

УДК 658.5.012.1

DOI: 10.15593/2224-9982/2023.74.08

А.Г. Ташкинов^{1, 2}¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия² Пермский завод «Машиностроитель», Пермь, Россия

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассмотрены вопросы, связанные с выполнением Государственной программы авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 г. по изготовлению отечественных комплектующих по годам с постепенным переходом самолетов на отечественные двигатели. Раскрыта актуальность обозначенной проблемы, связанная с выявлением факторов, влияющих на срыв сроков по выполнению заказа. Рассмотрены теоретико-методологические положения управления проектами с использованием концепций бережливого, активного производства на предприятии авиадвигателестроения, описана работа по достижению показателей Lean Aerospace Initiative (Бережливой аэрокосмической инициативы), в том числе Pratt & Whitney. С учетом вышеописанных теоретико-методологических положений концепции в работе рассмотрены основные этапы развития прорывной концепции цифрового двойника, выявлены основные преимущества и недостатки. Проведен анализ основных тенденций развития концепции цифрового двойника, обеспечивающих стратегическое управление предприятием. В статье в рамках использования прорывной концепции цифрового двойника представлены примеры зарубежных авиапредприятий Airbus, Bombardier aerospace, Boeing, Rolls Royce, Lockheed Martin Space Systems. Представлены практические примеры на отечественном предприятии реализации основных этапов реализации цифровых технологий АО «ОДК-Авиадвигатель». Пример разработки цифрового двойника на отечественном предприятии ПАО «ОДК-Сатурн». Автором статьи сформулирован вывод о том, что для управления проектами с целью получения синергетического эффекта руководству предприятия необходимо использовать описанные концепции в купе, а не по отдельности, так как, используя их вместе, предприятие при принятии объективных управленческих решений достигает целевых показателей эффективности, снижает временные и денежные затраты на различных этапах жизненного цикла изделий при выпуске авиационной техники с использованием описанных в статье преимуществ современных концепций.

Ключевые слова: бережливое, активное производство, производственно-экономическая система, управление проектами, предприятие авиационного двигателестроения, концепция цифрового двойника, факторы.

A.G. Tashkinov^{1, 2}¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation² Perm Plant "Mashinostroitel", Perm, Russian Federation

PROJECT MANAGEMENT USING CONCEPTS OF THE DIGITAL TWIN IN THE AIR ENGINE BUILDING ENTERPRISE

The author of the article considered issues related to the implementation of the State program of the air transport industry of the Russian Federation until 2030 for the manufacture of domestic components by years with a gradual transition of aircraft to domestic engines. The urgency of the designated problem associated with the identification of factors affecting the failure to meet the deadlines for the implementation of the order is disclosed. Theoretical and methodological provisions of project management using the concepts of lean, active production at an aircraft engine manufacturing enterprise are considered, work is described to achieve the indicators of the Lean Aerospace Initiative, including Pratt & Whitney. Taking into account the above theoretical and methodological provisions of the concepts, the paper considers the main stages in the development of the breakthrough concept of the digital twin, and identifies the main advantages and disadvantages. The analysis of the main trends in the development of the concept of the digital twin, providing strategic management of the enterprise, was carried out. In the article, within the framework of using the breakthrough concept of the digital twin, examples of foreign aviation enterprises such as Airbus, Bombardier aerospace, Boeing, Rolls Royce, Lockheed Martin Space Systems are presented. Practical examples are presented at a domestic enterprise of the implementation of the main stages of the implementation of digital technologies of JSC UEC-Aviadvigatel. An example of the development of a digital twin at the domestic enterprise PJSC "UEC-Saturn". The author of the article formulated the conclusion that in order to manage projects in order to obtain a synergistic effect, the management of the enterprise must use the described concepts together, and not separately, because using them together, the enterprise, when making objective management decisions, achieves target performance indicators, reduces time and money costs at various stages of the product life cycle in the production of aviation equipment using the advantages of modern concepts described in the article.

Keywords: lean, agile production, production and economic system, project management, aircraft engine building enterprise, digital twin concept, factors.

Актуальность обозначенной проблемы

В настоящее время, согласно правительственной программе развития авиатранспортной отрасли до 2030 г., распоряжением Правительства РФ от 25 июня 2022 г. № 1693-р утверждены показатели по выполнению графика производства отечественных комплектующих по годам с постепенным переходом самолетов на отечественные двигатели [1, 2].

Предприятия авиационного двигателестроения принимают непосредственное участие при реализации программы и должны выполнить тот объем работ по госзаказу, который требует от них заказчик, который выступает в качестве представителя заказчика, выступает Правительство РФ.

Ниже в табл. 1, 2 приведены показатели по выполнению правительственной программы развития авиатранспортной отрасли до 2030 г.

