



УДК 62.9(045)

Компьютерный инжиниринг — основа подготовки инженерного спецназа России



Computer-Aided Engineering as a Basis for Educating and Training the “Elite Special Forces in Engineering”

АВТОРЫ

AUTHORS

А. И. Боровков, к.т.н., доцент,
В. А. Левенцов, к.э.н., доцент,
Ю. А. Рябов, к.полит.н., **С. В. Салкузан**

**A. I. Borovkov, V. A. Leventsov,
Yu. A. Ryabov, S. V. Salkutsan**

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

FSAEI HE “Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University”, St. Petersburg, Russia

РЕЗЮМЕ

SUMMARY

Статья посвящена деятельности Института передовых производственных технологий, которая базируется на модели «Университет 4.0» — это модель образовательного учреждения нового типа. Университет или его структурное подразделение, работающие по такой модели, берется за решение важных задач, которые промышленность на нынешнем этапе считает «нерешаемыми». Предложенная авторами модель на базе компьютерного инжиниринга предполагает инновационную последовательность шагов, отличающуюся от традиционного подхода обратной последовательностью: от исследовательской и инновационно-предпринимательской деятельности к образовательной. Описанная модель играет сегодня определяющую роль в развитии экосистемы инноваций Университета. На текущем этапе ее развития драйвером служит центр НТИ «Новые производственные технологии», структурным подразделением которого является Институт передовых производственных технологий. Ключевыми на сегодня направлениями исследований центра являются: цифровое проектирование и моделирование, цифровые двойники, новые материалы, аддитивные технологии и аддитивное производство, а также умные производственные технологии.

The paper is devoted to the activities of the Institute of Advanced Manufacturing Technologies, which is based on the University 4.0 model — this is a model of an educational institution of a new type. The university or its structural unit, working on this model, is taken to solve important problems that the industry at this stage considers to be “unsolvable”. The model proposed by the authors on the basis of computer engineering involves an innovative sequence of steps that differs from the traditional approach by the reverse sequence: from research and innovation and entrepreneurial activity to educational. The described model plays a decisive role in the development of the University’s innovation ecosystem today. At the current stage of its development, the driver is the NTI “New Production Technologies” center, whose structural unit is the Institute of Advanced Production Technologies. Today’s key research areas are: digital design and modeling, digital twins, new materials, additive technologies and additive manufacturing, as well as smart manufacturing technologies.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

KEYWORDS

УНИВЕРСИТЕТ 4.0, ПЕРЕДОВЫЕ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИНЖЕНЕРНАЯ
ПОДГОТОВКА, КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ,
ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ

UNIVERSITY 4.0, ADVANCED MANUFACTURING
TECHNOLOGIES, ENGINEERING TRAINING,
COMPUTER-AIDED ENGINEERING, DIGITAL TWINS

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

FOR CITATION

Боровков А. И., Левенцов В. А., Рябов Ю. А.
и др. Компьютерный инжиниринг — основа
подготовки инженерного спецназа России.
Технический оппонент. 2019;5(4):46-51.

Borovkov A. I., Leventsov V. A., Ryabov Yu. A.
et al. Computer-aided engineering as a basis
for educating and training the “Elite Special Forces
in Engineering”. *Tekhnicheskiiy opponent =
Technicalopponent.* 2019;5(4):46-51.



Введение

Чтобы быть способным за короткий срок освоить передовые технологии и быть конкурентоспособным на рынке труда, инженер должен обладать в первую очередь фундаментальными знаниями в математике и физике. Именно так построена подготовка в Институте передовых производственных технологий СПбПУ (далее ИППТ), где студентам на первых курсах преподается значительный объем фундаментальных дисциплин, без которых освоение технологий невозможно [6].

Следующий важнейший принцип обучения — каждый семестр, на каждом курсе студенты должны изучать по одной технологии мирового уровня, которыми владеют компании — лидеры промышленности. А эти технологии являются де-факто инженерным языком международного общения.

