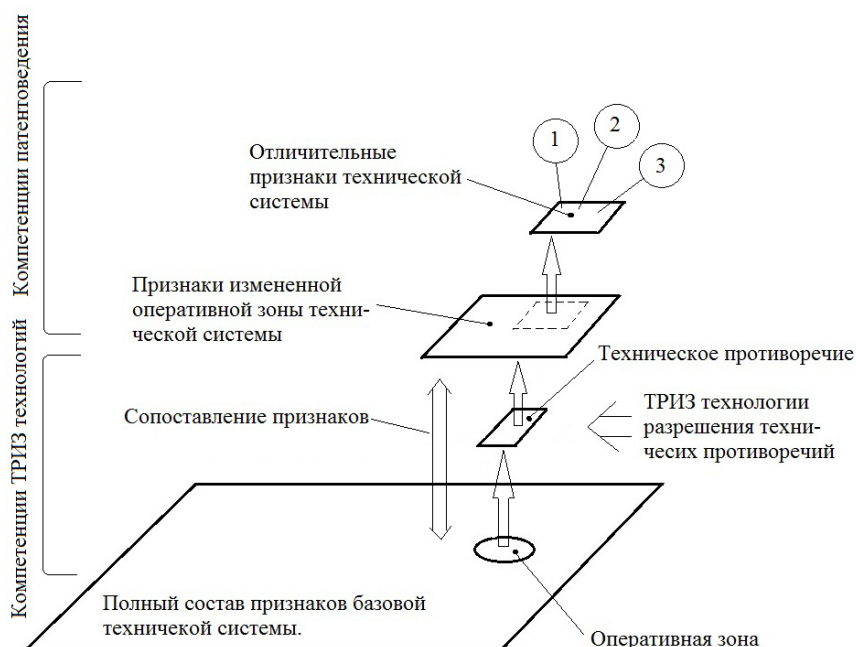


Рис. 1. Пример образования семантической матрицы отличительных признаков из точечной оперативной зоны базовой технической системы

Fig. 1. Example of the formation of a semantic matrix of distinctive features from the point operational zone of the basic technical system

Для решения многовариантных задач оптимизации в настоящее время разработаны алгоритмы CAD – CAE – HPTC – CAO – CAM – CAAM на базе центра НТИ СПбПУ, возглавляемого А. И. Боровковым [5]. Программа управления цифровой трансформацией подготовлена для директоров крупных частных и государственных компаний, где происходит сближение материального и цифрового миров. На пересечении этих миров, согласно парадигме, создается цифровой двойник, который должен стать драйвером устойчивого экономического развития высокотехнологичных компаний. Разработка цифрового двойника начинается на старте проекта, далее формируется матрица целевых показателей и ресурсных ограничений. Затем, с большим числом виртуальных испытаний, с использованием виртуальных стендов и полигонов, ведется разработка, особенностью которой становится построение сразу нескольких траекторий проектирования. Но первый вариант концепта нового проекта создается на базе лучших отечественных и зарубежных образцов аналогичного назначения, которые на тот момент уже достаточно хорошо оптимизированы.

Результаты решения технических задач, полученные путем оптимизации, значительно отличаются от результатов, полученных путем вскрытия и разрешения технического противоречия. Если в первом случае происходит поиск компромисса между двумя и более противоречивыми признаками технической системы, то во втором случае один из противоречивых признаков исчезает, и для технической системы открывается обширное пространство для поиска сбалансированных решений по выбранным параметрам.

Полученные решения на уровне ТРИЗ содержат новизну на уровне изобретения, но опираются на утверждения условной очевидности и не предоставляют инструмента поиска внутри инженерного пространства необходимых цифровых значений данных, обеспечивающих ожидаемый результат, заявленный исходным концептом. В таком состоянии найденное техническое решение еще не может перейти на стадию применения CAD технологий.

Для заданного уровня сложности создания технических объектов рекомендовано использование CALS технологий [6]. В начальной стадии создания проекта, как и по всей его линии жизни, эти технологии обеспечивают связь исходного информационного цифрового поля данных с выходными параметрами объекта, которые либо заданы субъектом, либо декларированы для открытого рынка.

Построение модели интерфейса

Предложенная авторами разработка предназначена для формирования программного интерфейса, связывающего построенные на уровне ТРИЗ концепты технических систем с новыми качествами, обладающими новизной на уровне изобретения 3-го или 4-го уровня, с начальными процедурами проектирования на базе известных программных систем для создания конструкторской документации согласно единым требованиям. Разработка представлена в виде четырехслойной модели траектории прохождения проекта внутри неформализованной зоны инженерного пространства [7], способной предлагать решения, лежащие за пределами опыта и интуиции инженера.