Таблица 1

Показатели поставок авиационной техники отечественного производства по годам

Тип воздушного судна	Вместимость, человек	2022 год	2023 год	2024 год	2025 год	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год	Всего, единиц
Самолеты:											
SSJ-NEW	98 - 103	-	2	20	20	20	20	20	20	20	142
МС-21-310	181 - 211	-	-	6	12	22	36	50	72	72	270
Ил-114-300	64 - 68	-	-	2	8	12	12	12	12	12	70
Ту-214	150 - 215	-	3	7	10	10	10	10	10	10	70
Ил-96-300	237 - 300	-	-	-	2	2	2	2	2	2	12
ТВРС-44 "Ладога"	44	-	-	-	15	25	25	25	25	25	140
Л-410	15 - 19	18*	20	20	20	20	20	20	20	20	178*
"Байкал" (ЛМС-901)	9	-	-	14	15	25	25	25	25	25	154
Итого:		18*	25	69	102	136	150	164	186	186	1036*

Таблица 2

Производство отечественных комплектующих (силовых установок) по годам

Тип силовой установки	2022 год	2023 год	2024 год	2025 год	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год	Всего
Силовые установки:										
ПД-8	-	6	44	44	44	44	44	44	44	314
ПД-14	-	-	14	26	52	80	108	152	152	584
ПС-90	-	6	14	20	20	20	20	20	20	140
ТВ7-117СТ-01	-	6	8	16	26	26	26	26	26	160
ТВ7-117В	20	20	20	20	25	25	25	25	25	205
ВК-650В	0	86	120	120	100	100	100	100	100	826
ВК-1600В	0	12	21	24	37	28	32	36	41	231
ВК-2500/ ТВ3-117	276	340	382	256	250	250	250	250	250	2504
Итого:	296	476	623	526	554	573	605	653	658	4964

Учитывая вышеперечисленные задачи, исследование, направленное на управление проектами с использованием концепции цифрового двойника в авиадвигателестроительном предприятии, оказывающее влияние на эффективность развития производственно-экономической системы предприятия, является своевременным и актуальным.

Отметим, что руководство в ходе управления предприятием в первую очередь преследует цель – получение прибыли за счет выполнения договорных обязательств по выполнению заказа и удовлетворения требований заказчика. Для своевременного выполнения госзаказа руководство предприятия должно учитывать внешние и внутренние факторы, которые влияют на эффективность

производственных процессов вокруг технологического оборудования, бизнес-процессов, производственной, межцеховой логистики, в процессах, в которых непосредственно заняты работники.

Предприятия авиадвигателестроения находятся среди наиболее сложных объектов в машиностроении. При этом, если следовать традиционной классификации, здесь присутствуют типы производства от единичного до поточного. В отрасли современного двигателестроения для создания газотурбинных двигателей нового поколения требуется всесторонняя технологическая подготовка производства, с которой связаны циклы освоения и выпуска продукции, а также в конечном итоге эксплуатационная надежность изделия и его себестоимость. Надежность и ресурс газотурбинного двигателя летательного аппарата в значительной степени зависят от качества изготовления деталей. Одна из особенностей авиадвигателестроения заключается в том, что большая часть деталей изготавливается из труднообрабатываемых материалов, что напрямую ведет к повышению трудоемкости и себестоимости изделия [3–6].

Исходя из этого, рассмотрим факторы, влияющие на срыв сроков по выполнению заказа.

1. Отсутствие прозрачности. Производство – это «черный ящик» (множество производственных процессов, бизнес-процессов скрыты от глаз руководства). Зачастую на практике информация поступает в производство невовремя, неполной, искаженной. Учитывая данный фактор, у руководства остается все меньше инструментов, чтобы своевременно принимать объективные управленческие решения, направленные на эффективное управление производственной системой, ускорение производства, аварийных остановов, нехватки технического оснащения, выполнения сменно-суточных заданий и решения других текущих вопросов. Соответственно неполная информация приводит к следующему фактору – нехватке объективных данных.

2. Отсутствие объективных данных. Известно, что отсутствие объективных и достоверных данных, а также несоответствие производственного плана мощностям предприятия ведет к длительному затягиванию принятия эффективных управленческих решений на всех уровнях предприятия. В целом полное отсутствие объективных данных приводит к срывам поставок (материалов, комплектующих и т.д.), внеплановым простоям оборудования (аварий и т.д.). Отметим, что уровень цифровизации производственных процессов, огромное количество информации, которая должна поступать от цехов в отдельных случаях, ложится на человеческий фактор. Это говорит о том, что люди недостаточно мотивированы, осведомлены, и, как следствие, из-за этого нарушается обратная связь, что ведет к третьему фактору – снижению эффективности.

3. Снижение эффективности. Аварийная ситуация, которая у нас останавливает работу оборудования, не позволяет выпускать продукцию, хотя технически для этого все есть и готово. Отметим, что необходимая информация в том или ином объеме есть, но долго доходит до руководителя производственного участка, начальника цеха, заместителя директора по производству. Предприятие имеет большие потери, оборудование простаивает, не выпускает продукцию, несвоевременно отгружает заказчику продукцию. В результате принятия неверных управленческих решений у предприятия снижается прибыль, что приводит к снижению эффективности производства, дополнительным расходам и срывам сроков производственных заказов.

Для решения озвученной проблемы необходимы эффективные инструменты, направленные на эффективное управление предприятием авиационного двигателестроения.

Теоретико-методологические положения управления проектами с использованием концепций на предприятии авиадвигателестроения

В последнее время многими зарубежными, отечественными учеными ведется серьезная работа по эффективному управлению проектами с использованием концепций бережливого, активного производства, в том числе концепции цифрового двойника.

Учитывая вышеизложенное, рассмотрим теоретико-методологические положения, основные достоинства и недостатки вышеперечисленных концепций, реализуемых предприятиями авиационного двигателестроения.

Одной из первых концепций, используемых в данном исследовании при решении вышеописанных задач, является известная концепция бережливого производства (Lean production) [7, 8].

