

**ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ  
В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:  
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ**

Д.В. Королев

daniilkorolev2412@gmail.com

SPIN-код: 6353-1582

ГБОУ РМ «Республиканский лицей для одаренных детей»,  
Саранск, Российская Федерация

---

**Аннотация**

Представлены результаты исследования теоретико-прикладных и нормативно-правовых аспектов применения цифровых двойников в ракетно-космической промышленности России. Актуальность исследования обусловлена недостаточной изученностью концепции цифровых двойников и практики ее применения в ракетно-космической промышленности в российской научной литературе. Рассмотрены наиболее комплексные определения и типы цифровых двойников, группы технологий их создания; выявлены преимущества и эффекты от использования цифровых двойников на разных этапах жизненного цикла ракетно-космической техники; охарактеризованы проблемы внедрения цифровых двойников в промышленность. В качестве ключевой проблемы признано полное отсутствие законодательного регулирования оборота цифровых двойников в России, обоснованы предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы. Исследованы стратегические документы развития Госкорпорации «Роскосмос» на предмет перспектив внедрения цифровых двойников. Предложено объединить усилия космических держав по разработке цифровых двойников для целей освоения дальнего космоса. Обоснована необходимость краудсорсинговой платформы для объединения усилий экспертного, профессионального и научного сообщества в качестве централизованного места размещения официальных, рабочих, дискуссионных документов, образовательной площадки для школьников и молодежи, инструмента популяризации космических исследований и привлечения молодежи в профессию ракетно-космической промышленности.

**Ключевые слова**

Цифровой двойник, ракетно-космическая промышленность, ракетно-космическая техника, космические аппараты, информационные технологии, большие данные, интернет вещей, моделирование

Поступила в редакцию 23.03.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

**Введение.** В XXI в. космос становится незаменимым источником информации не только для фундаментальной науки, но и для практического использования каждым жителем планеты. Современный человек не представляет своей жизни без спутникового телевидения, сотовых телефонов, ежедневных прогнозов погоды, существование которых было бы невозможно без освоения космоса. Кроме того, научные разработки и новые технологии, выполненные для космической промышленности, часто потом используются для производства товаров (работ, услуг) потребительского назначения. Например, Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» (далее ГК «Роскосмос») в 2017 г. инициировала трансфер в экономику ряда технологий, разработанных для космической деятельности: робототехнические системы для действий в чрезвычайных ситуациях и специальных условиях; радиопротекторы для условий с повышенной радиацией; системы автономного жизнеобеспечения для обитаемых изолированных объектов (подводных, арктических, в пустыне, в горах); криогенные системы (в том числе для высокотемпературной сверхпроводимости); системы электродвижения (по поверхности, в атмосфере) и др. [1]. Все это свидетельствует о высокой актуальности исследований по безопасному освоению космоса и разработке космических технологий, имеющих потенциал для использования в жизни человека на планете Земля. К таковым, по нашему мнению, относится технология цифровых двойников.

По данным ряда исследований [2–4] впервые концепция и модель цифрового двойника была предложена для управления жизненным циклом продукта Майклом Гривз из Мичиганского университета США в 2002 г., хотя для ракетостроения технология применялась с 60–70-х гг. XX в. и до сих пор крайне востребована.

Ракетно-космическая промышленность — это высокотехнологичная, наукоемкая отрасль экономики, обеспечивающая разработку, производство, запуск, эксплуатацию космических аппаратов различного назначения. Ракетно-космическая техника — техника высокой сложности, работающая, в отличие от других видов техники, на пределах возможностей конструкционных материалов. На надежность ракетно-космической техники влияет множество факторов: просчеты в проектировании, ошибки при производстве, нарушение условий эксплуатации, многочисленные факторы космического пространства. Между тем каждый сбой в работе космических аппаратов и авария при запуске ракет сопряжены с рисками для человеческих жизней, нарушением функционирования наземных систем, использующих данные из космоса, большими финансовыми потерями. К сожалению, в последние годы Россия не только уступила свое лидерство по количеству космических запусков Китаю и США, но и, несмотря на принимаемые меры, допускала аварийные или частично аварийные запуски (табл. 1).

Как видно из данных табл. 1, успешность запусков за последние 5 лет выросла с 91,9 % в 2014 г. до 95,5 % в 2018 г. В 2016–2019 гг. ГК «Роскосмос» не заявляла об отказах космических аппаратов. В 2010–2015 гг. общее число отказов составило 14. Их причины имели конструкционный характер и были вызваны в основном неправильным выбором ЭРИ.