Назначение разрабатываемой четырехслойной модели траектории прохождения проекта внутри неформализованной зоны заключается в создании интуитивной платформы, внутри которой должны будут генерироваться точечно, как в ТРИЗ, необходимые наборы численных значений исходных данных, покрывающих дефицитную область цифрового инженерного пространства для конкретно выбранной творческой задачи.

Технологии ТРИЗ располагают рядом инструментов на уровне компьютерных программ, обеспечивающих интеллектуальную помощь пользователям при решении технических задач: INS GoldfireTM, TRIZSoftTM, EASyTRIZTM, TRIZ ExplorerTM, Crea TRIZTM, TRIZ COM2019 и др.

Разрабатываемый интерфейс является продолжением классического ядра теории ТРИЗ, позволяющий проникать найденному концептуальному решению в неформализованную зону. Аналогией такого проникновения является технология «Порождающее проектирование», когда по заданным граничным условиям внутри базовой геометрической модели генерируется иная структура, связывающая внешние воздействия и реакции внутренней структуры модели, подвергшейся геометрической дискретизации. Алгоритм генерации иной структуры в самом начале использует ограниченное количество данных, которых явно не хватает для того, чтобы можно было построить ожидаемую структуру полностью. Он, этот алгоритм, набирает данные по пути генерации, как это происходит при использовании метода градиентного спуска с некоторой модификацией, известной как метод обратного распространения ошибки.

Для выполнения необходимых условий связи исходного информационного поля данных с выходными параметрами объекта предлагается задействовать локальные фрагменты математических моделей, привязанные к отличительным признакам создаваемого технического объекта. Причинность появления отличительных признаков в техническом объекте обусловлена необходимостью достижения декларируемых выходных параметров или матрицы целевых показателей [8].

При разрешении технического противоречия, или использовании любого другого инструмента ТРИЗ [9], в базовую модель технической системы вводятся новые конструктивные элементы, одновременно выводятся ненужные. Это приводит к изменению семантической матрицы признаков, а сопоставление матриц базовой модели и модели технической системы, выведенной на качественно иной уровень, формирует локальную группу отличительных признаков. Каждый из элементов этой выделенной группы может быть охарактеризован одним или несколькими параметрами, например, a_i ; b_i ; c_i ; d_i (см. рис. 2).

Присвоение параметрам признаков числовых значений позволит перевести конструктивные единицы проекта в область малых аналитических исследований с применением фрагментов математических моделей или предсказательных моделей [10].

В неформализованной зоне должно происходить информационное насыщение входных данных для проектирования технического объекта, которое сопровождается связностью с носителями информации, т. е. отличительными признаками. Таким образом, к конструктивным единицам проекта, выраженным семантически, присоединяются дискретные множества входных данных.

В основе преобразования информации лежит использование мультидисциплинарных математических моделей с определенным уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физикомеханическим процессам.

На первой стадии преобразования определяются переменные значения характеристик отличительных признаков. Затем задаются начальные и граничные условия возможного варьирования данных характеристик и шаг их дискретности. Таким образом, формируются дискретные множества аргументов неизвестных пока функций для начала прохода через неформализованную зону, предшествующую стадии ОКР.

По каждому аргументу имеется два множества. Второе из них является частью матрицы целевых показателей. Предполагается наличие неизвестной функции сопоставляющей, например, каждому $a_i \in \{a\}$, определенное $y_i \in \{y\} \Leftrightarrow A, y_i \in A$.

Неизвестные функции, в данном случае, есть локальные фрагменты математических моделей, которые связывают дискретивные множества аргументов с декларируемыми выходными параметрами, которым так же присваиваются числовые значения, например, A , B , C и D . Фрагменты математических моделей или предсказательных моделей представляем, как Mn , где n – положительные целые числа.



Рис. 2. Пример преобразования семантической матрицы признаков в дискретные множества аргументов предсказательных моделей

Fig. 2. Example of converting a semantic feature matrix into discrete sets of predictive model arguments

При решении задач о восстановлении функций, которые являются фрагментами математических моделей, необходимо производить конструирование предсказательных моделей, которые используются для прогнозирования значений отклика функций или поведения части конструкции изделия без проведения более полных экспериментов или численных исследований.

Четырехслойная модель траектории прохождения проекта внутри неформализованной зоны позволяет отразить основные или определяющие пути накопления, преобразования и отсеивания информации, привязанной к отличительным признакам технической системы в виде графического отражения уровней (см. рис. 3).

