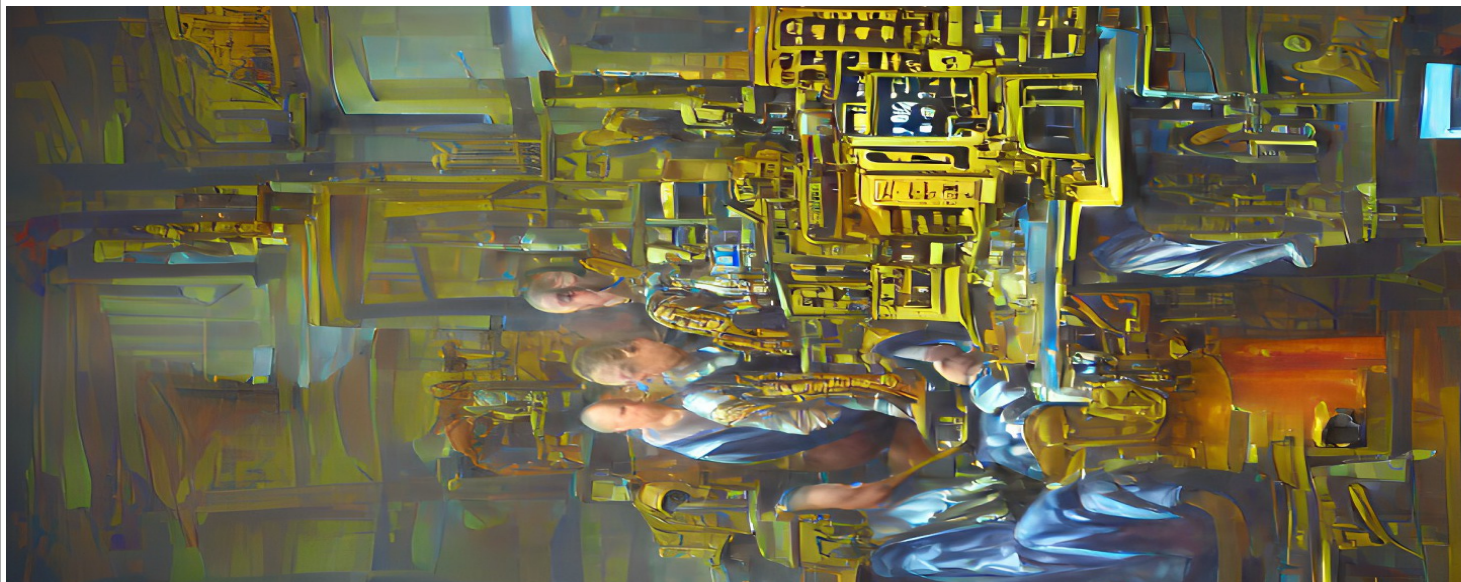


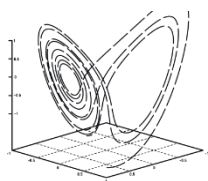
Технет

Национальная
технологическая
инициатива



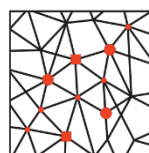
Источник: wombo.art по запросу advanced digital and manufacturing technologies, forum

Передовые цифровые и производственные технологии в мире и в России Экспертно-аналитический доклад



Национальная
технологическая инициатива

Пространство возможного



Технет

Национальная
технологическая
инициатива

Передовые
производственные
технологии

Подготовлено инфраструктурным центром «Технет» НТИ

Москва
2021 г.

РЕФЕРАТ

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, НАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНИЦИАТИВА, ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПЕРЕДОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СКВОЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА, СТАНДАРТЫ, ТЕХНЕТ, ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ, ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. КОНТЕКСТ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ БУДУЩЕГО	9
1.1. Энергопереход как ключевой мировой тренд. Результаты форсайт-исследований «Архипелага 2121»	15
1.2. Вызовы цифровой трансформации.....	21
1.3. Проекты-маяки.....	25
ГЛАВА 2. ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ДРАЙВЕРЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	27
2.1. Цифровое проектирование и моделирование	27
2.2. Новые материалы и аддитивные технологии.....	30
2.3. Суперкомпьютерные технологии	35
2.4. Искусственный интеллект.....	38
ГЛАВА 3. РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ОТРАСЛЕВОЙ КОНТЕКСТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕДОВЫХ И ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	42
3.1. Развитие Арктической зоны.....	42
3.2. Экологическая повестка	46
ГЛАВА 4. ЭКОСИСТЕМА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В СФЕРЕ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	50
4.1. Инфраструктура Национальной технологической инициативы и Живые дорожные карты Национальной технологической инициативы.....	51
4.2. Университеты и трансфер технологий.....	59
4.3. Современное инженерное образование и тренды его развития	64
4.4. Стандартизация.....	69
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА ПО ТЕМАТИКЕ РАЗВИТИЯ «ПЕРЕДОВЫХ ЦИФРОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»	74
5.1. Выборка аудитории опроса.....	74
5.2. Оценка готовности применения передовых цифровых и производственных технологий в различных отраслях промышленности	75
5.3. Эффекты от внедрения передовых цифровых и производственных технологий	77
5.4. Ключевые барьеры цифровой трансформации в сфере передовых производственных технологий.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	89
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	92
Приложение 1. ДК «Технет 4.0» НТИ.....	92
Приложение 2. Зеркальные инжиниринговые центры.....	93

Приложение 3. Примеры магистерских программ в рамках концепции Университета 4.0	94
БИБЛИОГРАФИЯ	102

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ДК	– Дорожная карта
НИР	– Научно-исследовательские работы
НИОКР	– Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
НТИ	– Национальная технологическая инициатива
ПЦиПТ	– Передовые цифровые и производственные технологии
РГ	– Рабочая группа

ВВЕДЕНИЕ

Передовые цифровые и производственные технологии (ПЦиПТ) – один из главных трендов четвёртой промышленной революции, происходящей в мире.

Передовые цифровые и производственные технологии можно назвать сквозными, поскольку это сложный комплекс мультидисциплинарных знаний, передовых наукоёмких технологий и субтехнологий, применимых в большинстве отраслей промышленности. Кроме того, это и система интеллектуальных ноу-хау, кросс-отраслевой трансфер и совокупность мер цифровой трансформации экономики страны.

Передовые цифровые и производственные технологии имеют высокий потенциал применения и стремительно развиваются, но пока имеют сравнительно небольшое распространение своих подходов, методов и процессов, а также сопутствующих им новых материалов, которые могут дать прорывные экономические эффекты для предприятий, их применяющих. В частности, разработка и внедрение данных технологий является необходимым условием для присутствия отечественных компаний на глобальных высокотехнологичных рынках. В связи с этим особую важность приобретает обсуждение методологических принципов, лежащих в основе цифровой трансформации и применения передовых цифровых и производственных технологий (прежде всего, цифровых двойников, цифрового проектирования и моделирования, технологий искусственного интеллекта) в различных сферах деятельности: разработке высокотехнологичных изделий, управлении производством и сложными системами, освоении месторождений, в медико-биологических системах, строительстве и ЖКХ, разработке новых материалов и производственных технологий, управлении ресурсами и др.

Экспертно-аналитический доклад формируется на основе следующих аналитических и экспертных мероприятий:

- 1) Экспертным образом выявлены наиболее важные тренды по направлениям сферы передовых цифровых и производственных технологий в 2021 г. в России и в мире,
- 2) Определены ключевые инициативы, реализуемые в России, направленные на поддержку развития передовых цифровых и производственных технологий.
- 3) Проведена апробация гипотез в рамках двух крупных экспертных мероприятий:

- Так, на базе Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого был проведён III Международный форум «Передовые цифровые и производственные технологии», который состоялся 1-2 декабря 2021 г. Это очередной этап системного экспертного обсуждения актуальных целей и задач цифровой трансформации промышленности, а также формирования современной системы инженерного образования в

России. В частности, в рамках форума проводились тематические круглые столы и сессии, в ходе которых обсуждались выявленные в ходе экспертных мероприятий тренды и инициативы.

- Также участники форума, представители экспертного и профессионального сообщества по направлениям передовых цифровых и производственных технологий приняли участие в экспертном опросе, направленном на уточнение позиций по приоритизации профильных сквозных технологий, основным трендам и барьерам развития сквозных технологий. Выводы по результатам опроса также стали основой для формирования экспертно-аналитического доклада. Всего в опросе приняли участие 65 экспертов.

Таким образом, наименования разделов доклада соответствуют проверяемым гипотезам авторов, тексты разделов посвящены раскрытию гипотез и результатам их апробации в рамках III Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии», других ключевых мероприятий, а также экспертного опроса, направленного на актуализацию данных о ключевых трендах развития передовых цифровых и производственных технологий в мире и в России.

Справочно о III Международном форуме «Передовые цифровые и производственные технологии»:

Организаторы форума: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Научный центр мирового уровня «Передовые цифровые технологии» СПбПУ (НЦМУ СПбПУ), Центр компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» СПбПУ (Центр НТИ СПбПУ). Форум прошёл при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках национального проекта «Наука и университеты» и стал частью программы мероприятий Года науки и технологий в России.

В III Международном форуме «Передовые цифровые и производственные технологии» приняли участие более 170 спикеров из России, США, Германии, Китая, Республики Беларусь и более 1000 участников из 73 регионов России.

В числе ключевых спикеров:

- Олег Рязанцев, заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации;
- Дмитрий Песков, специальный представитель Президента Российской Федерации по вопросам цифрового и технологического развития;
- Денис Кравченко, депутат Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, заместитель председателя Комитета Государственной Думы по

экономической политике, промышленности, инновационному развитию и предпринимательству;

- Владимир Княгинин, вице-губернатор Санкт-Петербурга;
- Кирилл Борисов, врио директора Департамента государственной научной и научно-технической политики Министерства науки и высшего образования Российской Федерации;
- Андрей Рудской, ректор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого;
- Сергей Волков, начальник управления по развитию технологий информационного моделирования частного учреждения ГК «Росатом» «Отраслевой Центр капитального строительства»;
- Дмитрий Иванов, директор по инновационному развитию ПАО «ОДК – Сатурн» (АО «ОДК», Госкорпорация «Ростех»);
- Алексей Боровков, проректор по цифровой трансформации СПбПУ, руководитель Центра НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии», руководитель Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии» СПбПУ;
- Дмитрий Лиознов, директор ФГБУ «НИИ гриппа имени А. А. Смородинцева» Министерства здравоохранения Российской Федерации;
- Иван Романчук, ректор ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»;
- Глеб Туричин, ректор ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет».

ГЛАВА 1. КОНТЕКСТ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ БУДУЩЕГО

Д.Н. Песков, специальный представитель Президента Российской Федерации по вопросам цифрового и технологического развития



«Пандемия задала новые правила: мир вынужденно цифровизуется, мир вынужденно становится сетевым. Россия в этом мире задаёт тренд на самодостаточность и своё производство, но при этом нельзя попасть в ловушку импортозамещения, нужно работать на импортоопережение».

О.Н. Рязанцев, заместитель Министра промышленности и торговли России



«Используйте цифровые двойники! Минпромторг считает это направление приоритетным и готов оказывать поддержку. По итогам прошедшего форума в этом направлении нужны рекомендации для промышленности, органов управления о том, как это внедрять повсеместно, как создать новую экосистему на предприятиях. Нужно сосредоточиться на том, что это принципиально новый подход, новая философия, задаваемые промышленной революцией».

В.Н. Княгинин, вице-губернатор Санкт-Петербурга



«Повестку инженерного образования определяет то, как соотносятся революционные изменения и ожидаемые прорывы с унаследованными инженерными системами. Важно уметь совмещать быстрые инновации с инерцией существующих систем. Уже сейчас компании-носители новых технологических решений начинают переходить от прототипов к масштабированию. У крупной промышленности есть только от года до полутора лет, чтобы принять решения о внедрении передовых производственных технологий, иначе через 4–5 лет они должны будут сдвинуться или уйти с рынка».

Д.Б. Кравченко, заместитель председателя Комитета Государственной Думы Федерального Собрания России по экономической политике, промышленности, инновационному развитию и предпринимательству



«Пандемия задала чёткие тренды, которые строятся вокруг цифровизации, медицины, экологии, зелёных технологий, вокруг новой промышленной революции, где нас ждёт массовое внедрение киберфизических систем. Чтобы поддержать этот процесс, очень важно внедрение инновационных подходов в законодательные решения, законодательство должно быть гибким».

К.Е. Борисов, Врио директора Департамента государственной научной и научно-технической политики Минобрнауки России



«Новые производственные технологии являются одним из ключевых факторов научно-технологического развития РФ и один из важнейших приоритетов, которые обозначены в стратегии научно-технологического развития, утвержденной президентом Российской Федерации».

А.И. Рудской, ректор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого



«Методология и парадигма применения цифровых двойников доказала свою эффективность в инжиниринге, в разработке высокотехнологичных изделий. И подтверждением тому является более 250 НИОКР, реализованных Центром НТИ СПбПУ только за последние четыре года. Не могу не отметить, что эта практика получила признание и на государственном системном уровне. в сентябре 2021 года был утвержден и обратите внимание, первый в мире национальный стандарт в области цифровых двойников и изделий, ГОСТ «Компьютерные модели и моделирования, цифровые двойники изделий, общие положения».

Г.А. Туричин, ректор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета



«Страновая конкуренция и технологическая конкуренция между компаниями, только обостряются. Для нас как для страны, которая стремится стать центром технологического развития не только для себя, но и для части окружающего мира, крайне важно не упустить существующую возможность».

И.С. Романчук, ректор Тюменского государственного университета



«В нашей стране в последние годы были запущен ряд важных инициатив, направленных на фронтальные исследования и разработки. Эта деятельность, в том числе на базе университетов, направлена на то, чтобы преодолеть отставание в технологическом развитии и приобрести конкурентные преимущества на мировом рынке».

Д.А. Лиознов, Научно-исследовательский институт гриппа им. А.А. Смородинцева



«Глобально пандемия конечно же, дала толчок многим направлениям, которые трансформируют нашу жизнь. И вот развитие цифровых технологий в здравоохранении, в медицине сегодня ощущает каждый из нас. Прежде всего, конечно же, это регистры вакцинации и заболеваемости, на основании которых мы с получаем QR-коды, и фактически это наш пропуск в сегодняшнюю жизнь, наша реальность на работу, в учебное заведение».