## Динамика количества запусков ГК «Роскосмос»

Показатель	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Количество запусков	23	24	26	27	26	17	15	17	25
В том числе аварийных или неуспешных	1	3	1	2	1	2	1	1	1
Успешность пусков ракето-носителей	н/д	н/д	н/д	н/д	91,9	93,1	94,7	95,2	95,5
Отказы космических аппаратов	3	2	0	5	2	2	0	0	0
<i>Источник:</i> составлено по данным годовых отчетов и официального сайта о космических запусках ГК «Роскосмос» (URL: <a href="https://www.roscosmos.ru/22444/">https://www.roscosmos.ru/22444/</a> ).									

По данным из открытых источников в 2019 г. в России совершено 22 успешных космических запуска. Таким образом, безаварийный период (16 месяцев) наблюдается с момента последней аварии ракеты-носителя «Союз ФГ» в октябре 2018 г., из-за которой не был выведен на расчетную орбиту ТПК «Союз МС-10». Нештатное отделение бокового блока «Д» привело к разгерметизации центрального блока «А» и, как следствие, к потере стабилизации РКН на 119-й секунде полета. Причина штатного разделения блока «Д» — деформация штока датчика контакта разделения (изгиб на  $6^{\circ}45'$ ), допущенная при сборке ракеты на космодроме Байконур. По оценкам ГК «Роскосмос» все отказы средств выведения в полете носят конструкционный и производственный характер.

По нашему мнению, применение технологии цифровых двойников в ракетно-космической промышленности позволило бы существенно повысить качество и надежность ракетно-космической техники, а следовательно, и безопасность космических полетов. Однако в РФ степень изученности проблем и перспектив применения указанной технологии в ракетно-космической промышленности недостаточно высока. В немногочисленных исследованиях акцент сделан на сущности термина [5], на подходах и методах создания цифровых двойников [2, 6, 7]. В связи с этим задача данного исследования — выявить проблемы использования технологии цифровых двойников в ракетно-космической отрасли, обосновать предложения по их разрешению и перспективы развития.

Для проведения исследования были использованы общенаучные методы (анализ и синтез, сравнение, дедукция и индукция), декомпозиция понятия. Информационную основу составили данные официальных сайтов ГК «Роскосмос», Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA), публикации в научной литературе.

Понятие цифрового двойника тесно связано с концепцией «Индустриальная революция 4.0», охватывающей совокупность инновационных технологий: управление жизненным циклом изделия (PLM — Product Lifecycle Management); большие данные (BIG Data); интернет вещей (Internet of Things — IoT). Современная научная и периодическая литература насчитывает несколько десятков различных определений цифрового двойника. Приведем некоторые из них, наиболее полно, по нашему мнению, раскрывающие суть анализируемого понятия (табл. 2).

**Авторские подходы к определению сущности категории «цифровой двойник»**

Автор, год	Определение	Источник
NASA, 2013	Цифровой двойник — интегрированное мультифизическое, многоуровневое и вероятностное моделирование изделий или систем при помощи цифрового потока, использующего самые лучшие физические модели, сенсоры и т. д. для отображения жизненного цикла реального двойника. Цифровой поток — технологии создания и использования цифрового двойника техники для проведения динамической оценки ее состояния и возможностей в реальном времени для лучшего принятия решений по закупкам	[8]
РАНХиГС, 2019	Цифровой двойник понимается как виртуальный прототип реального физического объекта, группы изделий или процесса, в котором осуществляется сбор и повторное использование цифровой информации об объекте, он не ограничивается только сбором данных на стадии его разработки или внедрения, но существует и развивается в течение всего жизненного цикла объекта, собирая и обрабатывая поступающие от него данные и храня всю их предыдущую историю... Цифровой двойник — это семейства сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, реальным объектам / конструкциям / машинам / приборам... / техническим и киберфизическим системам, физико-механическим процессам (включая технологические и производственные процессы), описываемые 3D-нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных	[9]
Ben Hicks, 2018	Цифровой двойник — это надлежащим образом синхронизированный массив полезной информации (структура, функция и поведение) физического объекта в виртуальном пространстве с потоками информации, которые обеспечивают сближение между физическим и виртуальным состояниями	[10]
Glaessgen Edward and David Stargel, 2012	Цифровой близнец — это интегрированное мультифизическое, многомасштабное, вероятностное моделирование транспортного средства или системы в сборе, использующее лучшие доступные физические модели, обновления датчиков, историю парка и т. д., чтобы отразить жизнь соответствующего летающего близнеца. Он является ультрареалистичным и может учитывать одну или несколько важных и взаимозависимых систем, включая планер, двигатели и накопители энергии, средства жизнеобеспечения, авионику, тепловую защиту и т. д.	[8]

Таким образом, цифровой двойник — это не просто 3D-модель физического объекта. Его определяют с точки зрения процессного подхода как моделирование состояния реального объекта либо с точки зрения системного подхода — как виртуальный прототип, включающий совокупность моделей и других технологий программирования, сбора и анализа больших данных. Таким образом, сущностное наполнение термина сводится к объединению целого комплекса разных технологий: математическое, компьютерное моделирование, программирование, сбор и анализ больших данных, интернета вещей, искусственного интеллекта и др.