И, наконец, на старших курсах реализуется принцип «подготовка инженера в процессе выполнения реальных НИОКР по заказам промышленности». В ИППТ сотрудники CompMechLab вовлечены в учебный процесс, они выступают соруководителями бакалаврских работ и магистерских диссертаций. В процессе обучения преподаватели-практики-инженеры и студенты совместно решают актуальные научно-технические задачи по заказам промышленности, а не рассматривают кейсы из учебников. Здесь чрезвычайно важна роль тьюторства, создания динамичной среды, где все постоянно находятся в контакте, группы, выполняющие разные проекты, в живую общаются друг с другом, снимают возникающие вопросы.

Основываясь на данных принципах, для формирования инженеров новой формации («инженерного спецназа») в различных отраслях высокотехнологичной промышленности, для своевременной подготовки, переподготовки, повышения квалификации и уровня компетенций у инженеров, работающих в различных отраслях промышленности, в 2015 году в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого (далее — СПбПУ) был создан первый в России Институт передовых производственных технологий.

Миссия ИППТ — генерация, применение и распространение глобально конкурентоспособных меж-, мульти- и трансдисциплинарных политехнических знаний, разработка, развитие и эффективное применение передовых производственных технологий, разработка продукции нового поколения, развитие практико-ориентированных технологий обучения и подготовки магистров и аспирантов в рамках выполнения НИОКР по заказам предприятий высокотехнологичной промышленности [7].

Задачи, которые сегодня успешно решаются ИППТ [7]:

- создание, применение и распространение меж-, мульти- и трансдисциплинарных политехнических знаний, надотраслевых наукоемких компьютерных технологий и передовых производственных технологий мирового уровня;
- опережающая подготовка научно-технических и инженерных кадров, обладающих компетенциями мирового уровня на основе интеграции практико-ориентированного образовательного процесса с исследованиями и разработками в рамках выполнения НИОКР

по заказам предприятий высокотехнологичной промышленности;

- формирование и развитие внутриуниверситетских проектных консорциумов на основе принципов кооперации и интеграции в рамках выполнения совместных проектов;

- развитие кадрового потенциала университета путем вовлечения в научно-исследовательскую, научно-образовательную, инновационную и производственную деятельность талантливой молодежи;

- развитие предпринимательской инициативы и современной системы взаимодействия с промышленностью для эффективной коммерциализации результатов НИОКР и обеспечения устойчивого внебюджетного финансирования;

- развитие передовых производственных технологий на основе технологий математического моделирования и высокопроизводительных вычислений, проектирования на основе математического моделирования и принципов бионического дизайна, компьютерного, суперкомпьютерного, системного, технологического и промышленного инжиниринга, компьютерных технологий разработки топологий интегральных микросхем и импортозамещающей электронной базы изделий, технологий оптимизации материалов, машин, конструкций, физико-механических и технологических процессов, на основе современных технологий обработки материалов, аддитивных и гибридных технологий, технологий облачных вычислений, интернета вещей, межмашинного взаимодействия, киберфизических и мехатронных систем, робототехнических комплексов и т.д.;

- экспертиза, трансфер и применение передовых производственных технологий в высокотехнологичной промышленности; формирование технологических цепочек нового поколения на основе принципов взаимодополнения, конвергенции и синергии;

- реализация инновационной финансово-устойчивой модели «Разработки → Исследования → Образование»: выполнение на регулярной основе наукоемких и высокотехнологичных разработок мирового уровня; проведение проблемно-ориентированных исследований, фундаментальных и инициативных исследований; целевая опережающая практико-ориентированная подготовка специалистов, обладающих компетенциями мирового уровня, на основе фундаментального физико-математического и инженерно-технического образования;

- реализация инновационной клиенто-/проблемно-ориентированной модели взаимодействия с отраслями высокотехнологичной промышленности;