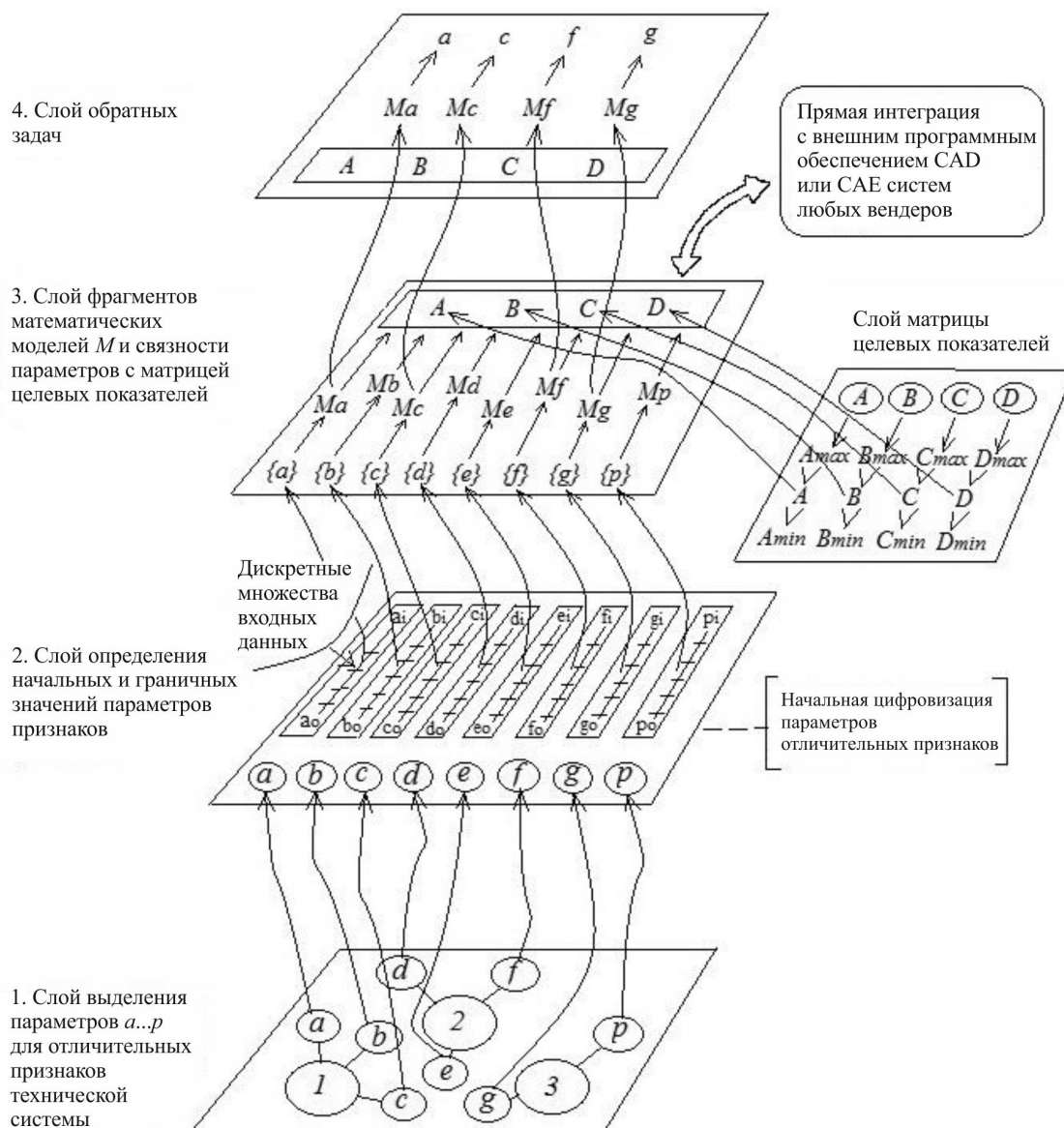


Рис. 3. Четырехслойная модель траектории прохождения проекта внутри неформализованной зоны
 Fig. 3. Four-layer model of the trajectory of the project within an informal zone

На каждом уровне последовательно по заданным алгоритмам производится работа с информацией, представленной в виде дискретных множеств, числовых значений данных, характеризующих параметры воздействия и отклика на предсказательных моделях.

Предсказательные модели являются расчетными схемами, отражающими разнородные взаимодействия участвующих в процессе физических объектов. Если в реальной расчетной схеме искомый параметр зависит от очень большого числа переменных, подлежащих определению, то предсказательная модель зависит от небольшого числа параметров, но дает удовлетворительные значения для искомого параметра.