Условно используемые при создании цифровых двойников технологии можно разделить на три группы:

- 1) симуляция процессов, имитационное моделирование (FlexSim, Simulia, ANFIS);
- 2) графическое и 3D-моделирование (SolidWorks, Unity3D, AutoCAD);
- 3) сбор и обмен данными (SysML, AML, SCADA) [11].

Сейчас распространена классификация, включающая следующие три типа двойников изделия: цифровые двойники-прототипы (Digital Twin Prototype, DTP); цифровые двойники-экземпляры (Digital Twin Instance, DTI); агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate, DTA) [2]. Выделяют также Digital Twin Environment (DTE) — это приложение для работы с цифровыми двойниками, которое является симулятором [12].

Проведенное исследование позволило выделить ряд преимуществ и возможных экономических эффектов от использования цифровых двойников в ракетно-космической промышленности (табл. 3).

Как видно из табл. 3, применение цифровых двойников в ракетно-космической промышленности будет способствовать оптимизации расходов на каждой стадии жизненного цикла ракетно-космической техники, повышению безопасности и рентабельности космической промышленности. Цифровой двойник позволяет имитировать, контролировать и улучшать функционирование реального объекта. Накопление больших данных в конечном итоге создаст задел для новых научных разработок по созданию космических аппаратов нового поколения с более совершенными эксплуатационными характеристиками, революционных новых материалов.

Однако внедрение данной технологии в ракетно-космическую промышленность сопряжено с рядом проблем. Опасности могут возникать в связи с риском неточного представления объекта с использованием цифрового близнеца, а также ошибок и неточностей в моделировании состояния реального объекта. Их последствия в космической деятельности могут быть катастрофическими. В связи с этим крайне важно разрабатывать современные платформы и методы для создания цифровых двойников.

**Характеристика преимуществ и эффектов от использования цифровых двойников на разных этапах жизненного цикла ракетно-космической техники**

Этап жизненного цикла	Преимущества (возможности) использования	Экономические эффекты использования
Проектирование и производство	Улучшение характеристик космических аппаратов на основе виртуального проектирования. Минимизация ошибок в проектировании и производстве космических аппаратов за счет их тестирования в виртуальной среде, повышение эффективности контроля	Сокращение стоимости проектов по разработке новых моделей ракетно-космической техники. Сокращение затрат по производству, эксплуатации и техническому обслуживанию ракетно-космической техники
Эксплуатация	Повышение безопасности эксплуатации ракетно-космической техники и сокращение рисков для жизни и здоровья членов экипажа на основе прогнозирования реакции системы на критические события безопасности и обнаружения ранее неизвестных проблем, прежде чем они станут критическими. Максимизация точности мониторинга космических операций за счет имитации и контроля двойником важных факторов эксплуатации (сгорание топлива, сила трения в воздухе, уровни нагрева и др.)	Повышение доходов за счет расширения спроса на безопасные работы и услуги космической промышленности, например, в сфере космического туризма
Техническое обслуживание	Прямой мониторинг в режиме реального времени состояния космического аппарата. Оптимизация технического обслуживания космических аппаратов с использованием данных, собранных цифровых двойником, например, прогноз с высокой степенью точности оставшегося срока полезного использования аппарата	Экономия средств за счет увеличения срока эксплуатации, надежности, долговечности деталей и аппаратов. Повышение доходов за счет более полного использования потенциала ракетно-космической техники, например, повышение грузоподъемности
<i>Источник:</i> составлено автором.		

Становится все более очевидным, что цифровой двойник используется параллельно с технологиями искусственного интеллекта (AI) и интернета вещей (IoT), что приводит к общим проблемам их применения (табл. 4).