- апробация и развитие современной инновационной форсайт-структуры («полигона»), готовой отвечать на глобальные проблемы-вызовы (например, сверхактуальные проблемы государственного значения — импортозамещение, импортоопережение, реинжиниринг отраслей промышленности, увеличение доли экспорта инжиниринговых услуг и т.д.) и объединяющую для этого уже имеющиеся в университете подразделения-лидеры (сетевой принцип управления), в которых работают специалисты, обладающие компетенциями мирового уровня и регулярно выполняющие высокотехнологичные проекты НИОКР по заказам ведущих отечественных и зарубежных компаний;



• апробация и развитие новых моделей эффективного взаимодействия с федеральными и региональными органами исполнительной власти, индустриальными партнерами, академическими и отраслевыми институтами, институтами развития, научно-исследовательскими и аналитическими центрами, работающими в сфере высокотехнологичного инжиниринга и консалтинга [7].

Модель ИППТ и ее роль в развитии экосистемы инноваций СПбПУ

В основе функционирования ИППТ лежит модель, получившая название «Университет 4.0». Это уникальная модель образовательной, исследовательской и инновационно-предпринимательской деятельности $\{D / C \rightarrow R / S \rightarrow T / E\}$ («Разработки → Исследования → Образование»), где **D / C** — Science-Intensive Development / Hi-Tech Industrial Consulting, глобально конкурентоспособные наукоемкие и высокотехнологичные Разработки и Консалтинг; **R / S** — Industrial Problem-Oriented Research / Basic Science, проблемно-ориентированные и фундаментальные Исследования мирового уровня; **T** — Training, специализированная Подготовка (на основе оригинального инновационного CDIO++-подхода — в рамках выполнения реальных НИОКР по заказам промышленности); **E** — Education, Образование (на основе оригинального STEM*-подхода [5] — Science (включая Mathematics) & Technology & Engineering & Manufacturing).

Университет 4.0 является продолжением развития предыдущих университетских моделей. Если «Университет 1.0» — это чисто образовательный университет, то «Университет 2.0» — это фактически модель Гумбольдта, когда университет ведет не только образовательную деятельность, но и интенсивно ведет научные исследования. В этой модели научные исследования могут выступать в качестве драйвера для образовательной деятельности. «Университет 3.0» — это модель многих зарубежных университетов, когда университет наряду с научно-образовательной деятельностью занимается еще и предпринимательской деятельностью. То есть университет формирует вокруг себя экосистему инноваций — создает малые и средние компании, стартапы, спин-ауты, спин-оффы, которые выходят на рынок, обладают теми или иными компетенциями, создавая продукты или оказывая услуги. «Университет 4.0» — это когда отдельные подразделения университета по ресурсам, людям, компетенциям, технологиям готовы решать те задачи, которые по тем или иным причинам современная промышленность не может решить. Это, как правило, те задачи, которые компаниями или целыми отраслями отнесены к классу «нерешаемых» с учетом имеющихся у них ресурсов (финансовых, человеческих, временных и др.). Но при этом это задачи, которые являются для промышленности важными, государственного значения, важны для развития страны, существование которых они не могут игнорировать. Такие задачи являются проблемами-вызовами.

Подчеркнем, что именно такая последовательность $\{D / C \rightarrow R / S \rightarrow T / E\}$ обеспечивает поддержание каждой из компетенций на мировом уровне в условиях

быстрого устаревания знаний, появления новых технологий и недостаточного для динамичного и конкурентоспособного развития государственного финансирования образования, исследований и разработок [2].

В рамках этого подхода на старших курсах магистры-инженеры-студенты СПбПУ участвуют в выполнении реальных НИОКР по заказам промышленных предприятий, в том числе при выполнении выпускных квалификационных работ (так, в период с 1988 по 2019 год под руководством А.И. Боровкова защищено 9 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнено более 500 выпускных работ, темы которых определялись реализуемыми НИОКР по заказам ведущих отечественных и зарубежных промышленных предприятий, научно-исследовательских институтов и университетов России, США, Германии, Великобритании, Канады, Италии, Финляндии, Франции, Кореи, Японии и других стран) [7].