А.И. Боровков, проректор по цифровой трансформации Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, руководитель Научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии», Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» и Инжинирингового центра (CompMechLab®) СПбПУ



«Современные технологии цифровых двойников позволяют существенно снизить стоимости разработки изделий. Ярким примером являются разработки в области двигателестроения. Так, если необходима реализация нескольких десятков опытных образцов, то необходимо провести целый ряд испытаний, что увеличивает стоимость изделия. Снижение объемов натурных испытаний, оптимальная организация технического

обслуживания ремонтов на этапе эксплуатации, снижение себестоимости разработки, уменьшение сроков вывода новой продукции на рынок – экономические эффекты передовых цифровых и производственных технологий».

1.1. Энергопереход как ключевой мировой тренд. Результаты форсайт-исследований «Архипелага 2121»

К актуальной в глобальных масштабах проблематике развития относятся не только вопросы макроэкономической стабильности, но и готовность функционировать в мире, где экономическая целесообразность сопоставляется с экологическими последствиями.

Потребности экономики в энергии растут с каждым годом, однако кардинальные изменения в моделях генерации и хранения энергии все ещё остаются перспективой будущего. Одним из наиболее вероятных сценариев, продвигаемых развитыми странами мира, является переход к использованию возобновляемых источников энергии: энергии ветра, приливов, тепла Земли и солнечного излучения. В странах Европейского Союза, США и других странах, реализующих политику по противодействию изменениям климата, оперативно адаптироваться к ней позволяет применение передовых цифровых и производственных технологий.

Правительство Российской Федерации, российское профессиональное и экспертное сообщество активно включаются в обсуждение «зелёной» повестки и формулирование ближайших действий. Среди ключевых инициатив – Национальный проект «Экология», курируемый Минприроды России¹, ряд указов Президента России, утверждение «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.»². Российская энергетика переживает период изменений. Главным трендом, оказывающим влияние на развитие информационных систем в энергетике, является концепция Smart Grid. Правительство Российской Федерации утвердило дорожную карту развития технологий передачи электроэнергии и интеллектуальных энергосистем в течение трёх лет. Дорожная карта предполагает, в т. ч. переход к интеллектуальному учёту энергии, благодаря которому можно будет отказаться от передачи данных вручную, оперативно получать информацию об авариях и предотвращать хищения. С 1 января 2022 г. построение системы учёта должно осуществляться только на базе умных счётчиков³.

¹ Национальный проект «Экология». URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/> (дата обращения: 28.12.2021).

² «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.». URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fW032e2yA0BhtlpyzWfHaiUa.pdf> (дата обращения: 28.12.2021).

³ Интеллектуальные сети электроснабжения. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_\(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8\)#.D0.A2.D0.B5.D0.BD.D0.B4.D0.B5.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.B8_.D1.80.D0.B0.D0.B7.D0.B2.D0.B8.D1.82.D0.B8.D1.8F_.D0.BC.D0.B8.D1.80.D0.BE.D0.B2.D0.BE](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8)#.D0.A2.D0.B5.D0.BD.D0.B4.D0.B5.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.B8_.D1.80.D0.B0.D0.B7.D0.B2.D0.B8.D1.82.D0.B8.D1.8F_.D0.BC.D0.B8.D1.80.D0.BE.D0.B2.D0.BE)

Вклад экспертного сообщества в формулирование российской повестки в области энергоперехода и природосбережения осуществляется через деятельность рынка «Энерджинет» АНО «Платформа НТИ» и экспертные дискуссии на генерацию вызовов, решений и подходов по работе с ними. Большое внимание экологическим проблемам было уделено на Форсаите «100-летний горизонт», который проходил в рамках проектно-образовательного интенсива «Архипелаг 2121» в Великом Новгороде. Вот какие глобальные вызовы выделили участники:

1. Отношения человечества с природой и климатический вызов. К 2100 г. в статусе климатических беженцев могут оказаться около 2 млрд человек. И они будут воспринимать Россию как привлекательное для жизни место. Уже сейчас российские компании сталкиваются с карбоновым налогом – штрафами за безответственное отношение к природе. Нашу промышленность будут заставлять трансформироваться. Это серьёзнейший вызов, к которому нам придётся адаптироваться.

2. Планетарные границы. Есть угрозы, которые ставят под вопрос устойчивость жизни людей на горизонте 100 лет. Закисление океанов, угроза массового вымирания жизни в океанах, климатический вызов, биогеохимические изменения циркуляции азота и фосфора в масштабах планеты, истощение почв на горизонте 50 лет приведут к продовольственному вызову.

3. Вызов разрушения биологического разнообразия. Исчезновение даже одного вида может повлечь за собой необратимые изменения.

4. Отношения человечества и техносферы. Поднимаются вопросы технологической этики. Например, активно развивается область биотехнологий, они становятся всё более доступными, и при этом могут иметь летальный характер. Так, есть ряд биологических решений, которые можно таргетировать под определённый тип геномов. И при этом, создание биотехнологической лаборатории составляет всего лишь 100 тыс. долларов.

5. Отношения человечества с самим собой: угроза стабильности глобальной цивилизации. У людей теряется общее пространство договорённостей, и это усиливается экономическим неравенством. Большая часть мирового богатства принадлежит менее чем 1% людей. Такого уровня несправедливости не было давно. С приходом новых цифровых технологий ситуация будет только усугубляться. Уже сейчас Россия входит в то-3 стран по неравномерному распределению богатства.

[D0.B9 .D0.B8 .D0.A0.D0.BE.D1.81.D1.81.D0.B8.D0.B9.D1.81.D0.BA.D0.BE.D0.B9 .D1.8D.D0.BD.D0.B5.D1.80.D0.B3.D0.B5.D1](#) (дата обращения: 26.12.2021).

Используя перечисленные вызовы как предпосылки для формирования будущего участники сформировали 15 ставок:

1. Регенеративная экономика. Экономика переходит от линейных моделей к регенеративным: основанным на использовании возобновляемых ресурсов и замыкании циклов. Базовой нормой организации любой деятельности станет требование соблюдения баланса в экосистеме.

2. Экономика самореализации. Вместо экономики неограниченного потребления и постоянно растущих потребностей формируется устойчивая экономика, основанная на культуре управления потреблением, «удовлетворённости необходимым». В таких системах возникает интенция к переориентации экономики и культуры на удовлетворение высших потребностей – в самореализации, творчестве, познании и т. д. Начинает формироваться «экономика самореализации».

3. Ценностный капитал. Появятся новые типы капитала, отражающие природное, культурное, социальное и интеллектуальное достояние сообщества, как следствие может образоваться ценностный капитал. В частности, оценка природного капитала может включать в себя не только карбоновый след, но и такие единицы измерения, как уровень плодородия, богатство биоформ. Для сообществ появятся новые меры ценности, которые не сводятся к деньгам. Эти меры будут свободно конвертироваться друг в друга в масштабах планеты. Сообщества станут нелокальными эмитентами этих единиц измерения.

4. Технология роста стабильной экономики. За счёт сбора больших данных и предиктивной аналитики в масштабах планеты появится возможность экономического роста при удержании стабильного гомеостаза – регулирования экономического развития мягкими методами, соединяющими рыночные и плановые инструменты. Регулирование экономики будет в высокой степени автоматизировано. Рынок тоже автоматизируется, превратится в «пост-рынок», на котором обмен перейдёт на уровень взаимодействия машин и человеко-машинных интерфейсов.

5. Сквозные глобальные политики. Мировые вызовы будут менять национальные политики и формировать сквозные глобальные политики. Национальные государства трансформируются в техноэкономические блоки и платформы, скреплённые общими базовыми установками. Мировыми державами будут те, кто сможет ставить и решать проблемы планетарного масштаба. Бизнес создаст свои платформы для решения глобальных задач, которые будут сфокусированы на снижении транзакционных издержек. Карбоновое регулирование – один из примеров сквозной политики, которая уже начинает определять стратегии большинства стран.

6. Новые политические полисы. Появятся сетевые и виртуальные государства и экстерриториальные города – «Новая Ганза». Это будут новые субъекты, меняющие расклад сил в глобальной политике и макроэкономике.

7. Авангард «новой цивилизации». Нас ждёт новое Великое переселение народов, связанное с изменениями климата, которое в ближайшее столетие может затронуть порядка миллиарда человек. Они оторвутся от корней и смогут либо реассимилироваться в логику старых культур, либо первыми принять новые правила игры, стать авангардом «новой цивилизации». Для этого должны быть целенаправленно созданы институты «ассимиляции в будущее».

8. Картина мира и отношения с природой будут определяться принципом интегральности. Задача – за следующие 50 лет изменить мышление человечества так, чтобы оно воспринимало мир более целостно. Об этом рассказал Константин Миньяр-Белоручев, руководитель направления «Развитие талантов для цифровой экономики» Университета 2035.

9. Умные экосистемы. Цивилизация не противостоит природе, а включается в неё. Природные, социальные и технологические системы соединяются в единые комплексы – умные экосистемы, которые развиваются сбалансированным образом. Возникнут языки для описания и программирования умных экосистем. Человечество – часть большого комплекса природы и должно вписываться в неё, а не противостоять.

10. Метаязык. Технологический, социальный, культурный переход станет возможным при смене способа видения и языка коммуникации: от системного подхода к «сферному», от механического к органическому, от рационального к целостному, от потребительского к восстановительному. Разрешение самых острых современных противоречий в системах «человек – человек» и «человек – планета» будет происходить одновременно, так как они имеют общее экосистемное решение.

11. Интерфейсы умных экосистем. Возникнет ряд интерфейсов обратной связи от самых разных элементов умной экосистемы, например, леса или города, завода или программного обеспечения. Благодаря интеллектуальному интерфейсу эти существа обретут голос и смогут выстраивать диалог с нами, а сенсорный интерфейс даст возможность ощутить их состояние и почувствовать влияние человека и техносферы на окружающую среду. Это изменит всю культуру, ведь люди смогут чувствовать эмпатию к самым разным живым системам, а также учиться у них.

12. Многосубъектность. За счёт развития новых интерфейсов при поддержке искусственного интеллекта умные экосистемы и отдельные нечеловеческие существа, от дельфина или секвойи до робота или искусственного интеллекта, обретут статус субъекта

права, политики, экономики, творчества в глазах людей. Правовая система, как и экономика, будут учитывать интересы таких субъектов, в т. ч. и планеты в целом.

13. Университет будущего. На университеты будет возложена роль взращивания и трансляции новых картин мира. Университет будущего станет сетью сетей, построенной по модели биоценоза или умной экосистемы – адаптивной, саморегулирующейся, открытой для кооперации и включённой в контур жизненного цикла человека.

14. Институт сопровождения жизненного цикла человека. Образование будет поддерживать человека в течение всей жизни. Система образования превратится в институт сопровождения жизненного цикла человека и сообществ разного масштаба. Наряду с традиционной передачей знаний и навыков будет обеспечено формирование ценностей, личностное, интеллектуальное и нравственное развитие.

15. Новая культура здоровья. Возникнет новая культура здоровья – не как «отсутствие болезней», а как гармоничное развитие человека, интегрирующее разные уровни, от телесного до духовного. Новая институция здравоохранения будет развивать методы поддержания баланса этих составляющих⁴ и технологии, необходимые для этого.

Полученные в результате «100-летнего» форсайта в рамках «Архипелага-2121» выводы коррелируют с международной повесткой последних 10 лет.

В результате принятия Рамочной конвенции ООН об изменении климата в 2015 г. было заключено Парижское соглашение, согласно которому страны-участницы обязались достичь пика эмиссии углекислого газа до 2030 г. и начать снижение данного показателя. Эффективным шагом в снижении эмиссии CO₂ считается переход к возобновляемым источникам энергии, с последующим снижением доли угля, нефти и природного газа в формировании энергетического баланса.

Ряд ведущих экономик мира (Китай, США, ЕС) достигли успехов в декларации процесса перехода на возобновляемые источники энергии и наращивают объёмы генерации посредством Солнца и ветра. В мировой структуре генерации электроэнергии «зелёные» источники (за исключением гидроэлектростанций) занимают уже более 10%⁵.

⁴ Сто лет тому вперёд: прогнозы футурологов на Архипелаге 2121. Хабр. URL: https://habr.com/ru/company/2035_university/blog/570100/ (дата обращения: 26.12.2021).

⁵ Global energy statistical yearbook. URL: <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html> (дата обращения: 26.12.2021).

Согласно новому 14-му пятилетнему плану развития Китая⁶ вопросы экологии и новых источников энергии объявляются приоритетными^{7,8}, а доля возобновляемых источников энергии к 2025 г. должна достичь 20%. План также предполагает строительство восьми зон экологически чистой энергии на территории Китая⁹.

Мировая энергетика постепенно эволюционирует в сторону более экологичных технологий, но её структура ещё долго будет носить прежний характер. Внедрение цифровых технологий позволит осуществить значительную оптимизацию в сфере производства и распределения энергии и сократить нагрузку на окружающую среду.

Благодаря использованию цифровых технологий общий спрос на электроэнергию к 2050 г. может снизиться более чем на 25%. Несмотря на то, что развитие необходимых элементов цифровой инфраструктуры, таких как дата-центры, «умные» города и распространение электромобилей, приведёт к росту спроса на электроэнергию, этот рост будет компенсирован за счёт оптимизации работы электростанций и сокращения потерь электроэнергии в распределительных сетях¹⁰.

⁶ China's 14th Five-Year Plan: A First Look. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11684> (дата обращения: 26.12.2021).

⁷ Towards carbon neutrality and China's 14th Five-Year Plan: Green COVID-19 recovery, sustainable urban development and clean energy transition. URL: <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2021/02/Towards-carbon-neutrality-and-Chinas-14th-Five-Year-Plan.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

⁸ The 14th Five-Year Plan: a high-speed roadmap for China. URL: <https://eias.org/op-ed/the-14th-five-year-plan-a-high-speed-roadmap-for-china/> (дата обращения: 26.12.2021).

⁹ Семь картинок, «раскрывающих» новый облик Китая в 2025 г. URL: https://news.dayoo.com/china/202103/09/139997_53824191.htm (дата обращения: 26.12.2021).