В 1993 г. в Массачусетском технологическом институте (МИТ) в Кембридже (штат Массачусетс) для решения этого вопроса была создана Lean Aerospace Initiative – LAI (Бережливая аэрокосмическая инициатива). LAI объединила консорциум аэрокосмических и оборонных компаний (включая Pratt & Whitney) и МИТ в партнерстве с ВВС США, ВМС США и Министерством обороны.

Были разработаны мероприятия развития производственной системы предприятия, показатели. Данные мероприятия были применены и транслированы в дальнейшем в корпорациях Boeing; Lockheed Martin – LM21; Pratt & Whitney и др. [9].

Всю деятельность предприятия можно классифицировать так [8]:

1. Действия, непосредственно создающие потребительскую ценность, в результате которых создается продукция / услуга, которую потребитель готов приобрести.

2. Действия, которые непосредственно не добавляют потребительской ценности, но без которых не обойтись: разогрев, наладка и переналадка оборудования, техническое обслуживание, обучение и переобучение персонала, оптимизация процессов, контроль и обеспечение качества и т.п.

3. «Чистые» потери, т.е. действия, которые являются абсолютно лишними как с точки зрения потребителя, так и с точки зрения поставщика (изготовителя). Внедрение Lean требует от работников и руководителей предприятий уметь выявлять потери, понимать, какие действия или состояния реально являются потерями, и непрерывно работать над их устранением.

Внедрение Lean позволяет качественно повысить уровень производства, сократив циклы изготовления и потери. Современное высокопроизводительное программное оборудование позволяет сделать производство более гибким и чутко реагирующим на потребности заказчика и вызовы рынка.

Учитывая вышеописанные преимущества рассмотренной концепции Lean, которая активно развивается на предприятиях авиадвигателестроения и зарекомендовала себя как успешная в применении управления проектами. Все же данная концепция имеет существенный недостаток, который заключается в том, что реализация проектов бережливого производства, как правило, происходит локально, точно. В основном все мероприятия реализуются на цеховом уровне, и не всегда реализация этих мероприятий позволяет достигать целевых показателей эффективности, получать ожидаемый эффект, так как имеется ряд сдерживающих факторов, рассмотренных нами выше. Все это сказывается на стратегическом управлении предприятием.

Для решения данной проблемы необходима гибкая методология, направленная на стратегическое управление предприятием за счет развития основных направлений, позволяющая за счет управления проектами достигать целевые показатели эффективности, сокращать цикл изготовления изделия, выполнять заказы качественно, в сроки выпускать конкурентную продукцию. В этом случае научное и практическое сообщество для решения данной проблемы предлагает использовать при управлении проектами гибкую методологию – активное производство.

Так, M. Poppendieck и T. Poppendieck предлагают использовать принципы бережливого производства с интеграцией принципов активного производства при разработке программного обеспечения. По их мнению, бережливая разработка программного обеспечения – это набор принципов и инструментов, основанных на бережливом производстве, который фокусируется на устранении потерь, отсрочке принятия решений как можно позже и обеспечении качества продукта как можно раньше [10].

В последнее время есть все больше доказательств эмпирического исследования успешного применения активного производства – Agile-подхода. В одном из таких исследований N.D. Fogelstrom, T. Gorschek, M. Svahnberg и P. Olsson рассматривают критические факторы успеха для Agile-подхода, которые включают соответствующее использование Agile-методов, высококвалифицированную проектную группу и правильную стратегию. В то время как соответствующий процесс управления, организационная структура и потребители – факторы, которые способствуют успеху проекта [11].

Так, авторы T. Byrd и D.E. Turner, занимающие руководящие должности департамента авиации и управления цепочками поставок, говорят о том, что организации, занимающиеся разработкой информационных технологий, в том числе с использованием концепции цифрового двойника, должны приспосабливаться к частым изменениям в своей среде, например в потребностях клиентов, правилах и технологиях, чтобы сохранить свое конкурентное преимущество [12].

С учетом проведенного анализа работы отметим, что эта методология пока мало изучена и не представлена так детально в работах управления проектами в авиадвигателестроительном предприятии.

Почему же компании прибегают к Agile при разработке продуктов? рассмотрим основные преимущества. Во-первых, процесс разработки становится прозрачным для всех участников команды и стейкхолдеров (англ. stakeholder). Все понимают, что происходит на данный момент с продуктом, какие результаты уже достигнуты, а что еще находится в работе. Во-вторых, Agile предполагает быстрое создание ценности. Гибкие методологии позволяют быстрее разработать продукт при управлении проектами, имеющими ценность для реальных пользователей, так как Agile предполагает создание ценности реального продукта в течение короткого цикла, что также снижает риски разработки продукта, ненужного пользователю. В-третьих, высокая адаптивность к изменениям и проблемам в процессе разработки, так как он позволяет реагировать и быстро адаптироваться к изменениям внешней и внутренней среды благодаря отсутствию четкого регламентированного технического задания на разработку и коротким циклом поставки и разработки.

Также необходимо сказать о недостатках, связанных с применением Agile-подхода. Так, по мнению вышеуказанных авторов, Agile не может быть применим при разработке и создании всех продуктов, качества и характеристики которых четко определены. Здесь речь идет о государственных тендерных закупках, когда продукт должен соответствовать четко прописанным техническим условиям или в зарегламентированных его областях.