подавляющее большинство работ, выполненных в последнее время под руководством А.И. Боровкова его аспирантами, можно отнести к классу задач математического моделирования с использованием передовых численных методов и программных комплексов. Практическая ценность работ заключается в автоматизации процесса проектирования сложных технических объектов, с применением принципов декомпозиции и синтеза критериев качества объектов, представленных в виде CAD-, CAE- и CAM-моделей [1].

Помимо автоматического проектирования, важным и перспективным направлением исследований, являются задачи оптимального проектирования. Ключевым показателем здесь является масса конструкции. Необходимо снизить массу конструкции при условии удовлетворения требованию по двукратному запасу прочности. Следует отметить, что получаемые оптимальные формы имеют сложные структуры, которые могут быть изготовлены только с помощью аддитивных технологий. Несмотря на сложность формы, все интерфейсные точки изделий не изменяются в процессе оптимизации, что обеспечивает совместимость изделия с окружающими элементами конструкции [5].

Теоретическая значимость исследований заключается в разработанных цифровых математических моделях объектов или процессов, допускающих учет многочисленных физических явлений, имеющих место в реальных условиях эксплуатации [4].

Создание ИППТ стало логичным продолжением создания экосистемы инноваций СПбПУ на базе наукоемкого высокотехнологичного компьютерного инжиниринга, планомерно развиваемой на протяжении более чем 30 лет.

Ключевыми элементами экосистемы инноваций СПбПУ являются:

1. Первая в России Учебно-научная и инновационная лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab), организованная в 1987 году на кафедре «Механика и процессы управления» физико-механического факультета Ленинградского политехнического института (ныне — СПбПУ).

2. ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) — высокотехнологичная инжиниринговая spin-out компания СПбПУ, созданная в 2007 году сотрудниками УНИЛ «Вычислительная механика».



3. ООО «Политех-Инжиниринг» — малое инновационное предприятие (*start-up* компании), учрежденное в 2011 году в соответствии с Федеральным законом от 02.08.2009 года № 217-ФЗ Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого и ООО Лаборатория «Вычислительная механика».

4. Передовой российский Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ — победитель конкурсного отбора Минпромторга и Минобрнауки России инжиниринговых центров на базе ведущих университетов в 2013 году, созданный на базе УНИЛ «Вычислительная механика» (CompMechLab) при участии инжиниринговой spin-out компании СПбПУ ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) и малого инновационного предприятия ООО «Политех-Инжиниринг».

5. Стратегическая академическая единица «Центр превосходства «Передовые производственные технологии» (CAE «ЦП ППТ»).

6. Представительство СПбПУ в Шанхае, открытое в апреле 2016 года, и фронт-офис Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ на базе представительства, открытый в сентябре 2016 года.

7. Центр компетенций НТИ «Новые производственные технологии» на базе Института передовых производственных технологий СПбПУ — инфраструктурная основа взаимодействия научных, образовательных и промышленных организаций в целях обеспечения конкурентоспособности отечественных компаний-лидеров на глобальных рынках НТИ и в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Ключевые особенности модели ИППТ/ Центра НТИ «Новые производственные технологии» и основные результаты

Деятельность ИППТ, входящего в Центр НТИ «Новые производственные технологии» направлена на развитие и распространение компетенций в области передовых производственных технологий. Ключевыми направлениями исследований являются:

Smart Design — цифровое проектирование и моделирование (CAD-CAE-НРТС-CAO-CAM-CAAM), цифровые двойники (Digital Twins), бионический / генеративный дизайн ((Simulation & Optimization)-Driven Bionic / Generative Design), «умные» цифровые двойники — Smart Digital Twin (CAD, CAE, CAO, CAM, CAAM, Simulation & Optimization)-Driven Bionic Design, PDM, PLM&Advanced Manufacturing);

Новые материалы (в первую очередь, композиционные материалы, наноматериалы, метаматериалы, металлопорошки для аддитивного производства);

Аддитивные технологии и аддитивное производство, включая 3D-принтеры, технологии, подходы и способы работ с исходными материалами, разработка и производство металлопорошков и набор услуг по 3D-печати;

Smart-Manufacturing-технологии и гибридные производственные технологии.