**Проблемы внедрения цифровых двойников в промышленность**

Источник проблемы	Характеристика проблемы
IT-инфраструктура	Для создания цифровых двойников необходима IT-инфраструктура, обеспечивающая функционирование и интернета вещей, и аналитику данных, которой пока в России нет
Большие (умные) данные	Для создания цифровых двойников необходим непрерывный поток качественных данных определенного количества, которые не содержат разного рода шумов. Поэтому при создании цифровых двойников важно определить оптимальный объем и критерии оценки качества данных
Конфиденциальность и безопасность	Крайне сложно на уровне отдельных предприятий обеспечить конфиденциальность и безопасность данных, собираемых цифровыми двойниками по причине их огромного объема и рисков информационной безопасности. Необходимо соблюдение мер информационной безопасности, коммерческой тайны
Доверие	Инновационные технологии цифровых двойников могут вызывать недоверие у потенциальных потребителей. Необходимо дальнейшее обсуждение их преимуществ и эффектов, активизировать НИОКР по данному направлению
Ожидание	Возможны завышенные или заниженные ожидания от внедрения цифровых двойников. Необходимы взвешенные решения об их использовании с учетом всех возможных проблем, отрицательных последствий и положительных эффектов
<i>Источник:</i> составлено автором по данным [13].	

С учетом стратегической важности ракетно-космической промышленности для государства высокую актуальность для нее имеют проблемы конфиденциальности и информационной безопасности в сфере сбора и передачи больших данных при функционировании цифровых двойников. Для решения этой проблемы считаем рациональным использовать технологию Blockchain, которая обеспечивает безопасность от хакеров благодаря своим функциям шифрования и прозрачность истории данных. Ракетно-космическая промышленность вполне обладает необходимыми финансовыми средствами для интегрирования данных технологий, создания специализированных платформ распределенных регистров, которые позволяют накапливать и обмениваться информацией между цифровыми близнецами. Однако основные проблемы внедрения цифровых двойников как в ракетно-космическую, так и в другие отрасли промышленного производства и сферы жизнедеятельности человека носят не технологический, а регуляторный характер. Так, в РФ термин «цифровой двойник» косвенно упоминается в нескольких нормативных актах:

1) «Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии» в части создания цифровых двойников исследовательских установок;

2) Распоряжение Правительства РФ от 30.09.2018 № 2101-р (ред. от 17.08.2019) «Об утверждении комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 г.», содержащее определение цифрового двойника как виртуального образа транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры, в том числе для управления их жизненным циклом;

3) Постановление Правительства РФ от 30.04.2019 № 529 (ред. от 26.09.2019) «Об утверждении Правил предоставления субсидий российским организациям на возмещение части затрат на разработку цифровых платформ и программных продуктов в целях создания и (или) развития производства высокотехнологичной промышленной продукции», предусматривающее субсидирование части затрат на разработку программного обеспечения и соответствующей документации, функционально обеспечивающих поддержку технологии цифрового двойника изделия и цифрового двойника технологического процесса;

4) Приказ Росстандарта от 01.11.2019 № 2612 «Об утверждении Программы национальной стандартизации на 2020 год», планирует начать разработку стандарта «Умное производство. Цифровые двойники».

Таким образом, в настоящее время российское законодательство не закрепляет точное значение и параметры технологии цифровых двойников, отсутствуют государственные стандарты анализируемой технологии. Законодательный вакуум существенно осложняет научно-исследовательские разработки и оборот технологий, составляющих в совокупности цифровых двойников, вызывает злоупотребления в применении термина. Например, очевидно, что при предоставлении субсидий, согласно выше отмеченному Постановлению Правительства РФ от 30.04.2019 № 529, на программные продукты, обеспечивающие поддержку технологии цифрового двойника, идентифицировать законность употребления последнего термина невозможно. Это значит, что субсидии могут быть предоставлены не по назначению.

Считаем необходимым параллельно с введением в действие выше отмеченного стандарта внести изменения и в иные нормативно-правовые акты, оперирующие категорией «цифровой двойник» в виде (как минимум) его определения. Возможно, принять Стратегию развития цифровых двойников, например, по аналогии с Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года (Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490). Либо внести конкретные мероприятия по продвижению технологии цифровых двойников в Федеральный проект «Цифровые технологии», который в настоящее время не содержит даже упоминания о ней.

Законодательство РФ о космической деятельности также не оперирует термином «цифровой двойник». Рассмотрим подробнее ряд стратегических документов ГК «Роскосмос» на предмет идентификации современного состояния



и перспектив применения цифровых двойников и составляющих их технологий в ракетно-космической промышленности России.

Согласно Стратегии развития ГК «Роскосмос» на период до 2025 года и перспективу до 2030 года (далее — Стратегия) средняя доля успешных пусков за предыдущие 5 лет должна составить 99 %; сроки активного существования низкоорбитальных космических аппаратов — увеличиться в 2 раза до 10 лет; сроки активного существования геостационарных космических аппаратов — увеличиться на 30 % с 10 до 15 лет [1].