Учитывая рассмотренные концепции бережливого, активного производства, можно говорить о том, что данные концепции при управлении проектами имеют как преимущества, так и недостатки. В целом они позволяют достигать целевых показателей эффективности, но внешняя быстро меняющаяся среда оказывает сильное влияние и требует от руководства принятия объективных управленческих решений, снижения временных и денежных затрат на различных этапах жизненного цикла изделий с использованием цифровых технологий. В этом случае для решения данного вопроса особую значимость приобретает при управлении проектами прорывная концепция цифрового двойника.

Стоит отметить, что в последнее время понятия «цифровизация», «цифровые платформы», «цифровое производство», «цифровая экономика», «цифровые двойники» активно внедряются в различные сферы деятельности предприятия, в особенности данные понятия, и связанные с их развитием направления, актуальны для высокотехнологичных, наукоемких производств, каким является авиадвигателестроение.

Документы российской системы стандартизации, прямо или косвенно регламентирующие применение цифровых двойников, трактуют этот термин по-разному. В частности, это относится к первому в мире национальному стандарту на цифровые двойники изделий ГОСТ Р 57700.37-2021, действующему с 1 января 2022 г., и более раннему ГОСТ Р 57700.21-2020 «Компьютерное моделирование в процессах разработки, производства и обеспечения эксплуатации изделий. Термины и определения» [13].

В документах, где речь идет о цифровых двойниках дугевого типа – не изделий, а производства, зданий, и сооружений, и т.д., определения разнятся еще сильнее. Но у всех трактовок цифрового двойника есть определяющий признак: они подчеркивают, что цифровой двойник – не статическая, а динамическая копия объекта.

С одной стороны, он должен получать показания с датчиков (физических, размещенных на объекте, или виртуальных, передающих данные с цифрового полигона) – это необходимая для использования цифрового двойника информация «как есть».

С другой стороны, чтобы приносить практическую пользу, цифровому двойнику нужны и целевые показатели эффективности, «как должно быть», используемые при реализации проектов бережливого, активного производства [14].

Исходя из представленных рассуждений, можно говорить, что понятие «цифровой двойник» понимается по-разному, поэтому в основу данной методологии предлагается использовать общий принятый глоссарий, который фиксирует определения основных терминов, входящих в данную методологию, таких как «цифровая модель», «цифровой двойник объекта», «цифровой двойник производства», «большие данные (Big Data)», «умный цифровой двойник» и др.

С учетом вышеописанных теоретико-методологических положений концепций рассмотрим основные этапы развития прорывной концепции цифрового двойника, основные преимущества и недостатки.

Развитие концепции цифрового двойника на предприятии авиадвигателестроения

В самом общем понимании цифровой двойник – это виртуальная копия (модель) изделия или процесса, нацеленная на снижение временных и денежных затрат на различных этапах жизненного цикла. Цель достигается в основном за счет высокоточного компьютерного моделирования и применения современных цифровых технологий. В 2020 г. происходит активное развитие данной технологии силами различных компаний из различных областей промышленности. Работы ведутся разработчиками программного обеспечения (Siemens PLM Software, Dassault Systèmes, ANSYS, PTC и др.), промышленными компаниями (Siemens, General Electric, Boeing, Airbus), а также предприятиями, специализирующимися на IT-технологиях. По этой причине общая для всех терминология цифровых двойников даже в 2020 г. не была принята.

Концепция цифрового двойника была сформирована уже в начале 2000-х гг., но не вызвала у предприятий промышленности большого ажиотажа, так как точность расчетов и вычислительные ресурсы не позволяли повсеместно внедрять такую комплексную и сложную технологию, как цифровой двойник. Уже примерно через 10 лет в промышленности появляется осознание того, что невыгодно идти по консервативному пути разработки и производства изделия. В таком случае издержки на этапе производства и экспериментальных испытаний опытного образца значительно превышают затраты на других этапах. К тому же это грозит срывом сроков производства и их последствиями. По этой причине акцент при разработке смещается на более подробное исследование характеристик изделия на этапах разработки до натуральных испытаний, что позволяет главным образом снизить временные и денежные затраты на разработку изделия и повысить вероятность выхода изделия на рынок.

На первом этапе развития концепция цифрового двойника была предложена профессором Майклом Гривсом из Технологического института Флориды в 2003 г. в соответствии с его «белой книгой» [15]. Со временем его идеи развивались, но базовая концепция была направлена на развитие центра управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management – PLM).

Такая концепция включает в себя все элементы цифрового двойника – виртуальное пространство, которое получает экспериментальные данные из реального пространства и передает имеющуюся информацию обратно, а также виртуальные подпространства (virtual sub-spaces).

Данные виртуальные подпространства обозначают возможность реализовывать большое количество тестов на разрушения изделия без значительных затрат.

В 2005 г. М. Grieves выдвинул идею о том, что цифровой двойник (ЦД) можно разделить на три подтипа [16].

Digital Twin Instance (DTI) – двойник реального физического объекта. Виртуальная модель физического объекта включает в себя всю информацию, которая была отправлена этим

объектом: какое сервисное обслуживание и когда было выполнено, какие проблемы были с объектом, какие узлы выходили из строя, какие компоненты были заменены и т.д.

Digital Twin Prototype (DTP) – двойники-прототипы. Виртуальная модель будущей физической сущности. Может содержать в себе информацию по производству модели, перечень необходимых материалов и другую информацию для создания реальной физической копии.

Digital Twin Aggregate (DTA) – совокупность DTP, которая может быть представлена в виде вычислительного центра производителя объектов. Данный центр имеет доступ ко всем DTP, получая и обрабатывая от них информацию в режиме реального времени либо оффлайн.