При этом основное внимание уделяется передовым формам организации разработки и производства глобально конкурентоспособной продукции — Фабрикам Будущего (Цифровым, «Умным» и Виртуальным), а основным объектом разработки становятся Умные Цифровые Двойники (Digital Twins) изделий и связанных с ними, в первую очередь производственных процессов.

Сегодня бизнес и промышленность стоят на пороге значительных перемен, связанных с внедрением цифровых технологий. Сами по себе цифровые технологии в проектировании, компьютерном моделировании и автоматизации производства активно внедрялись со второй половины прошлого века, в период так называемой третьей промышленной революции. К настоящему времени ведущие мировые научные и производственные организации оцифровали критическую массу собственных бизнес-процессов, что позволило осуществить полную цифровую реорганизацию, что открыло новые горизонты в эффективности ведения бизнеса, обеспечило достижение принципиально нового (*best-in-class*) уровня разрабатываемой и производимой продукции.

Для компаний в Российской Федерации новая промышленная революция является серьезным вызовом, но в то же время и возможностью (при условии осуществления эффективной цифровой трансформации) занять место среди лидеров высокотехнологичных рынков завтрашнего дня. Наблюдается факт того, что мировой технологический фронтир значительно быстрее «убегает» вперед, чем его успевает догнать отечественная промышленность. «Окно возможностей» для вывода продуктов и услуг на глобальный высокотехнологичный рынок закрывается раньше, чем Россия успевает им воспользоваться. Для того чтобы достичь уровня мирового технологического необходима реализация серии технологических прорывов, в противном случае развитие останется «догоняющим».

Во-первых, необходимо четко сформулировать проблему-вызов, который необходимо решить. Во-вторых, нужно четко и объективно определить технологический фронтир и темпы развития глобального высокотехнологичного рынка: кто лидер, кто демонстрирует высокие темпы развития, каких характеристик мы хотим достичь, какие — превзойти. Дальше — необходимо создавать цифровые двойники. Разработка цифрового двойника начинается уже на старте проекта, при возникновении идеи и принятия решения о создании нового продукта [3].

На данном этапе необходимо отобрать лучший продукт на рынке, характеристики которого хочется превзойти (бенчмаркинг), и ставить задачу на разработку *best-in-class* продукта.

Дальше 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. Как правило, разработчики сегодня идут только по одной траектории — и, чаще всего, она не заканчивается достижением результата, с первого раза удовлетворяющего всем требованиям технического задания. Наши же инженеры зачастую получают сразу порядка 10 реше-



ний, каждое из которых удовлетворяет требованиям технического задания.

В этом случае один из цифровых двойников выводится на рынок, и появляется продукт. Остальные же разработки «сидят в засаде» — готовые в нужный момент, когда сложится необходимая конъюнктура, в кратчайшие сроки выйти на рынок, обеспечив продукту «превышение» уровня мирового технологического фронта и рост отрыва опережающими темпами. Со слов д.э.н., профессора, декана экономического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, А. А. Аузана: фактически формируется «гарантированное зарезервированное развитие», чем и определяется устойчивый рост компании, а шире — отрасли, страны.

Одной из задач-вызовов для отечественных компаний в этой связи является создание новой продукции с заданными потребительскими характеристиками в сжатые сроки, определяемые конкурентными условиями глобальных рынков. Традиционные подходы к разработке предполагают проведение серии итеративных доводок изделия через натурные испытания. Большое количество циклов такого процесса, необходимость изготовления прототипов и проведения натурных испытаний значительно увеличивают сроки и издержки при разработке. Отечественные компании, изначально имея низкую долю мирового рынка, не могут компенсировать такие издержки за счет массового производства. Развитие компетенций в эффективной разработке новой продукции способно ответить на этот вызов, поскольку гарантирует создание кастомизированной и персонализированной продукции нового поколения, соответствующей запросам растущих передовых высокотехнологических рынков.