В Стратегии предусмотрено внедрение в ракетно-космическую промышленность надежно-ориентированных технологий создания и применения изделий ракетно-космической техники:

- технологии цифрового проектирования и испытания изделий;
- технологии контроля технического состояния изделий ракетно-космической техники в процессе их эксплуатации;
- информационные технологии мониторинга качества изделий, результативности и эффективности систем менеджмента организаций ракетно-космической промышленности.

Кроме того, в Стратегии в рамках совершенствования системы менеджмента качества запланировано развитие системы информации о техническом состоянии и надежности изделий, создание электронных банков данных и программных комплексов.

Безусловно, все это позволит создать основу для разработки и внедрения цифровых двойников. Однако в число перспективных технологий, перечисленных в Стратегии, технологии создания цифровых двойников, которые предполагают гармонизацию и комплексную эксплуатацию не только перечисленных, но и ряда других технологий, не включены. Мы считаем необходимым, внести в документы стратегического развития ГК Роскосмос изменения, касающиеся расширения исследований, разработок и внедрения в космическую деятельность и ракетно-космическую промышленность цифровых двойников. В частности, необходимо включить технологии создания цифровых двойников в перечень междисциплинарных перспективных технологий.

В настоящее время ГК «Роскосмос» ведет ряд работ по информатизации и автоматизации космической деятельности.

Во-первых, ведутся работы по эксплуатации и развитию автоматизированной системы информации о техническом состоянии и надежности изделий ракетно-космической техники. В 2018 г. на 30 % расширены возможности специального программного обеспечения по автоматизированной обработке информации о надежности изделий, на 25 % (до 20 организаций) увеличено количество предприятий, подключенных к автоматизированной обработке информации о техническом состоянии и надежности изделий ракетно-космической техники.

Во-вторых, создается автоматизированная информационная система по стандартизации ракетно-космической деятельности, основными задачами которой являются сокращение сроков разработки и создание электронной базы

стандартов на нее для обеспечения доступа организаций ракетно-космической промышленности к актуальной информации.

В-третьих, для организации эффективной работы создается государственная информационно-аналитическая система обеспечения потребителей результатами космической деятельности и инфраструктура федерального сетевого оператора в сфере навигационной деятельности.

Однако, судя по открытой информации, цифровая трансформация ракетно-космической промышленности находится на начальном этапе. В декабре 2018 г. был одобрен проект «Стратегии развития информационных технологий ГК «Роскосмос» на период до 2025 года и перспективу до 2030 года» [14]. Однако до сих пор документ не утвержден. Реализация стратегии рассчитана на период до 2030 года и разделена на три этапа:

- 1) подготовительный («Старт» 2019–2021 гг.);
- 2) базовый («Реализация» 2022–2026 гг.) — формирование на базе технологического ядра корпоративного облака сквозных виртуализированных сервисов массового сбора и обработки данных на основе технологий промышленного интернета вещей и больших данных, а также для обеспечения качества данных появляется возможность реализовать сквозные процессы конструирования, производства и управления предприятиями;
- 3) заключительный («Оптимизация» 2027–2030 гг.) — подготовка инфраструктуры «больших данных» для их сбора с помощью технологий интернета вещей, аналитической обработки имеющихся массивов и построения новых сервисов с применением технологии искусственного интеллекта.

В проекте Стратегии сформулировано 11 ключевых направлений развития, по каждому из них в отрасли будут созданы центры компетенции, которые будут заниматься развитием этих направлений, оказывать методическое сопровождение и осуществлять их внедрение: интегрированная система управления (ERP-система); цифровизация производства и жизненного цикла изделий (PLM-система); система математического моделирования; Big Data; сервисная парадигма; анализ на основе искусственного интеллекта; ситуационно-аналитический центр; IT-инфраструктура и др.

То есть цифровые двойники в ракетно-космической промышленности России — это технология долгосрочной перспективы (будущего). Но уже сейчас необходимы меры по их продвижению и внедрению. Так, заместитель генерального директора по науке АО «Российские космические системы», д-р техн. наук, профессор А.А. Романов предлагает:

- активизировать цифровую трансформацию отрасли путем внедрения технологий модельно-ориентированного системного инжиниринга, цифровых двойников и параллельного проектирования;
- разработать и создать межотраслевой программный продукт моделирования сложных технических систем, аналогичного Systems Tool Kit (STK) [представляет собой программный пакет от Analytical Graphics, Inc., который позволяет инженерам и ученым выполнять комплексный анализ наземных, морских,

воздушных и космических платформ и обмениваться результатами в одной интегрированной среде] в рамках Федеральной космической программы России;

– сформировать несколько отраслевых демонстрационных проектов, нацеленных на создание инженерной методики формирования цифровых двойников [15].