¹⁰ BP Technology Outlook. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/what-we-do/bp-technology-outlook-2018.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

1.2. Вызовы цифровой трансформации

Несмотря на интенсивное технологическое развитие последних тридцати лет, для большинства развитых экономик всё более острой становятся проблемы: 1) снижения с 1970-х-1980 гг. темпов роста производительности труда, 2) достижения рядом наиболее технологически развитых экономик «плато» по производительности труда, что мотивирует национальные правительства и бизнес искать новые инструменты повышения конкурентоспособности. К началу 2010 гг. темпы роста производительности сократились в развитых экономиках до отметки в 0,5% в год. Вдобавок последствия мирового экономического кризиса 2008 г. привели к значительному снижению инвестиций в капиталоемкие отрасли, что дополнительно осложнило ситуацию.

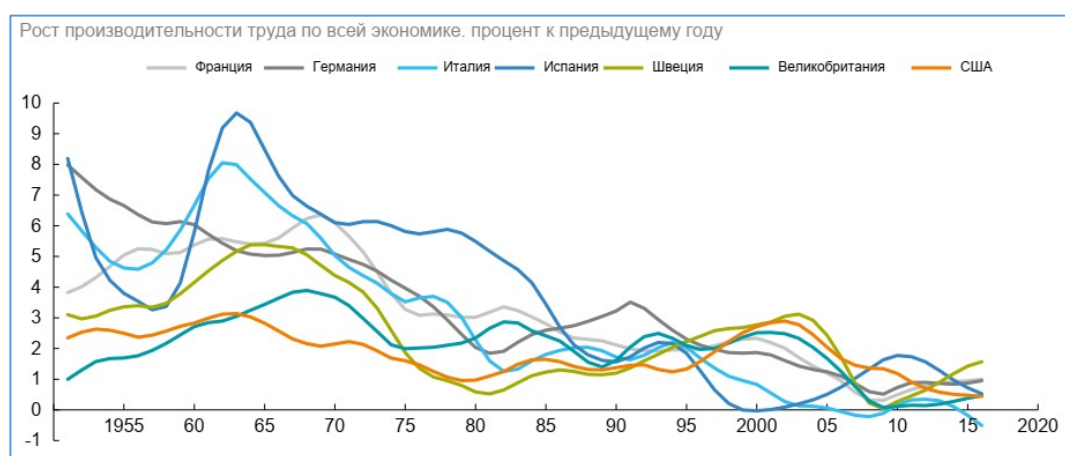


Рисунок 1. Снижение роста производительности труда в избранных европейских экономиках и экономике США. Источник: McKinsey¹¹

Начиная с 2000 гг. для преодоления падения темпов роста производительности реализуются политики развития цифровых технологий, чтобы обеспечить насыщение ими традиционных секторов экономики и формирование новых, более эффективных бизнес-моделей, реализующих потенциал цифровизации.

Отрасли экономик всех стран мира находятся на разном уровне цифровизации. Согласно методологии компании McKinsey (McKinsey Digitalization Index), чемпионами по цифровизации являются наукоёмкие отрасли услуг – непосредственно ИКТ, масс-медиа, финансы и индустрия развлечений. На втором месте – кластеры потребительских услуг и услуги, связанные с государственными функциями (образование, ЖКХ, здравоохранение и образование). К числу отстающих – даже в активно развивающихся цифровых экономиках,

¹¹ Digitization, AI and Productivity. McKinsey Global Institute, 2018. URL: <https://www.oecd.org/sti/ind/digital-transformation-business-session-2-manyika.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

подобных КНР – относятся капиталоемкая промышленность (промышленное производство, нефтегазовая отрасль, химическая промышленность) и фрагментированные и локальные отрасли (строительство, сельское хозяйство, гостиничные услуги и ряд других). И если цифровизация отраслей-лидеров зачастую осуществляется «естественным путём», то цифровизация промышленности приковывает к себе значительное внимание национальных правительств и международных организаций.

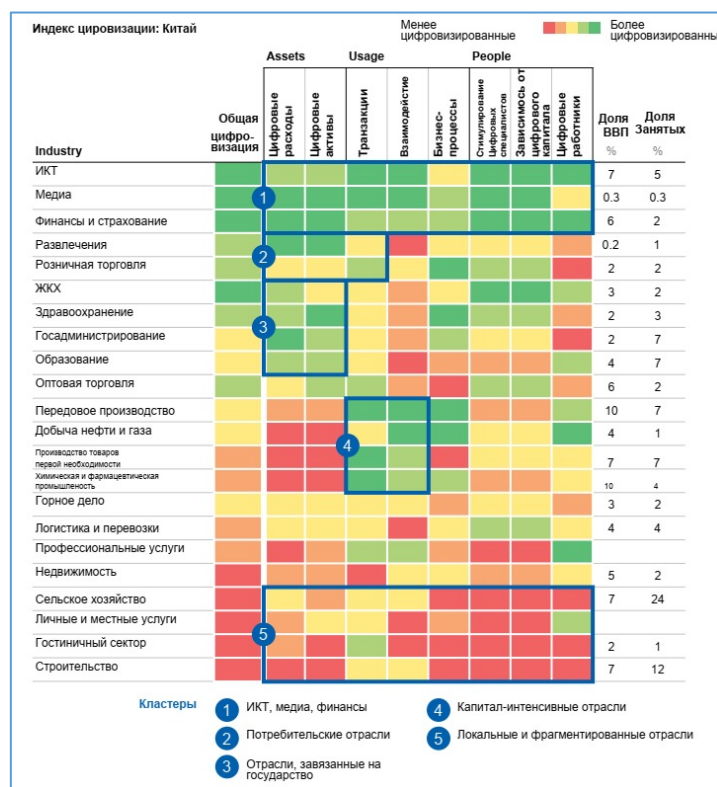


Рисунок 2. Уровень цифровизации отраслей экономики Китая. Источник: McKinsey¹²

Для Российской Федерации ускоренная цифровизация промышленности и других реальных секторов экономики является одним из важнейших приоритетов в развитии, так как обеспечит как повышение производительности труда в промышленности, так и рост объёма высокодоходных постиндустриальных услуг и соответствующих рабочих мест.

Повышение эффективности основных отраслей экономики – ключевая задача национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»¹³, одного из

¹²Digital China: Powering the Economy to Global Competitiveness. McKinsey Global Institute, 2017. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/china/digital-china-powering-the-economy-to-global-competitiveness> (дата обращения: 26.12.2021).

¹³Программа «Цифровая экономика» URL: <https://digital.ac.gov.ru> (дата обращения: 26.12.2021).

наиболее важных приоритетов в развитии страны на ближайшие годы. Вопросы экономического эффекта от внедрения цифровых технологий в промышленности стали темой обсуждения **на круглом столе «Экономические эффекты цифровой трансформации промышленности»¹⁴** в рамках Третьего Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии».

Участники круглого стола в ходе выступлений и дискуссии указали на системные экономические эффекты от цифровой трансформации промышленности, как на макроуровне глобальной и национальной экономики, так и на уровне конкретных предприятий.

По мнению участников форума, на макроэкономическом уровне цифровые технологии позволяют:

- Значительно сократить время на сбор и обработку информации и обеспечить общее радикальное снижение транзакционных издержек в экономике на стыке отраслей и регионов, с различными стандартами, правилами документооборота и иными различиями в нормах. В идеальном варианте развитие цифровых технологий в целом и технологий цифровых двойников в частности может позволить объединить сложные системы в «системы систем» и обеспечить новый уровень управления промышленностью.

- Перейти на качественно новый уровень моделирования отраслевой кооперации в промышленности и создать новые способы построения такой кооперации благодаря созданию цифровых библиотек модулей промышленной продукции. Грандиозный масштаб задач по оцифровке всех компонентов промышленного производства стимулирует дальнейшее укрупнение промышленных компаний, например, в сфере автомобилестроения, и отход от конкурирующих моделей к сотрудничеству в производственных цепочках.

- Создать новые модели защиты и коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности в формате цифровых моделей. Цифровые модели продуктов и систем продуктов могут продаваться разработчиками для использования другими игроками рынка, а постепенное включение 3D-моделей в сферу защищаемых решений увеличивает безопасность для такой деятельности.

Е.Б. Тищенко, Советник декана экономического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по цифровой экономике

¹⁴ «Передовые цифровые и производственные технологии»: ведущие эксперты обсудили экономические эффекты цифровой трансформации промышленности. URL: <https://fea.ru/news/7955> (дата обращения: 26.12.2021).



«Благодаря тому, что в России были приняты поправки в Гражданский кодекс, с февраля 2021 г. 3D-модели инженерных изделий могут фиксироваться как результат интеллектуальной деятельности. Таким образом, само цифровое моделирование формирует новый актив тоже в строительной отрасли. Я думаю, что в сфере РИД в машиностроении на самом деле аналогичные окна возможности тоже открыты».

На уровне предприятий развитие цифровых технологий позволит:

- Значительно сократить себестоимость разработки новых продуктов.
- Радикально увеличить скорость производственных и бизнес-процессов в промышленности.
- Создать новый уровень сотрудничества между различными предприятиями и подразделениями предприятий при реализации сложных технических проектов.
- Обеспечить «бесшовность» процессов в производстве, сократив затраты времени и ресурсов между различными этапами производственных процессов.

Вместе с тем, развитие цифровых технологий и достижение экономического эффекта от их внедрения требует **преодоления определённых вызовов на этапе внедрения.**

- Необходим новый уровень управленческой и производственной культуры, который бы позволил отойти от старых, доцифровых методов работы.
- Реальный экономический эффект от внедрения цифровых технологий достигается при перестроении бизнес-процессов предприятия, а не просто при оцифровке уже имеющихся.
- Для успешного внедрения цифровых технологий чаще всего необходимы «быстрые победы» от их внедрения и чёткое различие между ситуациями «до» и «после» внедрения цифровых технологий.

- Внедрение цифровых технологий должно производиться на стороне производства, и ИТ-специалисты, осуществляющие внедрение, должны перейти от поддерживающей функции в компании к функции обеспечения производства.

- Представители промышленных компаний в последнее время всё больше боятся зависимости от крупных поставщиков цифровых решений («цифровая игла»), что создаёт отдельные сложности в условиях санкционных рисков.

- Зачастую понимание необходимости цифровизации производственных процессов, осознаваемое на уровне среднего и высшего менеджмента, не доводится до конкретных исполнителей снизу, что вызывает серьёзные проблемы на этапе внедрения цифровых технологий.

1.3. Проекты-маяки

В одним из средств ответа на вызовы будущего в России стали проекты-маяки. Проекты-маяки – это стратегические инициативы по созданию рынков высокотехнологичной продукции, в которых будут задействованы частный бизнес, наука, технологические стартапы, государственные корпорации.

По словам Леонида Осипова, директора по технологическому развитию и инновациям ВЭБ.РФ: «Проекты-маяки должны отвечать двум критериям: максимальный рыночный потенциал и высокий вытягивающий эффект для развития отечественных технологий. Максимальный рыночный потенциал подразумевает наличие инвестора, который готов вкладывать средства и зарабатывать на этом проекте. По результатам реализации комплексного технологического проекта-маяка должен появиться набор стартапов и компаний, которые решают технологические задачи внутри «маяка» – таким образом создаётся вытягивающий эффект»¹⁵. Учитывая их высокую рискованность проектов маяков, при их реализации проектов маяков критически важна роль институтов развития, способных довести проекты до стадии, на которой является возможным привлечение частных инвестиций.

На проектно-образовательном интенсиве «Архипелаг 2121» в Великом Новгороде Андрею Белоусову, первому заместителю председателя Правительства, представили паспорта и дорожные карты пяти проектов-маяков:

¹⁵ На Nobel Vision рассказали о проектах-маяках. Сколково. URL: <https://sk.ru/news/nobel-vision-proekty-mayaki/> (дата обращения: 26.12.2021).

1. «Электроавтомобиль и водородный автомобиль»: создание семейства автомобилей на электричестве, в т. ч. с использованием водородных топливных элементов.
2. «Беспилотные логистические коридоры»: транспортные коридоры для перевозки грузов. Первый такой коридор предполагается создать на трассе М11 в направлении Москва – Санкт-Петербург уже до 2024 г.
3. «Автономное судовождение»: создание коридоров коммерческого автономного судовождения. Первый маршрут Усть-Луга – Калининград.
4. «Беспилотная аэродоставка грузов» в труднодоступные районы Арктики и Дальнего Востока.
5. «Персонализированные медицинские помощники»: создание системы дистанционного наблюдения и диагностики людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями и сахарным диабетом с помощью персональных носимых устройств¹⁶.

Проекты-маяки закреплены в Перечне инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г. в разделе V. Технологический рывок¹⁷. Андрей Белоусов заявил, что Правительство планирует направить на реализацию таких проектов 652 млрд руб. в 2022-2024 гг. Деньги будут выделены, в т. ч. из средств Фонда национального благосостояния (ФНБ) и внебюджетных источников¹⁸.

¹⁶ Андрей Белоусов провёл совещание о проектах-маяках на проектно-образовательном интенсиве «Архипелаг 2121». Агентство стратегических инициатив. URL: <https://asi.ru/news/183618/> (дата обращения: 26.12.2021).

¹⁷ Перечень инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г. Утверждён распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 октября 2021 г. № 2816-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/jwsYsyJKWGQQAaCSMGrd7q82RQ5xEC03.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

¹⁸ Белоусов: инвестиции в технологические проекты в РФ в 2022-2024 гг. 652 млрд руб. ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/11938241> (дата обращения: 26.12.2021).

ГЛАВА 2. ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ДРАЙВЕРЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

2.1. Цифровое проектирование и моделирование

Согласно исследовательскому отчёту Global Market Insights Inc. к 2027 г. размер рынка цифровых двойников должен превысить 50 млрд долл.¹⁹ Ожидается, что в период с 2021 по 2027 гг. он будет расти более чем на 35% в год²⁰.

Согласно отчёту CIMdata несмотря на COVID-19, доходы смежного рынка – моделирования и анализа (S&A) более чем удвоились в 2020 г. до 7,5 млрд долл.²¹ При этом рынок ПО в несколько раз больше рынка инжиниринговых услуг и растёт более высокими темпами.