Сотрудники ИППТ СПбПУ имеют подтвержденный опыт применения новых производственных технологий при выполнении заказных научно-исследовательских проектов в интересах мировых лидеров промышленности.

Вместе с коллективами организаций-участников консорциума Центра НТИ «Новые производственные технологии», созданного на базе ИППТ, исполнители проекта обладают необходимыми компетенциями для обобщения и трансфера опыта при построении передовых процессов разработки и производства новой глобально конкурентоспособной продукции. Новые подходы к производственным технологиям объединяются в концепции Фабрик Будущего (Factories of the Future), в частности, Цифровых, «Умных» и Виртуальных. Под Цифровыми Фабриками понимается передовая организация всех оцифрованных процессов разработки, виртуальных испытаний и пр.

Фабрики Будущего не только позволяют по-новому организовать процессы разработки и производства, но и предлагают принципиально новые подходы к работе с данными продуктов. Так, в частности, объектом разработки становятся цифровые двойники изделий, включая полный жизненный цикл, и процессов их производства (Digital Twins) Опыт, получаемый в процессах разработки и эксплуатации изделий, аккумулируется в системах «умных» больших данных (Smart Big Data) и закладывает основу для работы интеллектуальных помощников (AI assistants) инженеров-разработчиков. Как правило, структурно Цифровая Фабрика Будущего для каждого типа изделий состоит из набора методик

(включая подходы к постановке и управлению целями разработки), автоматизированных систем виртуальных испытаний, виртуальных испытательных стендов и виртуальных испытательных полигонов инструментов аккумуляции и обработки знаний, обеспечивающих работу интеллектуальных помощников. Такая интеллектуализация и автоматизация процесса разработки позволяет выйти на принципиально новый уровень проектирования. В частности, учитывать в многоуровневой матрице целей и ограничений проекта до 40 000 целевых показателей и ресурсных ограничений на изделие, создавать решения, выходящие за рамки интуиции главного-конструктора. При этом сам подход Фабрик Будущего инвариантен по отношению к используемым техническим решениям и отраслям применения. Так, в частности, виртуальные испытательные полигоны в составе Цифровых Фабрик Будущего могут работать как на зарубежном, так и на отечественном инженеринговом программном обеспечении, отражать виртуальные испытания для жизненного цикла любых изделий в автомобилестроении, авиакосмической отрасли, судостроении.

Ключевым элементом работы с промышленностью является CML-Цифровая платформа CML-Bench, которая разрабатывается с 2014 года и является основой для создания Цифровых Фабрик Будущего, позволяющих значительно повысить скорость и качество исполнения проектов при снижении стоимости разработок, особенно — для глобальных высокотехнологичных рынков.

Платформа обеспечивает единую среду и инструменты («интеллектуальных помощников») для проектирования и производства глобально конкурентоспособных продуктов нового поколения, проведения виртуальных испытаний и создания «цифровых двойников» изделий и процессов их производства.

Заключение

В современной экономике наблюдается серьезный разрыв между стремительно развивающимися технологиями и квалификацией специалистов, способных осваивать и применять данные технологии.

Сложность передовых технологий такова, а они каждый день «убегают» вперед настолько быстро, что иначе как через реальные проекты в интересах высокотехнологичной промышленности, технологии не освоишь. Все остальное будет просто имитацией, «игрой в слова».

Кроме того, постоянно работая с промышленными предприятиями, в том числе с такой передовой отраслью, как автомобильная, мы сталкиваемся с тем, что «классические» форматы, работающие в высшей школе (целевая подготовка инженеров, программы дополнительного профессионального образования, повышение квалификации), — малоэффективны.

Первая проблема — молодые передовые и талантливые кадры, которые после обучения попадают в существующую среду производства, быстро утрачивают мотивацию и интерес к развитию; старая, традиционная среда «побеждает». Вторая проблема — отрыв подготовки инженерных кадров от реального производства и промышленности. Для решения этих вызовов необходимо не только пе-



реосмысление процесса переобучения инженеров и конструкторов, но и перестроение системы организации их деятельности, изменение самого процесса проектирования и системы управления проектами.