Среди достижений ГК Роскосмос в сфере создания цифровых двойников можно отметить сервис ATLAS VR — «цифровой двойник» Земли — уникальная технология создания цифрового двойника реального мира, моделируемого по космическим снимкам. Однако эта разработка входит в число космических технологий для экономики в целом, а не самой ракетно-космической отрасли [16].

Разработка цифровых двойников высокочрезвычайно затратный и долгосрочный процесс. В связи с этим можно было бы предложить объединить усилия всех космических держав (США, России, ЕКА, Японии, Китая и др.) по их совместному созданию в рамках международных проектов, например, при освоении дальнего космоса с помощью космических аппаратов.

Мы считаем целесообразным, объединить усилия экспертного, научного сообщества и широкой общественности по разработке и совершенствованию технологий цифровых двойников для ракетно-космической промышленности. Это можно было бы реализовать на краудсорсинговой платформе, созданной на базе ГК «Роскосмос». Предназначение платформы: систематизация на одном портале всех открытых (не содержащих сведений государственной тайны) научных и популярных материалов о данной технологии и опыте ее применения в ракетно-космической промышленности в разных странах мира. Как показало проведенное нами исследование, в настоящее время в открытом доступе представлено крайне мало разрозненного материала по теме в краткой форме. Между тем расширение практики использования цифровых двойников в ракетно-космической отрасли — вопрос мировой значимости, способный обеспечить прорыв в мирном освоении космоса для блага всего человечества. Кроме того, на данной платформе можно было бы размещать кейсы (задачи), требующие коллективного обсуждения и сбора идей по их решению от заинтересованных людей со всего мира. В профессиональное сообщество на платформе важно привлечь представителей разных научных сфер, задействованных в разработке цифровых двойников (космонавтика, информатика и программирование, технология, математика, физика и др.).

Как показало экспертное исследование «Российская космическая отрасль: ожидания бизнеса и общества», проведенное Центром социального проектирования «Платформа» в 2019 г., «школьники не имеют четко выраженной позиции относительно наличия у России своей космической программы, они о ней не думают и, вероятно, не знают. Это также указывает на то, что в настоящее время нет простой и доступной информации о состоянии космической отрасли в формате, интересном и привлекательном для подростков» [17]. Как следствие — масштабный кадровый кризис в космонавтике.

Предлагаемый ресурс может служить не только централизованным местом для размещения официальных, рабочих, дискуссионных документов, но и образовательной площадкой для школьников и молодежи, инструментом популяризации космических исследований и привлечения молодежи в профессии ракетно-космической промышленности.

## Литература

- [1] Стратегии развития ГК «Роскосмос» на период до 2025 г. и перспективу до 2030 г. *roscosmos.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.roscosmos.ru/media/files/docs/2017/dokladstrategia.pdf> (дата обращения: 15.12.2019).
- [2] Фролов Е.Б., Климов А.С., Мин-Хтун З. MES – основа для создания «цифрового двойника» производственной системы. *Вестник МГТУ Станкин*, 2019, № 2(49), с. 52–56.
- [3] Abdulmotaleb E.S. Digital twins: the convergence of multimedia technologies. *IEEE MultiMedia*, 2018, vol. 25, no. 2, pp. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.023121167>
- [4] Grieves M. Virtually intelligent product systems: digital and physical twins. In: *Complex systems engineering: theory and practice*. AIAA, 2019, pp. 175–200.
- [5] Боровков А.И., Рябов Ю.А. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки. *Цифровая трансформация экономики и промышленности. Сб. тр. науч.-практ. конф. с зарубеж. участием*. СПб., Политех-Пресс, 2019, с. 234–245.
- [6] Васильев А.Н., Тархов Д.А., Малыгина Г.Ф. Методы создания цифровых двойников на основе нейросетевого моделирования. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*, 2018, т. 14, № 3, с. 521–532.
- [7] Петров А.В. Имитация как основа технологии цифровых двойников. *Вестник Иркутского государственного технического университета*, 2018, т. 22, № 10(141), с. 56–66.
- [8] Glaessgen Ed., Stargel D. NASA – the digital twin paradigm for NASA and U.S. air force vehicles. *53<sup>rd</sup> Structures, Structural Dynamics, and Materials Conf.*, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>
- [9] Государство как платформа: люди и технологии. М., РАНХиГС, 2019.
- [10] Hicks B. Industry 4.0 and Digital Twins: key lessons from NASA. *thefuturefactory.com: веб-сайт*. URL: <https://www.thefuturefactory.com/blog/24> (дата обращения: 15.12.2019).
- [11] Гончаров А.С., Саклаков В.М. Цифровой двойник: обзор существующих решений и перспективы развития технологии. *Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. Мат. Всерос. науч.-практ. конф.*, 2018, с. 24–26.
- [12] Абазьева М.П. Цифровые двойники: концепция, возможности, перспективы. *Наука и бизнес: пути развития*, 2019, № 5(95), с. 210–212.
- [13] Fullera A., Fana Z., Daya Ch., et al. Digital twin: enabling technology, challenges and open research. *arxiv.org: веб-сайт*. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.01276v2> (дата обращения: 15.12.2019).
- [14] Одобрен проект стратегии информационных технологий Госкорпорации «Роскосмос». *roscosmos.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.roscosmos.ru/25892/> (дата обращения: 15.12.2019).
- [15] Романов А.А. Тюлин А.Е. Цифровая трансформация космической отрасли. *volgaspace.ru: веб-сайт*. URL: <http://www.volgaspace.ru/RusNanoSat-2019/first%20day/Plenary%201/2-1.pdf> (дата обращения: 15.12.2019).