Разрабатываемый алгоритм, а в дальнейшем интерфейс, позволит расширить границы инженерного пространства и приблизить его к начальной области создания наукоемкого технического решения. Таким образом, найденные «красивые» решения, например, с помощью технологии ТРИЗ, в основе которых заложен принцип идеальности системы и законы их раз-

вития, не потеряют в процессе жизненного цикла на стадии проектирования своей ценности и воплотятся в техническом объекте.

Современные технологии ТРИЗ и разрабатываемый интерфейс для локальной формализации инженерного пространства будут соответствовать триаде требований современного глобального рынка, связанных с сокращением времени принятия решения (Time-to-Decision, T2D), значительным сокращением времени выполнения проектов (Time-to-Execution, T2E) и значительным сокращением времени вывода продукции на рынок (Time-to-Market, T2M) [11].

Заключение

В результате разработки четырехслойной модели траектории прохождения проекта внутри неформализованной зоны были определены границы слабой поддержки со стороны инженерного пространства, располагающего специализированными программами для работы над техническими проектами в области машиностроения и приборостроения. В этих границах предложена обобщенная модель поиска необходимых данных для технических проектов в виде четырех укрупненных блоков.

Наиболее актуальной задачей по доработке обобщенной модели, а затем интерфейса, является разработка универсального алгоритма построения локальных математических моделей в условиях мультидисциплинарности. Направление, в котором будет осуществляться доработка, основывается на восстановлении неизвестной функции с использованием метода градиентного спуска с модификацией метода обратного распространения ошибки в теории искусственных нейронных сетей.

Список литературы

1. **Свириденко Д. И., Сибиряков В. Г.** ТРИЗ – Теория Решения Инновационных Задач. [Электронный ресурс] URL: https://journal.safbd.ru/ru/issues/2017-no3-122-may-iyun_article_26-35 (дата обращения: 24.03.2021).
2. **Сушков В.** ТРИЗ в мире: История, современность, проблемы. – Нидерланды.: IGG Training & Consulting. [Электронный ресурс] URL: https://xtriz.com/publications/TRIZ_in_the_world_RUS.pdf (дата обращения: 26.08.2021).
3. **Боровков А. И., Рябов Ю. А., Марусева В. М.** Умные цифровые двойники – основа парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения [Электронный ресурс] URL: <http://fea.ru/news/6722> (дата обращения: 24.03.2021).
4. **Альтшуллер Г. С.** Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач / Генрих Альтшуллер. – 5-е изд. – М. : Альпина Паблишер, 2012.
5. **Боровков А. И., Рябов Ю. А., Марусева В. М.** Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения [Электронный ресурс] URL: <http://fea.ru/news/6721> (дата обращения: 26.04.2021).
6. **Соломенцев Ю. М., Митрофанов В. Г., Павлов В. В., Рыбаков А. В.** Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии М. : Наука, 2003. 292 с.
7. **Мерзлякова Е. Ю., Елтышев Ю. В.** Анализ траектории прохождения разработки наукоемких технических объектов. [Электронный ресурс] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44822814> (дата обращения: 24.03.2021).
8. **Мерзлякова Е. Ю., Елтышев Ю. В., Никитин Г. И.** Построение четырехслойной модели на траектории прохождения наукоемких проектов в неформализованной зоне. [Электронный ресурс] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44803305> (дата обращения: 24.03.2021).

9. **Сибиряков В. Г.** Технический аудит инвестиционных проектов по трендам развития. Радарная диаграмма идеальности систем. [Электронный ресурс] URL: <http://live-kino.ru/video/SkYtKDiyEg4> (дата обращения: 24.03.2021).
10. **Гимади Э. Х., Глебов Н. И.** Математические модели и методы принятия решений. Учебное пособие // Новосиб. гос. Ун-т. Новосибирск, 2008. 163 с.
11. **Боровков А. И., Рябов Ю. А., Марусева В. М.** Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения [Электронный ресурс] URL: <http://fea.ru/news/6721> (дата обращения: 26.04.2021).