Также определяется понятие окружающей среды цифрового двойника (*Digital Twin Environment*).

В 2010 г. NASA подробно проиллюстрировало определение и функцию ЦД для космических аппаратов [15]. В следующем году BBC США исследовали применение ЦД в управлении состоянием самолетов. В 2012 г. NASA и BBC США совместно опубликовали работу о ЦД, в которой говорилось, что цифровой двойник является ключевой технологией для будущих транспортных средств, после чего количество исследований этого направления в аэрокосмической отрасли неуклонно росло. В 2014 г. была опубликована одна из первых книг по ЦД, и трехмерная (или трехкомпонентная) структура ЦД получила широкую огласку.

В 2017 г. компания Lockheed Martin Space Systems включила цифровой двойник в число шести выдающихся технологий для военной и авиакосмической промышленности будущего. Исходя из текущей тенденции можно ожидать, что концепция цифрового двойника будет быстро развиваться в течение следующих нескольких лет [17].

С учетом вышеописанных теоретико-методологических положений развития прорывной концепции цифрового двойника перечислим основные преимущества и недостатки.

К достоинствам цифровых двойников можно отнести:

- создание качественных физических объектов, так как вся история объекта находится в едином цифровом хранилище;
- возможность постоянно развивать и совершенствовать физический объект, так как цифровой двойник сопровождает весь PLM-цикл изделия;
- возможность избежать дорогостоящих ремонтов, так как происходит постоянная профилактика физического объекта – данные о состоянии регулярно передаются в цифровую копию;
- снижение затрат на изготовление физического объекта, так как, используя виртуальную модель, можно выполнить различные тесты без создания физического образца.

Наряду с очевидными плюсами у цифровых двойников есть и минусы:

- требуется постоянная связь с объектом через Интернет для передачи данных (в ситуации, если необходимо передавать данные в реальном времени);
- необходимо дорогостоящее оборудование для создания и работы с виртуальным двойником;
- требуется обучение персонала или приглашение специалистов, так как необходимы специальные знания для построения цифрового двойника;
- необходим высокий уровень защиты данных.

Практические примеры управления проектами с использованием концепции цифрового двойника на предприятии авиадвигателестроения

Одной из первых среди авиационных компаний технологию ЦД внедрила Boeing. Еще в 2018 г. ее генеральный директор отметил, что «в авиации наступает эра цифровых двойников. Технология ЦД станет крупнейшим драйвером повышения эффективности производства для крупнейшего в мире производителя самолетов в течение следующего десятилетия» [18].

Согласно публикации специалистов центра глобальных исследований General Electric (г. Нискаюна, штат Нью-Йорк) за 2017 г. компания использует ЦД каждого производимого

реактивного двигателя, что позволяет следить за его характеристиками на земле, пока реальный двигатель находится в воздухе. Т.е. у каждого реактивного двигателя компании есть свой ЦД, который позволяет команде в исследовательском центре следить за его состоянием на протяжении всего времени производства и эксплуатации [19].

Далее рассмотрим практический пример реализации компании Bombardier aerospace – создание цифровой модели завода на основе виртуального прототипирования [20].

Компания Bombardier aerospace поставила задачу построить новый завод с использованием цифрового двойника-прототипа. Компания перед постройкой нового завода создала цифровую модель. На основе разработки цифровой 3D-модели завода были разработаны задачи с фокусом на задачи оптимизации загрузки по участкам, определение эффективной работы производства, обеспечение персонала. В результате выполненных задач была построена цифровая 3D-модель завода, опробованы (обкатаны) все производственные процессы, найдены «узкие» места, были смоделированы источники ошибок при проектировании, места для оптимизации. Это все позволило на 50 % сократить затраты на проектирование и запуск работы нового завода.

Следующий пример компания Rolls Royce – продают не авиационные турбины, а часы работы турбин в воздухе [21]. Все турбины самолетов, кораблей оснащены датчиками. Они понимают, как они работают, ежедневно обрабатывается около 8 млн точек данных (We process 8 million data points per day). Используя свою платформу Intelligent Engine, компания отслеживает, как летает каждый двигатель, в каких условиях он летает и как пилот его использует. Это позволяет выстроить компании совсем другую модель, не продажу турбин, а клиент платит за работы турбин в воздухе. В этом случае используется принципиальная модель с точки зрения и компании-производителя, и компании-потребителя. Сегодня Rolls-Royce Holdings является вторым по величине производителем авиационных двигателей в мире, а также занимается морскими силовыми установками и энергетикой. Его двигатели используются в истребителях, бизнес-джетах и более чем в 50 % дальнемагистральных самолетов. Теперь компания внедряет технологию цифровых двойников, аналитику и машинное обучение, чтобы значительно сократить количество углерода, производимого ее авиационными двигателями, а также оптимизировать техническое обслуживание, чтобы помочь своим клиентам дольше держать свои самолеты в воздухе.

Далее рассмотрим основные этапы реализации цифровых технологий на отечественном предприятии АО «ОДК-Авиадвигатель».

Основные этапы реализации цифровых технологий схематично представлены на (рис. 1).



Рис. 1. Внедрение цифровых технологий в процесс проектирования ПАО «ОДК-Авиадвигатель»

1994 г. – UG (Siemens NX) базовая система разработки электронного проекта изделия.

1994 г. – ANSYS решение научно-инженерных задач динамики и прочности при проектировании.