- [16] Космические сервисы для цифровой экономики. *russianspacesystems.ru: веб-сайт*. URL: <http://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2018/05/BUKLET-KOSMICHESKIE-SERVISY.pdf> (дата обращения: 15.12.2019).
- [17] Российская космическая отрасль: ожидания бизнеса и общества. *pltf.ru: веб-сайт*. URL: [http://pltf.ru/wp-content/uploads/2019/11/otchet\\_26.11.1500.pdf](http://pltf.ru/wp-content/uploads/2019/11/otchet_26.11.1500.pdf) (дата обращения: 15.12.2019).

**Королев Даниил Вячеславович** — ученик 9-го «В» класса, ГБОУ Республики Мордовия «Республиканский лицей для одаренных детей», Саранск, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Кадикин Рушан Ринадович, педагог дополнительного образования ГБОУ Республики Мордовия «Республиканский лицей для одаренных детей», Клуб технического творчества «Левша», Саранск, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Королев Д.В. Цифровые двойники в ракетно-космической промышленности: проблемы и перспективы внедрения. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 04(45). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-04-594>

---

**DIGITAL TWINS IN THE ROCKET AND SPACE INDUSTRY:  
PROBLEMS AND PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION**

D.V. Korolev

daniilkorolev2412@gmail.com

SPIN-code: 6353-1582

**SBEI of the RM "Republican Lyceum for Gifted Children",  
Saransk, Russian Federation**

---

**Abstract**

*The paper presents the results of a study of theoretical, practical and regulatory aspects of the use of digital twins in the rocket and space industry of Russia. The relevance of the study is due to insufficient knowledge of the digital twins concept and of its application practice in the rocket and space industry in the Russian scientific literature. The most comprehensive definitions and types of digital twins, the group of technologies for their creation are considered. The advantages and effects of using digital twins at different stages of the life cycle of rocket and space technology have been identified. The paper describes the problems of introducing digital twins into the industry. The key problem is the complete absence of legislative regulation of the turnover of digital twins in Russia, and proposals for improving the regulatory framework are substantiated. Authors studied strategic documents of the development of the Roskosmos State Corporation for the prospects of the introduction of digital twins. It is proposed to combine the efforts of space-faring nations in the development of digital twins for deep space exploration. The necessity is substantiated of a crowdsourcing platform for uniting the efforts of the expert, professional and scientific community as a centralized location for official, working, discussion documents, an educational platform for schoolchildren and youth, a tool for popularizing space research and attracting young people to the space and rocket industry profession.*

**Keywords**

*Digital twin, rocket and space industry, rocket and space technology, spacecraft, information technology, big data, Internet of things, modeling*

Received 23.03.2020

© Bauman Moscow State Technical  
University, 2020

---

**References**

- [1] Strategii razvitiya GK "Roskosmos" na period do 2025 g. i perspektivu do 2030 g [Development strategy of "Roskosmos" in the period to 2025 and to 2030 in prospects]. *roskosmos.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.roskosmos.ru/media/files/docs/2017/dokladstrategia.pdf> (accessed: 15.12.2019).
- [2] Frolov E.B., Klimov A.S., Min-Khtun Z. MES — the basis for the creation of a "digital twins" for production systems. *Vestnik MGTU Stankin*, 2019, no. 2(49), pp. 52–56 (in Russ.).