References

1. **Sviridenko D. I., Sibiryakov V. G.** TRIZ – Teoriya Resheniya Innovatsionnykh Zadach [Electronic resource] URL: https://journal.safbd.ru/ru/issues/2017-no3-122-may-iyun_article_26-35 (accessed 24.03.2021). (In Russ.)
2. **Souchkov V.** TRIZ in the world: History, modernity, problems. – Netherlands.: IGG Training & Consulting. [Electronic resource] URL: https://xtriz.com/publications/TRIZ_in_the_world_RUS.pdf (accessed 26.08.2021). (In Russ.)
3. **Borovkov A. I., Ryabov Y. A., Marusawa V. M.** Umnye tsifrovye dvoyniki – osnova paradigmy tsifrovogo proektirovaniya i modelirovaniya global'no konkurentosposobnoi produktsii novogo pokoleniya [Smart digital twins – the basis of para-Digma digital design and modeling of globally competitive products of a new generation] [Electronic resource] URL: <http://fea.ru/news/6722> (accessed 24.03.2021). (In Russ.)
4. **Altshuller G. S.** Naiti ideyu. Vvedenie v TRIZ – teoriyu resheniya izobretatel'skikh zadach [to Find an idea. Introduction to TRIZ the theory of inventive problem solving]. – 5th ed. – M.: Al'pina Publisher, 2012. (In Russ.)
5. **Borovkov A. I., Ryabov Y. A., Maruseva V. M.** Novaya paradigma tsifrovogo proektirovaniya i modelirovaniya global'no konkurentosposobnoi produktsii novogo pokoleniya [New paradigm of digital design and modeling of globally competitive products of the new generation] [Electronic resource] URL: <http://fea.ru/news/6721> (accessed 26.04.2021). (In Russ.)
6. **Solomentsev, Y. M., Mitrofanov, V. G., Pavlov V. V., Rybakov V. A.** Informatsionno-vychislitel'nye sistemy v mashinostroenii CALS-tehnologii [Information and computing systems in engineering, CALS-technologies]. Moscow: Nauka, 2003. 292 p. (In Russ.)
7. **Merzlyakova C. Y., Eltyshv Y. V.** Analiz traektorii prokhozhdeniya razrabotki naukoemkikh tekhnicheskikh ob'ektov [Electronic resource] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44822814> (accessed 24.03.2021).
8. **Merzlyakova C. Y., Eltyshv Y. V., Nikitin G. I.** Postroenie chetyrekh sloinoi modeli na traektorii prokhozhdeniya naukoemkikh proektov v neformalizovannoi zone [Electronic resource] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44803305> (accessed 24.03.2021).
9. **Sibiryakov V. G.** Tekhnicheskii audit investitsionnykh proektov po trendam razvitiya. Radarnaya diagramma ideal'nosti sistem [Technical audit of investment projects on development trends. Radar diagram of the ideality of systems]. [Electronic resource] URL: <http://live-kino.ru/video/SkYtKDiyEg4> (accessed 24.03.2021).
10. **Giladi H. E., Glebov N. I.** Matematicheskie modeli i metody prinyatiya reshenii. Uchebnoe posobie [Mathematical models and methods of decision-making. Textbook] // Novosibirsk State University. Univ. Novosibirsk, 2008. 163 p. (In Russ.)
11. **Borovkov A. I., Ryabov Y. A., Maruseva V. M.** Novaya paradigma tsifrovogo proektirovaniya i modelirovaniya global'no konkurentosposobnoi produktsii novogo pokoleniya [New paradigm of digital design and modeling of globally competitive products of the new generation] [Electronic resource] URL: <http://fea.ru/news/6721> (accessed 26.04.2021). (In Russ.)

Сведения об авторах

Мерзлякова Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры ПМиК Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (Новосибирск, Россия)

Сибиряков Виссарион Григорьевич, кандидат технических наук, мастер ТРИЗ, изобретатель СССР, директор ООО Ключевые технологии ТРИЗ (Новосибирск, Россия)

Елтышев Юрий Васильевич, ведущий инженер-конструктор СКБ научно-технического отдела ООО НПФ Гранч, старший преподаватель НТИ РГУ им. А. Н. Косыгина (Новосибирск, Россия)

Information about the Authors

Merzlyakova Catherine Yuryevna, candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of PMK of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics (Novosibirsk, Russian Federation)

Sibiryakov Vissarion Grigoryevich, candidate of technical sciences, master of TRIZ, inventor of the USSR, Director of Key Technologies TRIZ LLC (Novosibirsk, Russian Federation)

Eltyshev Yuri Vassilyevich, senior design engineer of the SCB of the Scientific and Technical Department of NPF Grantch LLC, senior lecturer of NTI RSPU named after A. N. Kosygin (Novosibirsk, Russian Federation)

Статья поступила в редакцию 26.04.2022;

одобрена после рецензирования 13.05.2022; принята к публикации 13.05.2022

The article was submitted 26.04.2022;

approved after reviewing 13.05.2022; accepted for publication 13.05.2022