1995 г. – Внедрение сквозного процесса проектирования на основе мастер-модели.

1996 г. – TaskFlow (ANSYS CFX) – широкий спектр газодинамических расчетов.

2006 г. – Siemens TeamCenter – система управления данными о жизненном цикле изделия.

2009 г. – начало работ в рамках полного электронного определения изделия.

На данный момент на предприятии реализуется более десяти проектов в работе по авиационной и наземной тематике.

Представим пример управления проектами реализации концепции цифрового двойника на предприятии ПАО «ОДК-Сатурн».

В 2018 г. для решения данных вопросов была организована рабочая группа ОДК по проекту М47 «Развитие системы разработки. Развитие технологий проектирования», в которую вошли специалисты ИТ-подразделений и специалисты в области цифровых технологий проектирования.

Основной целью рабочей группы является подготовка фундамента к применению цифрового двойника в качестве основного инструмента, подтверждающего достижение целевых параметров изделия на этапе разработки через систему управления требованиями. В отличие от традиционного подхода, где основным руководящим документом для разработки является техническое задание, в новой системе работ появляется такой документ, как матрица целевых показателей и ограничений. По сути, этот документ является электронным техническим заданием на двигатель и имеет несколько уровней – от требований, предъявляемых к двигателю в целом до требований к основным узлам, системам и отдельным деталям. Общее число требований, предъявляемых к газотурбинному двигателю, может достигать нескольких тысяч. При этом выполнение требований по отдельным узлам и компонентам не гарантирует выполнения требований верхнего уровня, предъявляемых к силовой установке в целом. В данных условиях важную роль играет системная интеграция и системный инжиниринг, который позволяет главному конструктору на самой ранней стадии вносить изменения и избежать множества ошибок, которые могут возникнуть на более поздних этапах.

С учетом вышеописанных этапов рабочей группой ПАО «ОДК-Сатурн» была разработана структура цифрового двойника (рис. 2) [22].

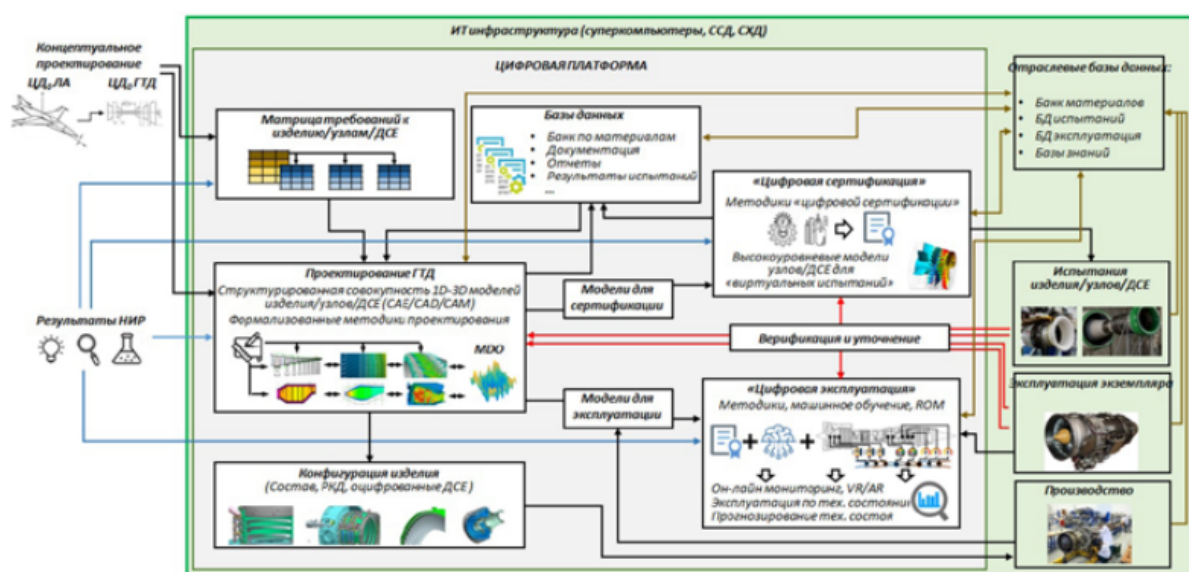


Рис. 2. Структура цифрового двойника на примере ПАО «ОДК-Сатурн»

Некоторые предприятия ОДК уже приступили к реализации вышеуказанных подходов. В 2019 г. пилотные проекты были реализованы в «ОДК-Климов» (по двигателю ТВ7-117СТ), в ПК «Салют» (по двигателю АИ222-25). ПАО «ОДК-Сатурн» реализует применение цифровых двойников в рамках проекта по разработке перспективного авиационного двигателя ПД-8.

Основные цели структуры цифрового двойника направлены на эксплуатацию авиационной техники и систем:

- снижение операционных расходов, затрат на гарантийную поддержку, техническое обслуживание и ремонт;
- повышение эффективности эксплуатации авиадвигателей;
- введение современных подходов к бизнес-процессам (предиктивное техническое обслуживание и ремонт и др.).

При дальнейшем развитии идеи цифрового двойника реального технического изделия может рассматриваться и его применение на этапах проектирования и производства.

Заключение

Таким образом, для эффективного управления предприятием авиадвигателестроения руководству необходимо использовать современные концепции бережливого, активного производства, рассмотренную прорывную концепцию цифрового двойника.