- [3] Abdulmotaleb E.S. Digital twins: the convergence of multimedia technologies. *IEEE MultiMedia*, 2018, vol. 25, no. 2, pp. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.023121167>
- [4] Grieves M. Virtually intelligent product systems: digital and physical twins. In: Complex systems engineering: theory and practice. AIAA, 2019, pp. 175–200.
- [5] Borovkov A.I., Ryabov Yu.A. [Digital twins: definition, approaches and methods of development]. *Tsifrovaya transformatsiya ekonomiki i promyshlennosti. Sb. tr. nauch.-prakt. konf. s zarubezh. uchastiem* [Digital Transformation of Economy and Industry. Proc. Sci.-prakt. conf with int. anticipation]. Sankt-Petersburg, Politekh-Press Publ., 2019, pp. 234–245 (in Russ.).
- [6] Vasil'yev A.N., Tarkhov D.A., Malykhina G.F. Methods of creating digital twins based on neural network modeling. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie* [Modern Information Technology and IT-education], 2018, vol. 14, no. 3, pp. 521–532 (in Russ.).
- [7] Petrov A.V. Simulation as the basis of digital twin technology. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2018, vol. 22, no. 10(141), pp. 56–66 (in Russ.).
- [8] Glaessgen Ed., Stargel D. NASA — the digital twin paradigm for NASA and U.S. air force vehicles. *53<sup>rd</sup> Structures, Structural Dynamics, and Materials Conf.*, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>
- [9] Gosudarstvo kak platforma: lyudi i tekhnologii [State as a platform: people and technologies]. Moscow, RANKhiGS Publ., 2019 (in Russ.).
- [10] Hicks B. Industry 4.0 and Digital Twins: key lessons from NASA. *thefuturefactory.com: website*. URL: <https://www.thefuturefactory.com/blog/24> (accessed: 15.12.2019).
- [11] Goncharov A.S., Saklakov V.M. [Digital twins: review on existing solutions and technology development prospects]. *Informatsionno-telekommunikatsionnye sistemy i tekhnologii. Mat. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Information Communication Systems and Technologies. Proc. Russ. Sci.-Pract. Conf.], 2018, pp. 24–26 (in Russ.).
- [12] Abaz'yeva M.P. Digital twins: concept, opportunities, perspectives. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and business: ways of development], 2019, no. 5(95), pp. 210–212 (in Russ.).
- [13] Fullera A., Fana Z., Daya Ch., et al. Digital twin: enabling technology, challenges and open research. *arxiv.org: website*. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.01276v2> (accessed: 15.12.2019).
- [14] Odobren proekt strategii informatsionnykh tekhnologiy Goskorporatsii “Roskosmos” [Roskosmos project on informational technologies strategy has been approved]. *roscosmos.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.roscosmos.ru/25892/> (accessed: 15.12.2019).
- [15] Romanov A.A., Tyulin A.E. Tsifrovaya transformatsiya kosmicheskoy otrasli [Digital information in space sector]. *volgaspace.ru: website* (in Russ.). URL: <http://www.volgaspace.ru/RusNanoSat-2019/first%20day/Plenary%201/2-1.pdf> (accessed: 15.12.2019).
- [16] Kosmicheskie servisy dlya tsifrovoy ekonomiki [Space services of digital economy]. *russianspacesystems.ru: website* (in Russ.). URL: <http://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2018/05/BUKLET-KOSMICHESKIE-SERVISY.pdf> (accessed: 15.12.2019).
- [17] Rossiyskaya kosmicheskaya otrasl': ozhidaniya biznesa i obshchestva [Russian space sector: business and society expectations]. *pltf.r: website* (in Russ.). URL: [http://pltf.ru/wp-content/uploads/2019/11/otchet\\_26.11.1500.pdf](http://pltf.ru/wp-content/uploads/2019/11/otchet_26.11.1500.pdf) (accessed: 15.12.2019).

**Korolev D.V.** — Student of the 9th “V” class, SBEI of the Republic of Mordovia “Republican Lyceum for Gifted Children”, Saransk, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Kadikin R.R., Teacher of Continuing Education, SBEI of the Republic of Mordovia “Republican Lyceum for Gifted Children”, Levsha Technical Creativity Club, Saransk, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Korolev D.V. Digital twins in the rocket and space industry: problems and prospects for implementation. *Politekhniicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 04(45). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-04-594.html> (in Russ.).