Драйверы роста рынка цифровых двойников:

- растущее распространение Интернета вещей, аналитики больших данных и облачных платформ;
- использование промышленного Интернета вещей для проектирования и производства;
- растущее внедрение цифрового двойника в управление цепочками поставок (SCM);
- быстрое внедрение практик Индустрии 4.0 в сочетании с растущим спросом на подключённые устройства;
- инновации в области виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR)²².

Драйверы роста рынка цифрового моделирования и анализа:

¹⁹ Digital Twin Market size worth over USD 50 Bn by 2027. URL: <https://www.gminsights.com/pressrelease/digital-twin-market> (дата обращения: 26.12.2021).

²⁰ Digital Twin Market Size By Application (Product Design & Development, Machine & Equipment Health Monitoring, Process Support & Service), By End Use (Manufacturing, Healthcare, Automotive, Aerospace & Defense, Energy & Utility, Infrastructure Buildings, Retail & Consumer Goods), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2021-2027. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-twin-market> (дата обращения: 26.12.2021).

²¹ Simulation and analysis market grows in 2020. URL: <https://www.controleng.com/articles/simulation-and-analysis-market-grows-in-2020/> (дата обращения: 26.12.2021).

²² Digital Twin Market Size By Application (Product Design & Development, Machine & Equipment Health Monitoring, Process Support & Service), By End Use (Manufacturing, Healthcare, Automotive, Aerospace & Defense, Energy & Utility, Infrastructure Buildings, Retail & Consumer Goods), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2021-2027. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-twin-market> (дата обращения: 26.12.2021).

• спрос на повышение безопасности и надёжности аэрокосмических конструкций, систем в автомобильной промышленности и отрасли электроники – растущая потребность в лёгких аэрокосмических и оборонных системах;

- необходимость в постоянном улучшении спецификаций;
- рост использования инновационных программных решений PLM;
- растущая потребность в понимании различных атрибутов реальных систем²³.

Риски и вызовы рынка цифровых двойников: кибербезопасность и другие риски, связанные с использованием облачных платформ и Интернета вещей; ограниченность квалифицированной рабочей силы и технических знаний; недостаточная осведомлённость о рентабельности внедрения цифрового двойника²⁴.

По отраслям применения на недвижимость приходилась самая большая доля выручки – более 20% в 2020 г. Большая доля выручки связана с увеличением количества «умных» зданий по всему миру.

В зависимости от решаемой цифровым двойником задачи рынок подразделяется на профилактическое обслуживание и мониторинг производительности, оптимизацию бизнеса, управление запасами, дизайн и разработку продуктов и другие.

Рынок цифровых двойников к 2027 г., по оценкам KBV Research, составит 63,5 млрд долл.²⁵. На глобальном рынке цифровых двойников в 2020 г. доминировал сегмент профилактического обслуживания и мониторинга производительности. Рынок оптимизации бизнеса – наиболее быстрорастущий, ожидается, что его демонстрируемый среднегодовой темп роста составит 42,2% в течение 2021-2027 гг.

Технология цифровых двойников – важнейшее направление для радикального увеличения производительности промышленности и серьёзного улучшения качества производимой продукции. В силу этого, именно к этому направлению было привлечено

²³ Global Simulation and Analysis Software Market 2018-2022 URL: <https://www.technavio.com/report/global-simulation-and-analysis-software-market-analysis-share-2018> (дата обращения: 26.12.2021).

²⁴ Digital Twin Market Size By Application (Product Design & Development, Machine & Equipment Health Monitoring, Process Support & Service), By End Use (Manufacturing, Healthcare, Automotive, Aerospace & Defense, Energy & Utility, Infrastructure Buildings, Retail & Consumer Goods), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2021-2027. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-twin-market> (дата обращения: 26.12.2021).

²⁵ Global Digital Twin Market By Type (System, Process and Product), By Application (Predictive Maintenance & Performance Monitoring, Business Optimization, Inventory Management, Product Design & Development and Others), By Industry (Automotive & Transportation, Residential & Commercial, Healthcare & Life Sciences, Manufacturing, Energy & Power, Agriculture, Retail & Consumer Goods and Others), By Regional Outlook, Industry Analysis Report and Forecast, 2021-2027. URL: <https://www.kbvresearch.com/digital-twin-market/> (дата обращения: 26.12.2021).

наибольшее внимание участников III Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии».

В рамках круглого стола «Применение цифровых двойников в разработке: практика применения, новые кейсы» на III Международном форуме «Передовые цифровые и производственные технологии» обсуждалось внедрение этого направления цифровых технологий в области, прежде всего, промышленного производства. Отмечалось, что цифровые двойники распространяются достаточно активно во всех сферах производства. В частности, появляется возможность создания цифровых двойников производственных процессов. Многие процессы настолько сложны, что могут быть изучены только с помощью технологии цифровых двойников. Особенностью цифрового двойника является связь с реальным изделием. Все взаимодействия внутри такой системы должны быть интегрированы на одной платформе.

Цифровой двойник – это совокупность моделей, которые позволяют отвечать на вопросы трёх уровней:

- как спроектировать изделие, провести виртуальные испытания и снизить последующие издержки, которые возникнут в процессе проектирования, производства и эксплуатации?
- что происходит с изделием в процессе производства?
- что происходит с готовым изделием?

Исходя из этих вопросов, можно говорить о трёх уровнях готовности цифрового двойника.

Цифровые двойники уже успешно применяются в металлургической промышленности, автомобилестроении, энергетике, в сфере городской инфраструктуры и здравоохранении²⁶. В рамках круглого стола обсуждалось применение цифровых двойников в таких отраслях, как создание композитных материалов и конструкций для авиации и химическое производство. Использование цифровых двойников возможно даже для моделирования и контроля процесса подготовки кадров.

Например, для области металлургии характерно использование очень крупных промышленных установок, внутри которых происходят сложные процессы. Это не позволяет их смоделировать в ином виде, кроме как в виде цифрового двойника. В результате повышается прогнозная точность по содержанию элементов в металле на выходе, а также

²⁶ Цифровые модели и двойники: почему за ними будущее и где учат с ними работать. URL: <https://vc.ru/education/294400-cifrovye-modeli-i-dvoyniki-pochemu-za-nimi-budushchee-i-gde-uchat-s-nimi-rabotat> (дата обращения: 26.12.2021).

появляется возможность контролировать процессы охлаждения на основе математических моделей. Внутри одного цифрового двойника могут использоваться несколько различных математических моделей. Главным для успешного применения цифрового двойника является наличие точных исходных данных. В частности, в докладе «Цифровые двойники в производстве» начальник сектора общего машиностроения ИИПТ Н. Ефимов-Сойни поделился сложностью проектирования и моделирования доменной печи как с точки зрения сложности самой системы, так и в части проблематичности получения исходных данных и валидации расчётов. Цифровой двойник в данном случае – эффективный инструмент разработки, позволяющий увязать различные результаты моделирования на единой цифровой платформе.

Ключевые тезисы круглого стола:

- В сфере проектирования композитных конструкций наблюдается консерватизм системы сертификации, а также сложности в применении методик расчёта, многие из которых были разработаны уже несколько десятилетий назад. В т. ч. по этой причине проектные расчёты и данные испытаний могут давать критичные расхождения, что негативно сказывается на качестве, сроках и стоимости всего проекта.
- Внедрение существующих методик создания и применения цифровых двойников изделий на всем жизненном цикле в инженерную практику позволит минимизировать ресурсы, требуемые на проектирование, создание опытных образцов, оптимизацию технологии и запуск изделий в серийное производство в любой отрасли.
- В числе необходимых шагов для распространения практики применения цифровых двойников обозначены следующие: кооперация КБ, вузов, НИИ, разработчиков ПО для совершенствования методов проектирования и расчёта; решение комплексных междисциплинарных задач; подготовка высококвалифицированных кадров.

2.2. Новые материалы и аддитивные технологии

После лавинообразного роста популярности в 2005 г., когда были представлены настольные 3D-принтеры (рис. 3), началась масштабная интеграция аддитивных технологий на промышленных предприятиях. В последние годы технологии **3D-печати совершили качественный скачок** в развитии. В настоящий момент это не только технологии прототипирования, но и в некоторых случаях лучшие из существующих производственных технологий для замены классических способов производства функциональных частей конечных продуктов.

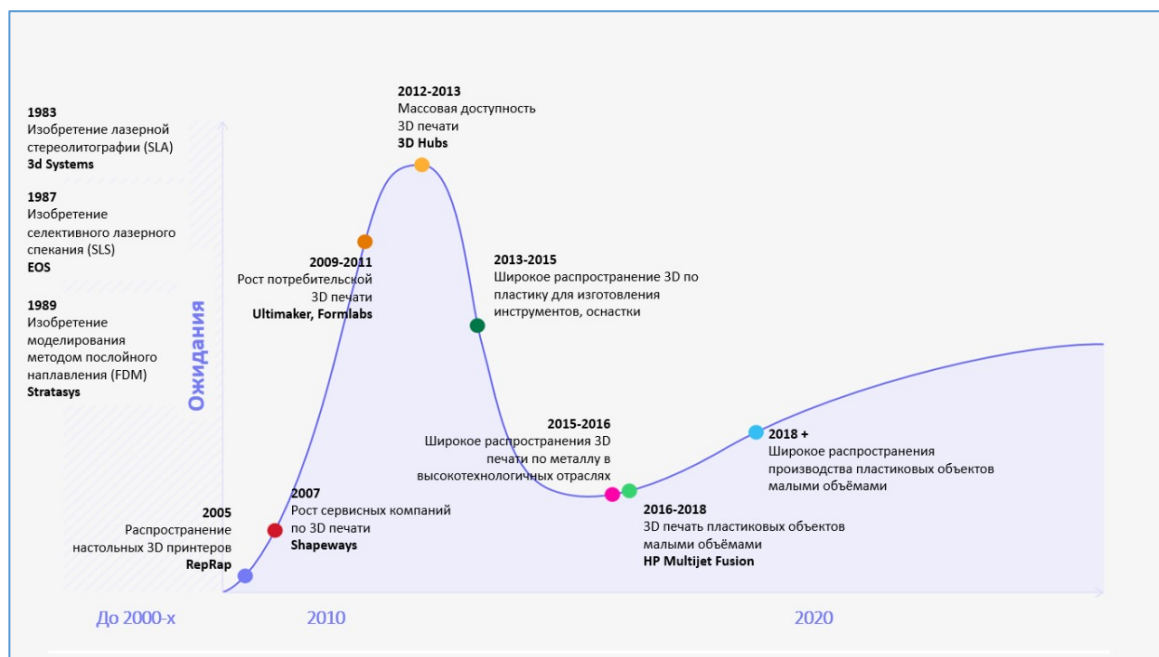


Рисунок 3. Цикл Gartner для отрасли аддитивных технологий²⁷

Аддитивные технологии обладают рядом преимуществ перед используемыми сейчас в массовом сегменте производственными технологиями:

- существенно меньше конструктивных ограничений при проектировании изделий;
- высокий потенциал локализации производства;
- меньшие начальные затраты для запуска продуктов, созданных на базе аддитивных технологий.

Аддитивное производство (АП) является продуктом на стыке цифровых технологий и материаловедения, и дальнейший рост АП зависит от успехов в работе обеих отраслей.

Ключевые тенденции в области программного обеспечения для отрасли аддитивного производства²⁸:

²⁷ Additive manufacturing trend report 2021 «3D printing market growth in the year of the COVID-19», 2021, HUBS. URL: <https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/4075618/Additive%20manufacturing%20trend%20report%202021.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

²⁸ Additive manufacturing trend report 2021 «3D printing market growth in the year of the COVID-19», 2021, HUBS. URL: <https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/4075618/Additive%20manufacturing%20trend%20report%202021.pdf>.

²⁸ Tech Soft 3D. URL: <https://www.techsoft3d.com/> (дата обращения: 26.12.2021).

1. Появление «метавселенной» – новой концепции следующего поколения Интернета, которая постулирует развитие и расширение применений цифровых двойников.

2. Растущая важность анализа в процессе проектирования, а также необходимость сбора информации и установлении механизмов обратной связи на каждом этапе для обеспечения наилучших конечных результатов производства.

3. Растущая роль сообществ. Платформы, такие как Thingiverse²⁹, Cults³⁰ и другие, объединяют большие сообщества людей, заинтересованных в развитии аддитивных технологий. Участие в подобных сообществах, их развитие и координация создают дополнительные возможности для компаний, такие как проверка гипотез продуктов, тестирование пакетов программного обеспечения и пр.

4. Облачные технологии. Концентрация существующих инструментов проектирования, проверки и оптимизации в режиме «одного окна». Переход к облачным решениям имеет решающее значение для роста сегмента аддитивного производства.

Ключевые тренды в области материалов и оборудования для аддитивного производства в мире³¹:

1. Дальнейшее развитие и расширение возможностей технологий печати металлами.

2. Появление новых полимерных материалов для создания биосовместимых индивидуализированных изделий для терапии и протезирования.

3. Развитие технологий печати и рост запроса промышленности на композитные и керамические изделия аддитивного производства.

4. Оптимизация существующих классических сплавов для применения в АП.

5. Переход к концепции «открытых материалов» от проприетарных разработок для конкретных образцов оборудования.

Тренды развития аддитивных технологий обсуждались также в рамках III Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии» на круглом столе «Функционально-градиентные материалы в аддитивных технологиях».

²⁹ Thingiverse. URL: <https://www.thingiverse.com/> (дата обращения: 26.12.2021).

³⁰ Cults. URL: <https://cults3d.com/en> (дата обращения: 26.12.2021).

³¹ The Additive Manufacturing Landscape 2020 Key insights and trends into the additive manufacturing market; AFMG, 2020. URL: <https://amfg.ai/whitepapers/the-additive-manufacturing-landscape-2020-report/> (дата обращения: 26.12.2021).

Согласно дискуссии и докладам круглого стола, основными трендами численного моделирования в рамках аддитивных технологий являются моделирование непосредственного процесса аддитивного производства и постобработки деталей, включающие в себя отделение от платформы и удаление поддерживающих конструкций, термическую обработку, горячее изостатическое прессование и пр.

Мировыми лидерами в данном направлении являются следующие компании:

1. Simufact Additive (MSC Software Corporation).
2. Amphyon (Additive Works GmbH).
3. Netfabb (Autodesk).
4. Additive Suite (Ansys Inc.).