В то же время реализация проектов бережливого производства на предприятии авиадвигателестроения с использованием цифровых технологий, в том числе цифровых двойников, позволяет существенно сократить затраты на внедрение и изготовление различных видов продукции, оптимизировать их конструкцию, с учетом требований заказчика настраивать параметры производственно-экономической системы.

Использование концепции цифрового двойника способствует устранению «узких» мест, многократно увеличивает возможность проведения оперативного анализа производственных и вспомогательных процессов с повышением уровня их гибкости за счет сокращения периода освоения новых самолетов, в том числе авиадвигателей.

В процессе эксплуатации цифровой двойник должен предсказывать изменения в параметрах работы объекта, ухудшение технического состояния объекта, развитие дефектов и возникновение незапланированных аварий, а также вырабатывать рекомендации по оптимизации режимов работы оборудования. Всё это в совокупности позволяет снизить затраты на проектирование и обслуживание объекта, повысить эффективность и надежность его эксплуатации.

Вместе с тем авиапромышленность открыта для новых предприятий, но эти инвестиции должны осуществляться с особой осторожностью, так как стоимость разработки новой продукции в этой отрасли чрезвычайно высока. Это говорит о том, что ошибки, сделанные на этапах проектирования, изготовления самолетов, авиадвигателей персоналом на всех этапах сборки должны исключаться.

Библиографический список

1. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 гг.»: постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 303. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
2. Государственная программа авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 г. от 25 июня 2022 г. № 1693-р [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
3. Артюхов А.В., Христолюбов В.Л. Современные информационные технологии в авиадвигателестроении // Двигатель: науч.-техн. журнал. – 2007. – № 2 (50). – С. 6–7.
4. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. – Пермь: Изд-во ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1204 с.

5. Ташкинов А.Г. Разработка метода оценки конкурентоспособности производственно-экономической системы машиностроительного предприятия // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2018. – № 4. – С. 260–274.
6. Артохов А.В., Речкалов А.В., Христолюбов В.Л. Стратегия реализации типовых проектных ИТ-решений для управления производством в авиадвигателестроительной корпорации // Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 26. – С. 183–197.
7. Тихонов А.И., Кононов А.М. Анализ опыта внедрения бережливого производства на предприятиях авиационного двигателестроения // Экономика и управление в машиностроении. – 2016. – № 2. – С. 24–29.
8. Ташкинов А.Г. Экономика бережливого производства на предприятиях машиностроения: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023. – 203 с.
9. Slack R.A. LAI RP99-01-16, Jul 1999. [Электронный ресурс]. – URL: <https://studylib.net/doc/13478836/lean-engineering-basics> (дата обращения: 03.07.2023).
10. Poppendieck M., Poppendieck T. Lean Software Development: An Agile Toolkit. Addison-Wesley, Boston, 2003. – 184 p.
11. The impact of agile principles on market-driven software product Information System / N.D. Fogelstrom, T. Gorschek, M. Svahnberg, P. Olsson // Journal of software maintenance and evolution: Research and practice. – 2010. – № 49 (2). – P. 10–17.
12. Byrd, Terry Anthony and Douglas E. Turner. Measuring the Flexibility of Information Technology Infrastructure: Exploratory Analysis of a Construct // Journal of Management Information Systems. – 2000. – Vol. 17, no. 1. – P. 167–208.
13. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – М.: Рос. ин-т стандартизации, 2021. – 10 с.
14. Ташкинов А.Г. Использование концепции бережливого и активного производства в контексте управления виртуальной реальности в авиадвигателестроительном предприятии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 71. – С. 201–209. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.71.22
15. Блинов В.Л., Богданец С.В. Цифровые двойники турбомашин: учебное пособие / М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 162 с.
16. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. – LLC, 2014.
17. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад (сентябрь 2019 г.) / А.И. Боровков [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 62 с.
18. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. – М.: Альянс-Принт, 2020. – 401 с.
19. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems // Transdisciplinary perspectives on complex systems. –Springer, 2017. – P. 85–113.
20. Bombardier's Advances in Digital Innovation [Электронный ресурс]. – URL: <https://fastchats.informaengage.com/fast-chats/aw-bombardiers-advances-in-digital-innovation/> (дата обращения: 17.07.2023).
21. Rolls-Royce turns to digital twins to improve jet engine efficiency [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cio.com/article/188765/rolls-royce-turns-to-digital-twins-to-improve-jet-engine-efficiency.html> (дата обращения: 17.07.2023).
22. Цифровые двойники – платформа для управления жизненным циклом авиационных двигателей / А.В. Сальников, М.В. Гордин, Ю.Н. Шмотин, А.С. Никулин, П.В. Макаров, М.С. Французов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 4. – С. 60–72. DOI: 10.18698/0536-1044-2022-4-60-72

References

1. Decree of the Government of the Russian Federation of April 15, 2014 N 303 “On approval of the state program of the Russian Federation “Development of the aviation industry for 2013-2025”
2. State program of the air transport industry of the Russian Federation until 2030 dated June 25, 2022. № 1693-г