Для достижения этой цели Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого разработан и успешно апробирован новый формат повышения квалификации и переподготовки инженерных кадров высокотехнологичных предприятий промышленности — ЗИЦ — зеркальный инженеринговый центр (за образец-прототип такого центра берется Инжиниринговый центр СПбПУ), — постоянно действующий механизм взаимодействия инженерных

команд Заказчика и Исполнителя в ходе работы над несколькими проектами одновременно.

Подобная модель подразумевает практико-ориентированный подход, когда специалисты компании совместно с опытными сотрудниками СПбПУ решают с помощью передовых технологий реальные задачи предприятия, которые невозможно решить с использованием традиционных подходов. В результате проделанной работы получается продукт, готовый к изготовлению. А полученные знания и навыки специалист может применять для реализации дальнейших проектов своей компании.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Антонова О. В. Математическое моделирование и оптимизация характеристик гидродинамических подшипников скольжения гидрогенераторов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. СПб.; 2018.
2. Боровков А. И. Глобальные тренды в инженерном образовании. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки*. 2018;9(4):58–76. DOI: 10.18721/Jhss.9407
3. Боровков А. И. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года). ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 62 с.
4. Корестень И. А. Математическое моделирование процессов укладки кабеля под водой. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. СПб.; 2019.
5. Новокшенов А. Д. Оптимальное проектирование конструкций в интегрированной системе компьютерного инжиниринга. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. СПб.; 2018.
6. Боровков А. И. Проблемы инженерного образования. Центр стратегических разработок. URL: <http://https://www.csr.ru/news/1867/> (дата обращения / accessed: 16.11.2019).
7. Работа по созданию и развитию Института передовых производственных технологий СПбПУ удостоена государственной премии Санкт-Петербурга. Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. URL: <http://http://fea.ru/news/6945> (дата обращения / accessed: 06.12.2019).
8. Ученый совет Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого создал Институт передовых производственных технологий. Центр компьютерного инжиниринга СПбПУ. URL: <http://fea.ru/news/6089> (дата обращения / accessed: 01.12.2019).
9. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В. и др. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК. *Оборонная техника*. 2018;1:6–33. URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2018/05_may/17/oboronnaya-technika.pdf (дата обращения / accessed: 16.11.2019).

Вклад авторов. Боровков А. И., Левенцов В. А., Рябов Ю. А. и др.: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, анализ полученных данных, выводы и рекомендации.

Author's contribution. Borovkov A.I., Leventsov V.A., Ryabov Yu. A. et al.: developing of research design, obtaining data for analysis, reviewing publications on the topic of the article, article paper writing, analysis of the obtained data, conclusions and recommendations.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 10.12.2019. **Принята к публикации:** 23.12.2019.

Article received: 10.12.2019. **Accepted for publication:** 23.12.2019.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Боровков Алексей Иванович, к.т.н, доцент, профессор Высшей школы механики и процессов управления, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Адрес: 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. office@spbstu.ru

Левенцов Валерий Александрович, к.э.н., доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Адрес: 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. office@spbstu.ru

Рябов Юрий Александрович, к.полит.н., ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Адрес: 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. office@spbstu.ru

Салкузан Сергей Владимирович, старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Адрес: 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. office@spbstu.ru

AUTHORS INFORMATION:

Borovkov Alexey Ivanovich, Ph.D., Associate Professor, Professor Higher school of mechanics and control processes, FSAEI HE «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University». Address: 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic str., 29. office@spbstu.ru

Leventsov Valeryi Aleksandrovich, Ph.D., Associate Professor, FSAEI HE «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University». Address: 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic str., 29. office@spbstu.ru

Ryabov Yuryi Aleksandrovich, Ph.D., FSAEI HE «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University». Address: 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic str., 29. office@spbstu.ru

Salkutsan Sergey Vladimirovich, chief lecturer, FSAEI HE «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University». Address: 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnic str., 29. office@spbstu.ru