Перспективным направлением развития программного обеспечения в области моделирования аддитивного производства является моделирование формирующейся микроструктуры материалов изделий и прогнозирование свойств конечных изделий по завершению производственных процессов.

В настоящее время коммерчески доступное программное обеспечение для моделирования микро-, мезо- и макроструктуры изделий в комплексе отсутствует.

Обсуждались новые подходы к проектированию новых материалов и ключевые тренды, такие как:

1. Цифровое проектирование материалов – новый подход, включающий в себя проектирование изделий и их свойств на макро-, мезо- и микроуровне. Достижение подобного уровня проектирования происходит при объединении программных комплексов проектирования, оптимизации и изготовления изделий для осуществления процессов непрерывного обмена данными и построения взаимосвязей.

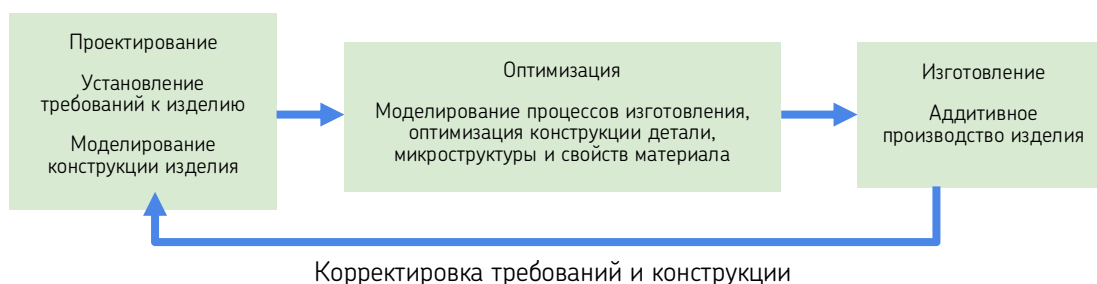


Рисунок 4. Концепция цифрового проектирования материалов³²

2. Разработка и проектирование метаматериалов. Метаматериалы представляют собой композиционные материалы, свойства которых обусловлены не только изначальными физическими свойствами используемого материала, но в большей степени искусственно созданной периодической структурой, формирующей массив изделия (например, ячеистыми структурами). Метаматериалы активно используются для создания протезов костной ткани человека. Так, в СПбПУ проектируется первый прототип тазобедренного импланта с градиентной ячеистой структурой со свойствами, сопоставимыми с кортикальной и трабекулярной частями кости.

3. Топологическая оптимизация конструкций на макроуровне. Топологизация – простейший инструмент оптимизации конструкций на макроуровне. Ведущие компании производители ПО для задач проектирования и аддитивного производства уже успешно освоили данный метод оптимизации, на рынке появляется запрос на разработку решений следующего уровня, проектирования не только конфигурации изделия, но и свойств материалов как в процессе изготовления, так и при эксплуатации.

4. Новые материалы для аддитивных технологий:

Разработка и исследование монокристаллов. Для некоторых сплавов удаётся получить монокристаллическую макроструктуру, существует сложность формирования монокристалла на краях крупных деталей (более 300 мм). В СПбПУ Петра Великого были разработаны и запатентованы технологии производства лопаток турбин аддитивными способами с заданными свойствами материалов (управление зернистостью структуры в зависимости от реальных нагрузок изделия).

Аддитивные технологии нуждаются в определенном типе базового материала для эффективной работы – **сферических порошках**. Подобные сферические порошки используются для создания жаропрочных композитов NbSi и высокоазотистых сталей.

А.А. Попович, Директор института машиностроения, материалов и транспорта, заведующий лабораторией «Синтез новых материалов и конструкций» ИММиТ СПбПУ Петра Великого

³² По материалам форума.



«Для 3D-печати нужен качественный сферический порошок заданной структуры и с заданным химическим составом. Жаропрочные естественные композиты – одни из перспективнейших материалов».

Высокоэнтропийные сплавы – новый класс материалов, созданных в СПбПУ, получаемых по технологии Mechanical Alloy. Механически легированные высокоэнтропийные сплавы AlCrFeNiSiTi , AlCrNbSiTi , CoCrFeNiMnW в настоящее время исследуются в целях адаптации технологий сфероидизации и компактования порошков для аддитивных применений.

Ультравысокотемпературная керамика – системы на основе боридов, карбидов и нитридов. Новая разработка – высокотемпературная керамика на базе многоэнтропийных сплавов.

По итогам круглого стола участники договорились о расширении кооперации специалистов в области аддитивных технологий и новых материалов, а также о необходимости более частого проведения подобных сессий, в т. ч. в очном формате – на площадках СПбПУ, Сколтеха, МИСиС или других.

2.3. Суперкомпьютерные технологии

Высокопроизводительные вычислительные системы и суперкомпьютеры во всём мире используются для выполнения сложных расчётов по оптимизации изделий, проверке работоспособности лекарств, химическому анализу и множеству других применений.

К 2026 г. рынок высокопроизводительных вычислений (HPC – High Performance Computing) на базе искусственного интеллекта достигнет 22 млрд долл., в основном за счёт

увеличения числа решений в области моделирования и новых инженерных решений³³. Биологические науки – самый быстрорастущий сектор применения высокопроизводительных вычислений, за которым, по числу приложений, следуют производство, финансовый сектор и энергетика.

До 52% выручки будет напрямую приходиться на облачную бизнес-модель через HPCaaS (High Performance Computing as a Service, высокопроизводительные вычисления как сервис)³⁴, которая делает решения высокопроизводительных вычислений доступными для гораздо более широкого круга компаний, тем самым расширяя диапазон применений и количество решаемых задач.

Между будущими решениями шестого поколения связи (6G) и высокопроизводительными вычислениями существует тесная взаимосвязь. В частности, рынок технологий 6G предоставит новые возможности, которые потребует использование огромных объёмов данных.

Высокопроизводительные вычисления могут быть предоставлены как суперкомпьютер или как сеть распределённых вычислительных устройств, организованная с помощью методов параллельной обработки. Сетевые HPC хорошо подходят для ряда приложений, таких как финансы, инженерное моделирование и некоторых других.

В настоящее время лидирующими странами в мире достигнута производительность в 0,442 эксафлопс (первое место рейтинг TOP-500 – суперкомпьютер Fugaku, Япония³⁵), однако даже столь впечатляющей производительности недостаточно для решения ряда задач будущего³⁶:

- моделирование термоядерного реактора;
- динамическое моделирование космических кораблей;

³³ Global High Performance Computing Market (2021 to 2026) – by Component, Infrastructure, Services, Price Band, HPC Applications, Deployment Types, Industry Verticals, and Regions. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20211116006109/en/Global-High-Performance-Computing-Software-Market-2021-to-2026---Growth-Trends-COVID-19-Impact-and-Forecasts---ResearchAndMarkets.com> (дата обращения: 26.12.2021).

³⁴ Worldwide High Performance Computing Industry to 2026 – The Market is Driven Largely by Simulations, Engineering and Design Solutions. URL: <https://finance.yahoo.com/news/worldwide-high-performance-computing-industry-163000882.html> (дата обращения: 26.12.2021).

³⁵ Суперкомпьютер Fugaku. URL: <https://www.fujitsu.com/global/about/innovation/fugaku/> (дата обращения: 26.12.2021).

³⁶ National Supercomputing Center of Tianjin. URL: <http://www.nsccl-tj.gov.cn/en/> (дата обращения: 26.12.2021).

- динамическое моделирование взаимодействий в цифровой клетке;
- моделирование климата;
- экологически безопасное тестирование лекарственных препаратов;
- астрономический анализ небесной сферы;
- инверсия сейсмических волн и моделирование литосферных процессов;
- динамическое моделирование нейронов человеческого мозга;
- субмезомасштабное моделирование всего океана планеты.

Для решения обозначенных задач требуются суперкомпьютерные системы с производительностью 1 эксафлопс и более, некоторые из них невозможно решить, используя классические подходы, логику и математику, используемые в отрасли на данный момент. Решением задач недостаточности вычислительной мощности и преодолении ограничений существующих архитектур высокопроизводительных вычислений является переход к квантовым вычислениям и компьютерам.

Суперкомпьютер, занимающий второе место рейтинга ТОП-500, IBM Summit на процессорах Power9 и ускорителях Nvidia Tesla V100, уступает японскому по показателям в три раза. Третье место отдала системе Sierra³⁷. Россия заняла 19-е место с новым компьютером «Червоненкис» компании «Яндекс». Впервые за долгое время Россия оказалась в первой двадцатке этого рейтинга. В общей сложности в нём представлено семь российских суперкомпьютеров – три «Яндекса», два Сбербанка и по одному МТС и МГУ. По числу компьютеров в ТОП-500 Россия находится на 10-м месте³⁸.

На круглом столе «Суперкомпьютерные технологии, суперкомпьютерный инжиниринг» обсуждались перспективы развития и актуальные проблемы суперкомпьютерных вычислений, был представлен анализ существующей суперкомпьютерной инфраструктуры и дана оценка текущему статусу отрасли в России и в мире, подчеркнута особое влияние развитости суперкомпьютерных технологий и соответствующей инфраструктуры на конкурентоспособность экономики.

Среди сфер применения суперкомпьютерных технологий участники выделили ряд ключевых, таких как планирование сложных экспериментов, интеллектуальная обработка

³⁷ Обновлён рейтинг мощнейших суперкомпьютеров. Его лидер не изменился. URL: <https://www.ferra.ru/news/computers/obnovlyon-reiting-moshneishikh-superkompyuterov-29-06-2021.htm> (дата обращения: 26.12.2021).

³⁸ Россия внезапно ворвалась в мировой топ самых мощных суперкомпьютеров. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-11-16_rossijskie_superkompyutery (дата обращения: 26.12.2021).

больших данных, численное моделирование изучаемых процессов на основе полученных экспериментальных данных и применение цифровых двойников установок и процессов на всех этапах жизненного цикла.

Как отмечали участники, на сегодняшний день суперкомпьютерная инфраструктура – это фактор обеспечения конкурентоспособности всей национальной экономики. О каком-либо росте современной экономики, основанной на знаниях, без развитой суперкомпьютерной инфраструктуры говорить просто невозможно.

Ключевые экономики мира строят свои суперкомпьютерные инфраструктуры на базе активной государственной поддержки и крупномасштабного государственного финансирования. При этом в сфере суперкомпьютерных вычислений в России существует «перекос» отрасли в сторону корпоративного сектора (Сбербанк, Яндекс и др.), в отличие от стран-лидеров, в которых преобладают суперкомпьютеры, принадлежащие государственным и образовательным организациям. Отдельно отмечалось недостаточное развитие сервисного принципа в построении работы суперкомпьютерных центров, в рамках которых к использованию суперкомпьютеров имели бы доступ и внешние пользователи.

Работа по выстраиванию государственной политики в сфере суперкомпьютерной инфраструктуры в России находится на самой ранней стадии развития. Концепция развития суперкомпьютерной инфраструктуры будет структурирована Министерством науки и высшего образования Российской Федерации до конца 2021 г.

Среди ключевых задач, которые предстоит решить в ходе создания концепции развития, можно выделить выработку консенсуса по базовым определениям, оценку потребности в мощности суперкомпьютерных систем и формирование основных направлений развития с учётом мировых трендов для целей модернизации российской науки и образования.

Участники отметили, что в условиях санкций нарастают проблемы с импортом компонентов для суперкомпьютеров, и призвали обратить внимание на китайский опыт работы с суперкомпьютерными вычислениями, где проблема импортозамещения была решена за счёт создания совместного производства Академии Наук Китая и компании AMD.

2.4. Искусственный интеллект

Искусственный интеллект (ИИ) – одна из наиболее важных технологий современности, является сквозной для практических всех отраслей экономики. Рынок ИИ растёт стремительными темпами – до 57% совокупного роста в год, по оценке Grand View

Research³⁹. Долгое развитие технологий искусственного интеллекта позволило создать многочисленные подходы и технологические направления, среди которых наиболее популярными являются подходы на основе машинного обучения.

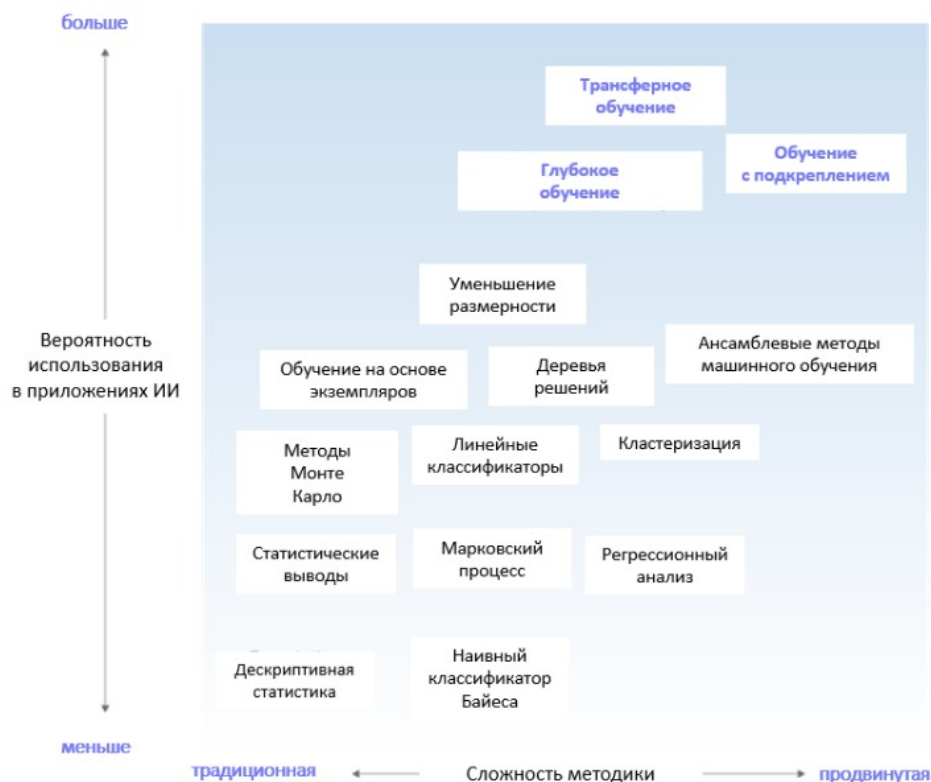


Рисунок 5. Распространённые технологии искусственного интеллекта. Источник: McKinsey⁴⁰

В 2017 г. аналитическая компания Gartner объявила технологии ИИ лидером в списке ключевых трендов будущего. По оценке Gartner, в ближайшие десять лет практически все приложения и сервисы будут так или иначе содержать элементы искусственного интеллекта.