3. Artiukhov A.V., Khristoliubov V.L. Sovremennye informatsionnye tekhnologii v aviadvigatelestroenii [Modern information technologies in aero-engine manufacturing]. Dvigatel': nauchnotekhnicheskii zhurnal, 2007, no. 2 (50), pp. 6-7.
4. Inozemtsev A.A. Gas turbine engines / A.A. Inozemtsev, V.L. Sandratsky – Perm: Publishing House of JSC Aviadvigatel, 2006. - 1204 p.
5. Tashkinov A.G. Razrabotka metoda otsenki konkurentosposobnosti proizvodstvenno-ekonomicheskoy sistemy mashinostroitel'nogo predpriyatiya // [Developing method of competitiveness estimation for production-economic system of a machine-building enterprise] // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhn. universiteta. Sotsial'no-ekonomicheskiye nauki. 2018. no 4. pp. 260-274.
6. Artyukhov A.V., Rechkalov A.V., Khristolyubov V.L. Strategiya realizatsii tipovykh proyektnykh IT-resheniy dlya upravleniya proizvodstvom v aviadvigatelestroitel'noy korporatsii [The strategy for implementing standard it-solutions for production management in the aircraft engine corporation] // Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnyye tekhnologii, sistemy upravleniya – 2018. – no 26. – pp. 183–197.
7. Tikhonov A.I., Kononov A.M. Analiz opyta vnedreniya berezhlivogo proizvodstva na predpriyatiyakh aviatsionnogo dvigatelestroyeniya [Analysis of the experience of implementing lean manufacturing at aircraft engine building enterprises] // Ekonomika i upravleniye v mashinostroyenii 2016. – No. 2. – pp. 24–29
8. Tashkinov A.G. Economics of lean production at engineering enterprises: textbook.-method. allowance /A.G. Tashkinov. - Perm: Publishing House of Perm. nat. research polytechnic un-ta, 2023. - 203 p.
9. Slack, R.A., LAI RP99-01-16, Jul 1999.– <https://studylib.net/doc/13478836/lean-engineering-basics> (accessed: 03.07.2023.)
10. Poppendieck, M., Poppendieck, T. (2003) Lean Software Development: An Agile Toolkit. Addison-Wesley, Boston. – 184 p.
11. Fogelstrom, N.D., Gorschek, T., Svahnberg, M. & Olsson, P. (2010). The impact of agile principles on market-driven software product Information System. Journal of software maintenance and evolution: Research and practice, 49 (2), P. 10-17.
12. Byrd, Terry Anthony, and Douglas E. Turner. “Measuring the Flexibility of Information Technology Infrastructure: Exploratory Analysis of a Construct.” Journal of Management Information Systems, vol. 17, no. 1, 2000, pp. 167–208.
13. GOST R 57700.37–2021. Computer models and modeling. Digital twins of products. General provisions. Moscow, Russian Institute for Standardization, 2021. 10 p.
14. Tashkinov A.G. Using the concept of lean and active production in the context of virtual reality management in an aircraft engine building enterprise. PNRPU Aerospace Engineering Bulletin, 2022, no. 71, pp. 201–209. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.71.22
15. Blinov, V.L. Digital twins of turbomachines: textbook / V.L. Blinov, S.V. Bogdanets; Ministry of Science and Higher. education of the Russian Federation. - Yekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta, 2022. - 162 p.
16. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. LLC, 2014.
17. Digital twins in the high-tech industry: a brief report (September 2019) / A.I. Borovkov [and others]. - St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2019-62 p.
18. Prokhorov A., Lysachev M. Digital twin. Analysis, trends, world experience. Moscow, AlliancePrint, 2020. 401 p.
19. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: Transdisciplinary perspectives on complex systems. Springer, 2017, pp. 85–113.
20. Bombardier's Advances in Digital Innovation <https://fastchats.informaengage.com/fast-chats/aw-bombardiers-advances-in-digital-innovation/> (accessed: 20.07.2023)
21. Rolls-Royce turns to digital twins to improve jet engine efficiency. <https://www.cio.com/article/188765/rolls-royce-turns-to-digital-twins-to-improve-jet-engine-efficiency.html> (accessed: 20.07.2023).
22. Salmikov A.V., Gordin M.V., Shmotin Yu.N., Nikulin A.S., Makarov P.V., Frantsuzov M.S. Digital Twins – a Platform for Aircraft Engine Lifecycle Management. BMSTU Journal of Mechanical Engineering, 2022, no. 4, pp. 60–72, doi: 10.18698/0536-1044-2022-4-60-72

Об авторе

Ташкинов Алексей Григорьевич (Пермь, Россия) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление промышленным производством», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь, 614990, Комсомольский пр., 29); начальник Координационно-методического центра внедрения цифровой экономики, Пермский завод «Машиностроитель» (Пермь, 614014, ул. Новозвягинская, 57, e-mail: alekss.perm@gmail.com).

About the author

Aleksey G. Tashkinov (Perm, Russian Federation) – Associate Professor, Department of Economics and Management of Industrial Production, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm); Head of the Coordinating Methodological Center for the Implementation of the Digital Economy, Perm Plant "Mashinostroitel" (57, Novozvyaginskaya str., 614014, Perm, e-mail: alekss.perm@gmail.com).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Вклад 100 %.

Поступила: 31.08.2023

Одобрена: 01.09.2023

Принята к публикации: 12.10.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Ташкинов, А.Г. Управление проектами с использованием концепции цифрового двойника в авиадвигателестроительном предприятии / А.Г. Ташкинов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2023. – № 74. – С. 83–95. DOI: 10.15593/2224-9982/2023.74.08

Please cite this article in English as: Tashkinov A.G. Project management using concepts of the digital twin in the air engine building enterprise. *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*, 2023, no. 74, pp. 83-95. DOI: 10.15593/2224-9982/2023.74.08