³⁹Artificial Intelligence Market Size, Share & Trends Analysis Report By Solution, By Technology. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-market> (дата обращения: 26.12.2021).

⁴⁰ Notes From The AI Frontier. Insights From Hundreds Of Use Cases. McKinsey Global Institute. 2018. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-applications-and-value-of-deep-learning> (дата обращения: 26.12.2021)/

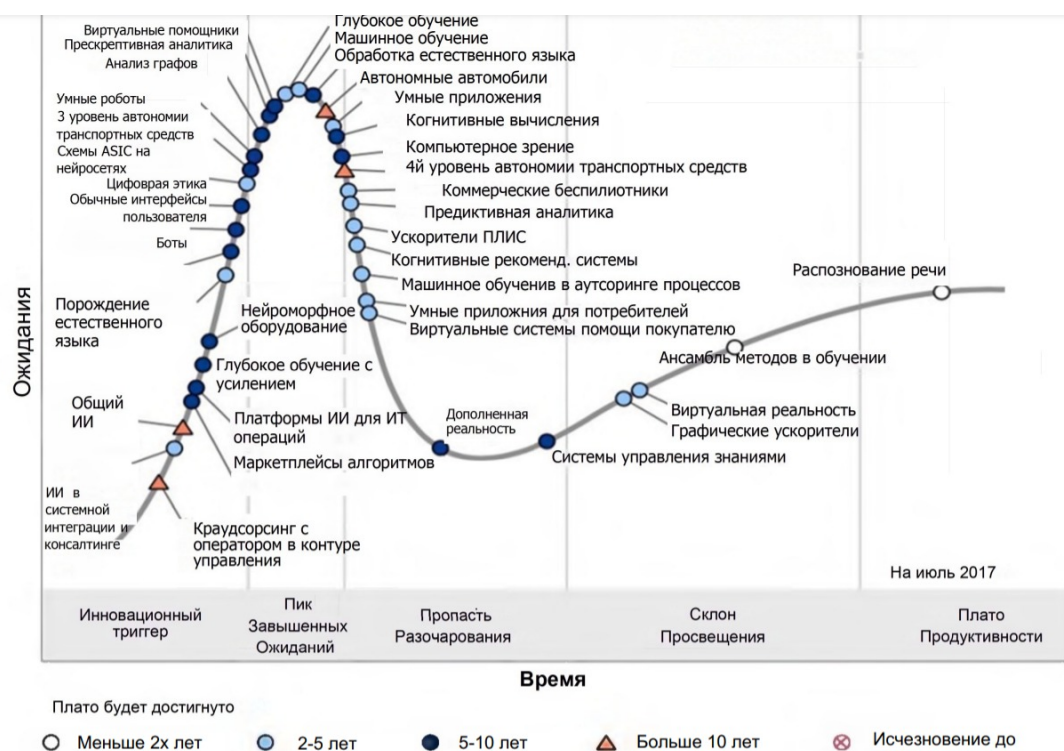


Рисунок 6. Гиперцикл технологий в области искусственного интеллекта на ближайшие 10 лет. Источник: Gartner Inc.

Российская Федерация, в силу сохранения высококачественного математического образования и наличия перспективных рабочих мест для специалистов на отечественном рынке труда, обладает большим потенциалом в сфере подготовки специалистов по ИИ. Согласно исследованию, проведённому компанией SAP, в 286 вузах России существуют магистерские программы по искусственному интеллекту. Всего в России по 65 специальностям, связанным с анализом данных, машинным обучением, распознаванием речи и изображений, компьютерной лингвистикой и иными направлениями ИИ, обучаются около 50 тыс. студентов.

В силу высокой важности ИИ для технологического будущего, перспективы технологий искусственного интеллекта активно обсуждались на III Международном форуме «Передовые цифровые и производственные технологии».

На круглом столе «Применение цифровых технологий для систем защиты от биологических угроз» были поставлены такие важные задачи, как:

1. Создание единой информационной базы медицинских документов, изображений и результатов инструментальных исследований для реализации систем поддержки принятия врачебных решений, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта.
2. Создание отраслевого центра искусственного интеллекта.

Участники мероприятия отметили, что «если эта задача будет реализована, мы получим очень хорошее подспорье, чтобы обеспечить результаты цифровой статистики и аналитики внутри РФ и на мировом уровне».

Тематика использования ИИ в рамках концепции «Индустрии 4.0» стала главной концептуальной рамкой для **круглого стола «Применение алгоритмов и технологий ИИ в промышленности»**. Доклады участников круглого стола были посвящены широкому спектру вопросов – от мониторинга транспортных систем до использования ИИ в текстильной промышленности. Другой важной темой круглого стола стало использование ИИ в медицине – для использования технологий ИИ в прогнозировании течения болезни у пациентов с COVID-19, а также в лечении онкологических заболеваний. Важная преграда на пути применения технологий ИИ в медицине – количество атипичных случаев и малое количество датасетов.

Как отмечалось участниками, передача операций технологического процесса роботизированным системам – как в промышленности, так и в медицине – важный тренд во всех развитых странах, и ключевую роль в этом процессе выполняет развитие технологий искусственного интеллекта.

ГЛАВА 3. РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ОТРАСЛЕВОЙ КОНТЕКСТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕДОВЫХ И ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

3.1. Развитие Арктической зоны

Точная граница Арктики не определена. Первоначально господствовал секторальный подход, согласно которому Арктика поделена между сопредельными циркумполярными государствами. В 1925 г. Канада заявила свои права на территорию арктического сектора от своего побережья до Северного полюса. В 1926 г. о праве на аналогично выделенный сектор заявил СССР. В 1920-х гг. были проведены границы арктических секторов между странами, омываемыми морями Северного Ледовитого океана.

В 1982 г. была принята Конвенция ООН по морскому праву, согласно которой территориальная юрисдикция государства распространяется лишь на шельф, тогда как внешельфовая зона объявляется международной. Россия присоединилась к этому соглашению в 1997 г.⁴¹. В результате ратификации этой конвенции Россия утратила суверенитет над 1,7 млн кв. км акватории Северного Ледовитого океана⁴². Официально арктическими странами являются Дания, Канада, Норвегия, Россия и США.

Сейчас идёт «вторая волна освоения Арктики», драйвером которой является добыча полезных ископаемых в регионе. Ведущие мировые державы приготовились к переделу арктических пространств. Россия стала первым арктическим государством, подавшим в 2001 г. заявку в ООН на установление внешней границы континентального шельфа в Северном Ледовитом океане. Заявка России предполагает уточнение территории арктического шельфа площадью более миллиона квадратных километров.

Отдалённые от Арктики государства (такие как Китай, неарктические страны – члены ЕС, в перспективе – Индия) также работают над тем, чтобы закрепиться на Арктических территориях. Например, Китай осваивает Арктическую зону через финансовое участие во флагманских проектах России и Канады.

В краткосрочной перспективе ожидается дальнейший рост количества арктических проектов, которые будут сопровождаться активным внедрением решений по цифровизации и автоматизации технических процессов в регионе. По мнению Германа Бородова,

⁴¹ Правовой режим Арктики. URL: <https://archive.is/20130417111321/www.rgo.ru/2010/04/pravovoj-rezhim-arktiki/#selection-527.0-527.22> (дата обращения: 26.12.2021).

⁴² Гончаров В. В., Поярков С.Ю. Арктика в 21 веке: возможен ли военный конфликт за обладание ею? // Арктика и Антарктика. – 2016. – № 2. – С. 131-137. DOI: 10.7256/2453-8922.2016.2.20356 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=20356 (дата обращения: 26.12.2021).

директора по работе с ключевыми клиентами ПАО «Вымпелком», это может компенсировать ограничения для развития Арктики в качестве экономической зоны (суровые условия, труднодоступность материальных и людских ресурсов на местах)⁴³.

Национальные политики развития Арктики Канады⁴⁴ и Норвегии⁴⁵ одними из приоритетных направлений выделяют защиту коренных народов, обеспечение транспортной связности, обеспечение военной безопасности, охрана окружающей среды, создание рабочих мест, использование устойчивых технологических решений (возобновляемая энергетика).

Арктическая зона является геостратегической территорией, имеющей ключевое значение для обеспечения реализации национальных интересов и национальной безопасности Российской Федерации в Арктике, поэтому в последнее время был принят ряд документов, задающих вектор государственной политики в Арктике на период до 2035 г.

В марте 2020 г. Президент России Владимир Путин подписал **«Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 г.»**. Основными национальными интересами в Арктике являются⁴⁶:

1. Обеспечение суверенитета и территориальной целостности РФ.
2. Сохранение Арктики как территории мира, стабильного и взаимовыгодного партнёрства.
3. Обеспечение высокого качества жизни и благосостояния населения Арктической зоны РФ.
4. Развитие Арктической зоны РФ в качестве стратегической ресурсной базы и её рациональное использование в целях ускорения экономического роста РФ.
5. Развитие Северного морского пути в качестве конкурентоспособной на мировом рынке национальной транспортной коммуникации РФ.

⁴³ Полярные интересы. Коммерсант. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4836656> (дата обращения: 26.12.2021).

⁴⁴ Canada's Arctic and Northern Policy Framework. URL: <https://www.rcaanc-cimac.gc.ca/eng/1560523306861/1560523330587> (дата обращения: 26.12.2021).

⁴⁵ The Norwegian Government's Arctic Policy. URL: https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/arctic_policy/id2830120/#tocNode_43 (дата обращения: 26.12.2021).

⁴⁶ Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 г. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 г. №164. URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/f8ZpjhpAaQ0WB1zjywn04OgKil1mAvaM.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

6. Охрана окружающей среды в Арктике, защита исконной среды обитания и традиционного образа жизни коренных малочисленных народов, проживающих на территории Арктической зоны РФ.

В октябре 2020 г. Владимир Путин подписал **«Стратегию развития Арктической зоны России и обеспечения национальной безопасности до 2035 г.»**, которая закрепляет комплекс мер по следующим направлениям развития Арктической зоны: 1) социальное развитие, 2) экономическое развитие, 3) инфраструктурное развитие, 4) развитие профильной науки и технологий, 5) охрана окружающей среды, 6) развитие международного сотрудничества, 7) защита населения и территорий от природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, 8) обеспечение общественной безопасности, 9) обеспечение военной безопасности ⁴⁷.

В марте 2021 г. Правительством была утверждена **государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации»**.

Задачами программы являются:

1. Обеспечение конкурентоспособных условий для реализации инвестиционных проектов на территории Арктической зоны Российской Федерации, создания новых рабочих мест и привлечения трудовых ресурсов в Арктическую зону Российской Федерации.

2. Обеспечение нормативно-правового регулирования социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации, создание условий для устойчивого социально-экономического развития коренных малочисленных народов Российской Федерации, проживающих в Арктической зоне Российской Федерации⁴⁸.

В рамках III Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии» прошёл **семинар для проектно-конструкторских организаций «Трансфер передовых арктических технологий для повышения надёжности»**, где обсуждались проблемы арктических сооружений, внешних нагрузок на эти сооружения, проблемы надёжности и материалов для этих материалов.

⁴⁷ Стратегия развития Арктической зоны России и обеспечения национальной безопасности до 2035 г. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. №645. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033?index=31&rangeSize=1> (дата обращения: 26.12.2021).

⁴⁸ Государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 30 марта 2021 г. №484. URL: <http://static.government.ru/media/files/bIT1JDkAw1JWhBgHy1SAZIkBRINmT3pG.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

Участники обсудили проблемы нагрузок на арктические сооружения, задачи цифрового проектирования при создании морских арктических ветроэнергетических установок.

Практический семинар был ориентирован на обмен результатами проектов последнего времени, реализованных экспертами. Спикеры обменялись рабочими кейсами по следующим направлениям:

- Преимущества использования математических моделей в проектах, где необходимо рассчитывать параметры взаимодействия объектов природы и сооружений. Новые методы позволяют с высокой вычислительной эффективностью проводить математическое моделирование динамики взаимодействия сооружения с ледовыми образованиями и статистическую обработку результатов.
- Разработка геометрической модели и алгоритма определения оптимальной пространственной формы лопасти ветрового колеса в обеспечение целевых показателей и ограничений в условиях работы в Арктической зоне и разработка параметрической цифровой CFD модели.
- Концептуальный анализ конструкций морских арктических ветроэнергетических установок с акцентом на экономическую целесообразность создания морских ВЭУ в Арктике на примерах стационарных и плавучих морских ВЭУ.
- Разработка технологий цифрового проектирования основных элементов модульной ВЭУ мощностью 100 кВт для арктических условий РФ, включая анализ программных комплексов, этапность создания технологии, параметрические цифровые модели основных элементов ВЭУ и расчёт основных элементов опорных конструкций арктической ВЭУ с применением цифровых технологий.
- Проблемы электроснабжения удалённых и труднодоступных территорий РФ (большие логистические расходы, высокая стоимость топлива, отсутствие развитой инфраструктуры, эксплуатация оборудования в суровых климатических условиях).
- Разработка фундамента ВЭУ, состоящего из полых стальных модулей, и расчёта нагрузок на него, возникающих при буревой скорости ветра.
- Подходы к работе и основные этапы анализа прочности ВЭУ в программных комплексах ANSYS и AS и демонстрация ряда примеров многопараметрических расчётов.
- Расчёт параметров, влияющих на безопасность работы плавучего сооружения в целом и систем удержания в частности, анализ ограничений устанавливаемых при проектировании ряда частных систем и методы их оптимизации.

3.2. Экологическая повестка

Основным направлением для построения новой, более чистой и эффективной энергетики в западных странах является концепция борьбы с изменениями климата и защиты окружающей среды. Многие организации и государства включают в свои программы развития экологические приоритеты, в основе которых лежат Цели ООН в области устойчивого развития⁴⁹. Несмотря на значительные различия между спецификой технологических повесток России и западных стран, Стратегия научно-технологического развития России⁵⁰ также выделяет аналогичные вызовы: «возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов» и «качественное изменение характера глобальных и локальных энергетических систем». «Россия должна стать одним из лидеров мировой экологической повестки», – Валентина Матвиенко, Председатель Совета Федерации Федерального собрания Российской Федерации⁵¹.

Необходимо вести работу по гармонизации российского экологического законодательства с соответствующей нормативно-правовой базой государств-участников СНГ, Европейского союза, других стран, считает Председатель Совета Федерации⁵².

На Западе экологическая повестка уже достаточно давно влияет на экономическую сферу. Для того, чтобы подобные изменения произошли в России, ещё понадобится определённое время. На сегодняшний день бизнес-сообщество только начинает делать первые шаги в «зелёном» направлении. Государство предлагает наилучшие доступные технологии (НДТ), «зелёные облигации», господдержку тем, кто соответствует «зелёному» тренду. Россия медленно, но встраивается в «зелёную» повестку.

Так в ноябре 2021 г. компания «Северсталь» на мировом климатическом форуме в Глазго объявила о планах развития проекта по генерации «зелёного водорода» в Карелии⁵³. По заявлению дирекции компании по направлению «инновационная декарбонизация и водород», проект позволит создать порядка 50 МВт электролизных мощностей. Предполагается, что «зелёный водород» будет экспортироваться в Финляндию

⁴⁹ Цели в области устойчивого развития ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 26.12.2021).

⁵⁰ Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 26.12.2021).

⁵¹ В. Матвиенко. Россия должна стать одним из лидеров мировой экологической повестки. Совет Федерации. URL: <http://council.gov.ru/events/news/127202/> (дата обращения: 26.12.2021).

⁵² Там же.

⁵³ «Северсталь» с партнёрами прорабатывает производство «зелёного» водорода в Карелии URL: <https://tass.ru/ekonomika/12875583> (дата обращения: 26.12.2021).

или использоваться на комплексе по добыче железной руды «Карельский окатыш»⁵⁴. Также в декабре 2021 г. «Северсталь» продала имеющиеся угольные активы в Воркуте⁵⁵.

Тема уменьшения экологической нагрузки с помощью цифровизации была затронута на круглом столе «Цифровая трансформация ЖКХ и сферы природопользования», проходившего в рамках III Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии».

На круглом столе была представлена серия проектов и успешных практик природопользования, охраны природы, целями которых являлось снижение антропогенного воздействия.

Кейсы, перспективные проекты и ключевые выводы дискуссии круглого стола:

1. Кейс: снижение антропогенного воздействия на бассейн реки Луга. Для решения проблемы предлагается организовать тщательный мониторинг состояния водного объекта на основе цифровых технологий, чтобы выявить основные факторы воздействия на водные объекты и исследовать бассейн реки Луга «от истока до моря» по всей речной системе. Результаты такой работы дадут возможность рационально использовать водный объект, вовремя экономить воду и избегать дефицита воды⁵⁶.

⁵⁴ Там же.

⁵⁵ Воркута сменила хозяина: «Северсталь» спешно избавляется от угольных активов URL: <https://nevnov.ru/region/Syktvykar/917546-vorkuta-smenila-khozyaina-severstal-speshno-izbavlyaetsya-ot-ugolnykh-aktivov> (дата обращения: 26.12.2021).

⁵⁶ Третий Международный форум «Передовые цифровые и производственные технологии»: круглый стол «Цифровая трансформация ЖКХ и сферы природопользования» <https://fea.ru/news/7973> (дата обращения: 26.12.2021)



«Я уверен, что невозможность учесть те или иные проблемы, в т. ч. экологические, связана с тем, что нет никаких данных, по которым это можно было бы спрогнозировать. При таких мощностях строительства и работы завода [речь идёт о постройке комплекса переработки этансодержащего газа в районе Усть-Луги] нет возможности оценить последствия для экологии, не имея цифровой модели».

2. Необходимость государственного регулирования для обмена данными. В первую очередь стоит задача упорядочивания всех процедур обмена данными в сфере природопользования и разработка соответствующей нормативной базы.

М.В. Болсуновская, доцент Высшей школы интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий СПбПУ



«Нормативное сопровождение должно быть обязательно. Нужен гарант, решающий вопросы о месте хранения этих данных, процедурах их передачи, формировании единого пространства, в данном случае защищённого, в котором будет проходить обработка».

3. Кейс: актуальность и перспективы создания цифрового двойника Невско-Ладожского бассейна. Внимание экспертов привлекли вопросы создания базы данных, возникновения возможных проблем во взаимодействии различных научных и государственных организаций как источников уникальных данных для модели, а также признали крайне важным обеспечение нормативно-методического и юридического сопровождения создания цифрового двойника бассейна. Было высказано предложение обратиться к правительству Ленинградской области с письмом – обоснованием целесообразности разработки цифрового двойника Невско-Ладожского бассейна, создания рабочей группы и подписания соглашений о сотрудничестве между научными и государственными учреждениями.

ГЛАВА 4. ЭКОСИСТЕМА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В СФЕРЕ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Своевременное технологическое развитие, внедрение новых производственных разработок, их масштабирование и дальнейшее совершенствование невозможны без сильного институционального обеспечения и инструментов, которые помогают заинтересованным сторонам эффективно участвовать в инновационном процессе.

В.Н. Княгинин, вице-губернатор Санкт-Петербурга



«Мир избавился от иллюзии, что мы всё перестроим в короткий срок. Ключевой вопрос в том, как соединить быстрые, иногда радикальные инновации с медленной, тягучей инерцией уже унаследованных систем. Это главная задача инженеров на ближайшее десятилетие».

Фокусом экосистемного вектора развития становятся не сами технологии или отрасли применения, а новые методы организационного обеспечения разработок и внедрения технологий высокой сложности, которые зачастую требуют детального разделения и специализации труда, длительной совместной работы консорциумов организаций и сообществ профессионалов.

Эти инструменты составляют инфраструктуру инноваций и цифровой трансформации и позволяют результативно использовать технологические новшества в текущих экономических, социальных, кадровых обстоятельствах. Именно инструментам поддержки инноваций посвящена Глава 4 Экспертно-аналитического доклада. В ней будут освещены лучшие практики построения сетевого взаимодействия, трансфера технологий, стандартизации в области передовых производственных технологий, образовательных инноваций в подготовке инженеров высокой квалификации.

4.1. Инфраструктура Национальной технологической инициативы и Живые дорожные карты Национальной технологической инициативы

Вызовы, с которым сталкиваются организации и профессионалы в области передовых цифровых и производственных технологий, связаны со сложностью – научной, технологической, организационной. Ряд задач эффективнее решать совместно, нивелировать риски и увеличивать доступный объём ресурсов и компетенций. Именно поэтому значительное внимание в мире и в России уделяется коллаборационным проектам, совместным инициативам, поиску регламентов, нормативных правил и практик работы в модели «открытых инноваций».

Д.Н. Песков, специальный представитель Президента Российской Федерации по вопросам цифрового и технологического развития



«Очень рад, что то, что мы начинали несколько лет назад, продолжает активно развиваться именно в новых направлениях технологии и промышленности. «Технет» продолжает выполнять очень важную функцию связности между отдельными рынками и новыми сквозными технологиями».

На сегодняшний момент рабочая группа (РГ) «Технет» (подробнее в Приложении 1) и развитие сквозного, кросс-отраслевого и кросс-рыночного направления «Технет» НТИ являются самыми активными по объёму проектов и масштабам деятельности. По результатам реализации первой дорожной карты «Технет» НТИ:

- Поддержаны более 150 проектов.

- Созданы шесть «Фабрик будущего»: на базе Центра НТИ СПбПУ и цифровых платформ CML-Bench™, CML-CAR, CML-EV, на базе ПАО «ОДК-Сатурн» (ОДК, «Ростех»), АО «Диаконт», АО СНСЗ (ОСК), ООО «УДМЗ» («Синара – Транспортные Машины»).
- Сформировано сообщество «Технет», объединяющее более 250 организаций.
- Созданы Инфраструктурный центр и Ассоциация «Технет».
- Разработаны, утверждены и ведутся работы в рамках двух корпоративных дорожных карт («Технет – ОДК», «Технет – ТВЭЛ»).
- Реализован целый ряд образовательных программ, инициатив и проектов по аналитическому и методологическому обеспечению, технической экспертизе. Большая работа по преодолению нормативных барьеров ведётся в рамках «нормативной дорожной карты» (ДК «Технет 2.0» НТИ, принята Распоряжением Правительства РФ №482-р от 23.03.2018 и Распоряжением Правительства РФ № 1420-р от 28.05.2020).
- В рамках направления «Технет» НТИ создано пять Центров компетенций НТИ: Центр НТИ «Новые производственные технологии» на базе Института передовых производственных технологий СПбПУ, Центр НТИ «Сенсорика» на базе МИЭТ, Центр НТИ «Технологии компонентов робототехники и мехатроники» на базе Университета Иннополис, Центр компетенций «Технологии беспроводной связи и «Интернета вещей» на базе Сколтеха, Центр НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также центры компетенций новой волны (см. табл. 1).

Для воплощения предложений новой редакции дорожной карты «Технет 4.0» планируется создать или развить ряд российских платформенных решений, сформировать защищённую среду цифрового взаимодействия, принять необходимые нормативно-правовые акты и стандарты и обеспечить подготовку достаточного числа специалистов. Для внедрения практики применения передовых производственных технологий к декабрю 2021 г. реализуется 13 «зеркальных» инжиниринговых центров (ЗИЦ), а сопутствующие образовательные программы появятся не менее чем в 40 вузах (подробнее в Приложении 2).

Осенью 2021 г. состоялся конкурсный отбор новых центров компетенций Национальной технологической инициативы по пяти направлениям.

А.Д. Фертман, заместитель лидера (соруководителя) РГ «Технет» НТИ, директор по науке, технологиям и образованию Фонда «Сколково»



«Программа поддержки центров компетенций НТИ – лучшее, что сегодня содержательно происходит в НТИ».

Таблица 1. Фокусировка новых центров НТИ

Название	Головная организация и состав партнёров консорциума	Основные рынки НТИ	Описание
Центр компетенций НТИ по направлению «Технологии доверенного взаимодействия»	Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. В консорциум Центра вошли 13 организаций, среди которых 7 вузов и научных организаций, 1 некоммерческая организация и 5 коммерческих компаний.	Все рынки НТИ	Специализация центра – доверенные системы на основе аппаратно-программных комплексов, интеллектуальные системы доверенного взаимодействия, доверенные системы с использованием квантовых технологий и криптографии.
Центр компетенций НТИ по направлению «Технологии моделирования и разработки функциональных материалов с заданными свойствами»	Новосибирский национальный исследовательский государственный университет. В консорциум вошли 6 научных организаций, 7 вузов, 12 предприятий.	Все рынки НТИ	В этом Центре будут разрабатываться новые материалы, свойства которых будут определены за счёт целенаправленного создания и управления структурой такого материала на микроуровне. Центр займётся разработкой широкого спектра материалов, а также технологиями управления производством материалов, в т. ч. с использованием

Название	Головная организация и состав партнёров консорциума	Основные рынки НТИ	Описание
			цифровых методов.
Центр компетенций НТИ по направлению «Водородные технологии»	Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова» Сибирского отделения РАН. В консорциум Центра входит 10 институтов РАН, 13 вузов, 10 промышленных компаний.	Автонет, Маринет, Технет, Энерджинет	В числе ключевых проектов Центра – «Водородная заправка», «Биоводород для генерации электроэнергии», «Водород для Е-химии и Е-топлив как основа низкоуглеродной экономики», «Крупнотоннажный водород для низкоуглеродной экономики».
Центр компетенций НТИ по направлению «Бионическая инженерия в медицине»	Самарский государственный медицинский университет Минздрава России. В состав консорциума Центра компетенций НТИ на базе СамГМУ вошли 10 ведущих университетов, 3 института РАН, 3 сервисные организации и технологические компании.	Хелснет и Нейронет	Основная цель Центра – преодоление барьеров в биомедицине в глобальном масштабе, разработка глобально конкурентоспособных технологий для запуска быстрорастущих компаний в сфере биомедицины.

Название	Головная организация и состав партнёров консорциума	Основные рынки НТИ	Описание
Центр компетенций НТИ по направлению «Молекулярная инженерия в науках о жизни»	ФИЦ Биотехнологии РАН. Консорциум объединяет 4 университета, 15 промышленных компаний из сферы пищевой и перерабатывающей промышленности, фармацевтики, сельского хозяйства, ветеринарии и зелёной химии.	Фуднет, Хелснет	Центр будет развивать технологии и создавать платформы для молекулярного инжиниринга новых экспрессных диагностических систем, пищевых продуктов нового поколения, лекарств и биодобавок.

Новые центры станут одними из ключевых партнёров рабочей группы «Технет», поэтому ключевая задача сейчас – выработать форматы взаимодействия и дополнить обновлённую дорожную карту «Технет 4.0.» (передовые производственные технологии) НТИ мероприятиями, актуальными для новых центров. Опираясь на предыдущий опыт работы центров компетенций, уже прорабатываются организационные реформы, например, включение представителей рабочих групп рынков НТИ в состав наблюдательных советов создаваемых центров компетенций НТИ.

Методология живых дорожных карт

Во второй половине 2021 г. Центр НТИ СПбПУ при поддержке Ассоциации «Технет» разработали методологию создания и сопровождения **живых дорожных карт (ЖДК)** совместно с АНО «Платформа НТИ».

Необходимость актуализации методической основы назрела в связи с масштабированием деятельности сообществ НТИ и нарастающей скоростью изменений на глобальных целевых рынках технологий и продуктов.

Непрерывность процесса инноваций потребовала такой модели разработки планов развития, которая бы обеспечивала своевременность сутевых обновлений, близкую к реальному времени. В ближайшее время решается вопрос о том, как будет развиваться новый сервис «Живых дорожных карт».

Живая дорожная карта – модель разработки и актуализации «дорожных карт»

рынков НТИ, сквозных технологий НТИ и регионов НТИ, основанная на непрерывном процессе обновления дорожных карт, обеспечивающая прозрачность и единую логику работы сообщества НТИ.

АНО «Платформа Национальной технологической инициативы» запустила совместное коллективное проактивное конструирование будущего участниками рынков, которые на сегодня рынками ещё не являются. Для такого подхода необходимо постоянное обновление документов стратегического планирования. Практика показала, что тренды, события, прогнозы динамично меняются, а формат документов не позволяет оперативно вносить эти изменения. При этом бюрократическая нагрузка может демотивировать рыночных участников рабочих групп.

Была поставлена задача найти информационно-коммуникационный инструмент, который бы позволил интерактивно актуализировать дорожные карты, описывающие процессы развития рынка. Требования к инструменту:

- собирать и пересобирать документ оперативно в мультимедийной среде;
- иметь возможность формировать планы, инфографику, подгружать аналитику;
- сохранять версию;
- иметь разные уровни доступа.

После анализа зарубежных бенчмарков и аналогов в качестве базового инструмента остановились на системе для хранения программного кода GitLab.

Архитектура системы живой дорожной карты

Национальная
технологическая инициатива

GitLab (ключевая платформа)

- Контроль версий живых дорожных карт
- Сбор предложений по изменениям живых дорожных карт
- Модерация, обсуждение и утверждение / отклонение изменений в живых дорожных картах



Obsidian

- Формирование локальных репозитория живых дорожных карт
- Внесение и отправка предлагаемых изменений в удаленный репозиторий живых дорожных карт
- Создание системы разметки для перемещения между разделами живых дорожных карт
- Поиск информации по системе ссылок и хэштегов



SourceTree

- Технологическое сопровождение процесса формирования локального репозитория
- Синхронизация изменений в локальном и удаленном репозитории
- Обеспечение взаимосвязи между инструментами GitLab и Obsidian



Рисунок 7. Архитектура инструмента формирования ЖДК

Задачи разработки ЖДК:

- выработать механизм непрерывного обновления дорожных карт рынков НТИ в рамках единой платформы;
- определить стандартную сквозную структуру содержания дорожных карт;
- сформировать инструменты и пространство для сборки и актуализации дорожных карт рынков, сквозных технологий и регионов НТИ с учётом структуры каждого из типов живых дорожных карт;
- обеспечить вовлечение предпринимательского сообщества в процесс формирования дорожных карт НТИ;
- организовать прозрачный и понятный доступ к дорожным картам широкому кругу предпринимателей
- создать инструменты определения ответственных за реализацию мероприятий дорожных карт, а также систему КПЭ.

Принципы формирования живых дорожных карт НТИ:

1. Зонтичный принцип объединения/формирования ЖДК.
2. Двухнаправленность процесса формирования ЖДК: снизу и сверху.
3. Взаимосвязь актуальных целей, ориентиров, шагов, результатов реализации в ЖДК, использование ссылок и хэштегов.
4. Сквозная изменяемость разделов ЖДК, обеспечивающая одновременное обновление взаимосвязанных разделов различных ЖДК.
5. Наличие в ЖДК результата мониторинга реализации мероприятий, актуальной статистической и аналитической информации по тематике ЖДК.
6. Возможность внести предложения изменений в ЖДК и наличие системы модерации по рассмотрению и утверждению изменений.
7. Ведение ЖДК в цифровом виде с использованием специализированного ПО.
8. Контроль версий ЖДК и вносимых изменений, учёт авторов изменений.

Планы развития ЖДК в краткосрочной перспективе:

1. В 2021 г.:
 - популяризация сервиса, организация встреч с рабочими группами рынков НТИ, сквозных технологий, регионов;
 - создание и загрузка трёх карт рынков НТИ, в т. ч. «Технет».
2. В 2022 г:

- поддержка сервиса, выстраивание работы ИТ-оператора и системы модерации;
- использование ЖДК для всех форсайтов;
- запуск сервиса аналитики для понимания объёма активного сообщества, частоты генерации предложений, отклонений, редакций.

Направления совершенствования инструмента ЖДК:

1. Сформировать модель взаимодействия представителей рынков НТИ по формированию ЖДК.
2. Проработать опции отмены версии, возможность пересмотра со стороны сообщества.
3. Внедрить систему отслеживания общей картины для понимания вектора изменений и отдельных характеристик рынков, денежных потоков.
4. В систему формирования дорожных карт регионов включить предприятия.

4.2. Университеты и трансфер технологий

Механизмы и эффективные бизнес-модели трансфера технологий из университетов на предприятия – одна из системных проблем, которую решает сообщество, заинтересованное в инновационном росте. На пути технологической разработки к внедрению проходит множество этапов адаптации решения, и на каждом существуют критические угрозы, воплощение которых может закрыть технологии ход на рынок и к широкому применению. Университеты берут на себя функцию доращивания технологий до той стадии зрелости, на которой нивелированы риски раннего этапа разработки.

Согласно **Постановлению Правительства России от 16 июня 2021 г. №916**⁵⁷, университеты и научные организации смогут получать гранты на создание и развитие центров трансфера технологий (ЦТТ). В связи с этим актуализируется дискуссия о том, как наиболее эффективно осуществлять трансфер технологий из университетов.

⁵⁷ Постановление Правительства РФ от 16 июня 2021 г. № 916 «Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета грантов в форме субсидий на оказание государственной поддержки создания и развития центров трансфера технологий, осуществляющих коммерциализацию результатов интеллектуальной деятельности научных организаций и образовательных организаций высшего образования». URL: <http://static.government.ru/media/files/4nDnd4UfC1BDrAEV3aT0dFLQf2MnHLo.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

Н.Г. Терлыга, заместитель первого проректора, начальник управления инновационной деятельности УрФУ



«Наше предложение – нужна работа по культурному коду в целях трансфера технологий. Деньги гранта [грант Правительства России на создание и развитие ЦТТ] нужны на то, чтобы менять в людях восприятие этой деятельности, через цикл специально организованных мероприятий».

Вызовом как для государства, так и для профессионального сообщества в этой сфере является создание системы масштабной работы с результатами интеллектуальной деятельности.

Помимо выстраивания процесса трансфера технологий и становления профильного подразделения в отдельном университете, необходим обмен лучшими практиками и коммуникация между университетами и их ЦТТ, в т. ч.:

1. Обмен лучшими практиками, удачами и неудачами с точки зрения коммерциализации РИДов.
2. Знакомство друг с другом в рамках горизонтальных компетенций для формирования междисциплинарных команд под проект.
3. Трансфер технологий из университета в университет.

Текущая проблематика в области трансфера технологий по материалам дискуссии в рамках обмена практическими кейсами «Центры трансфера технологий: Что нужно, чтобы трансфер технологий из вузов был эффективным?» в рамках Третьего Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии»:

1. Системные проблемы:

- **Отсутствует культура вкладываться в будущие разработки** как на уровне университетов, так и на уровне предпринимателей. Стратегический фокус сдвинут на кратко- и среднесрочную перспективу, в связи с чем технологические разработки, требующие длительного цикла, не рассматриваются как перспективное вложение.
- **Отсутствует единая система трансфера и коммерциализации технологий.** Собран большой пласт экспертизы, удачных практик, методических рекомендаций о том, как работать с сетями, как финансировать, как продвигать разработки⁵⁸. Однако **нет единообразного способа взаимодействия** между проектом, который ищет деньги, и компанией, которая ищет соответствующие технологии.
- **Цепочка трансфера технологий развита неравномерно.** На одной стороне цепочки – технологии, которые создаются в университетах или иных научных лабораториях. Там можно найти инженера, маркетолога, объединяющую продуктовую идею, а затем создать прототип решения, который предлагается большой корпорации. Однако такая концепция не работает, кейсов реализации трансфера по такому пути практически нет. На другой стороне цепочки – компании-потребители технологий, со своими задачами и техническими требованиями.
- **Недостаточность нормативов и регламентов**, а, как следствие, неумение отчуждать интеллектуальную собственность. Отсутствие в России эффективной системы лицензирования.
- **Не развита практика коммерциализации технологии.** Есть инерция деятельности, которая приводит к тому, что разработки заканчиваются на ранних этапах TRL.

2. Проблемы на уровне университетов:

- **Отсутствуют матрицы компетенций университетов.** Наличие таких матриц позволяло бы университетам системно выстраивать коммуникационную стратегию с индустриальным сектором, предлагая конкретные решения в очерченном круге отраслей. При этом систематизировать данные о компетенциях даже среднего по размерам университета крайне сложно.
- **Недостаточно инфраструктур и специалистов, которые профессионально занимаются трансфером технологий – техноброкеров, скаутов, технопредпринимателей.** На верхнем уровне направления фокусировки и специализация университета пересекаются

⁵⁸ Например, на сайте Национальной Ассоциации трансфера технологий, URL: <https://rusnatt.ru/> (дата обращения: 26.12.2021).

с сетью партнёров университета. На узлах этой сети партнёров, в точках взаимодействия должны появляться специальные акторы, занимающиеся процессом трансфера.

- **Инфраструктура и компетенции есть, но воспроизводимая деятельность по трансферу не складывается.** В таком случае следует искать корни проблемы в бизнес-модели подразделения университета, которое занимается трансфером – конкретных практиках, используемых инструментах и их комбинации.

- **Проблема горизонтальной дискommunikации и обособленности коллективов.** Важно выстраивать коммуникацию между учёными и предпринимателями, эксплуатантами решений через междисциплинарные проекты, что позволит сформировать общий язык общения в процессе трансфера технологии.

- **Недостаточность нормативов и регламентов, а как следствие на уровне университетов:**

- нет механизма мотивации создавать стартап, если в проекте не предполагается лицензионного соглашения об использовании интеллектуальной собственности;

- слабые патенты и их защита.

- **Кадровый голод в научной сфере – недостаточность стартовой стадии трансфера.** Низкая доля НПР университетов и студентов, занятых в науке и инновациях; низкая скорость и объём притока талантов, малое количество стартапов.

- **Нет пространства для деятельности по коммерциализации,** в т. ч. потому, что деятельность по трансферу и коммерциализации не являлась базовой для университета. В предыдущем периоде развития университеты осуществляли в первую очередь образовательную функцию, во вторую – научную. Сегодня необходим пересмотр всей бизнес-модели университета в связи с новыми задачами.

- **Слабая мотивация научных и педагогических кадров на доходы от реализации РИД**

Существующие практики трансфера технологий в университетах:

- Коммерциализация объектов исследовательской деятельности в университете, продажа доли в малых инновационных предприятиях, созданных при участии университетов.

- Система центров компетенций, которые продают сервисы или продукты.

- Система технологического предпринимательства (акселерация, фонды).

- Поток заказов на ОКР и выстраивание контрактных отношений с индустриальным сектором.

- Система лицензирования результатов интеллектуальной деятельности.

- Консультационная модель: университет выступает как советник по патентному ландшафту, ищет свободные ниши и перспективные направления разработок.

Первостепенные шаги в университете по развитию трансфера:

- Охват разных стадий TRL и понимание, для каких приоритетов они актуальны.
- Умение формировать эффективные междисциплинарные команды. Для этого необходима постоянная работа на вовлечение в работу по трансферу технологий студентов и сотрудников – как научного, так и преподавательского профиля.
- Развитие коммуникационных компетенций на всех уровнях. Результатом являются не только специалисты, которые выбирают такие профессии как техноброкер, но и те, кто внутри университета становятся скаутами, наставниками. Они помогают развивать компетенции у остальных коллег.
- Формирование у учёных понимания того, как работает рынок, каким образом общаться с представителями рынка, как применять предпринимательский подход, как осуществляется проверка рыночных гипотез.
- В фокусе коммуникации между сторонами должно быть ценностное предложение.
- Стимулирование мотивации и помощь в целеполагании для коллективов, вовлечённых в деятельность по трансферу и техноброкерству. Необходимо разделять фундаментальную и прикладную науку. Специалисты, занимающиеся прикладной наукой, должны ориентироваться на её практическую применимость и сопутствующий экономический эффект.

Программа университетских стартап-студий

Минобрнауки России в 2022 г. будет курировать создание Платформы университетского технологического предпринимательства и сети университетских стартап-студий.

Инициатива поддержит не менее 30 тыс. новых университетских стартапов и создаст 150 тыс. высокотехнологичных рабочих мест.

На пилотном этапе, с 2022 по 2024 гг., будет запущена сеть из 15-ти стартап-студий. Базовая деятельность новой инфраструктуры – обучать команды, формировать и внедрять систему бизнес-процессов, обеспечивающих серийное создание стартапов на рынках технологических продуктов. Основная их задача – помочь командам технологических энтузиастов вывести свои продукты на рынок.

4.3. Современное инженерное образование и тренды его развития

В системе образования в целом, и в университетской системе в частности предстоят значительные изменения, вызванные эволюцией технологической среды, рынка труда и государственной политики. Признание необходимости изменений и готовность эти изменения произвести является конкурентным преимуществом.

В данном разделе доклада представлены концепции и кейсы, которые помогают двигаться в сторону реформ нового типа в образовательном процессе.

Готовность университета рассматривать достаточно новые для длительной истории российского образования концепцию компетентностного образования, проблематику «твёрдых» и «мягких» навыков, дистанционных курсов и иных педагогических инноваций демонстрирует способность найти своё место на меняющемся рынке подготовки специалистов для ведущих технологических отраслей экономики и главных направлений в российской науке.

Вопрос подготовки инженеров высокой квалификации, компетенции которых соответствуют задачам современной промышленности, поднят на самом высоком государственном уровне. В результате Минобрнауки России был сформирован федеральный проект «Передовые инженерные школы», а в ноябре 2021 г. подготовлен проект постановления Правительства Российской Федерации «О мерах государственной поддержки создания и развития передовых инженерных школ в партнёрстве с высокотехнологичными компаниями»⁵⁹.

⁵⁹ Паспорт проекта «О мерах государственной поддержки создания и развития передовых инженерных школ в партнёрстве с высокотехнологичными компаниями», URL: <https://regulation.gov.ru/projects#npa=122132> (дата обращения: 26.12.2021).

Инженерные школы при поддержке Минобрнауки России

Начиная с 2022 г. запланировано создание 30 инженерных школ на базе университетов, которые должны работать в партнёрстве с крупными компаниями и на базе их высокотехнологичных программ и проектов – РЖД, Росатом, Ростех, «Корпорация «Иркут» и др.

Предполагается изменение модели инженерной подготовки в сторону более широких инженерно-экономических компетенций. Выпускники университетов будут понимать предмет не только с технической стороны, но и со стороны экономики производств и рыночных перспектив продукта.

Приоритетными для передовых инженерных школ станут отрасли, в которых наиболее остро стоит вопрос кадрового обеспечения – это ИТ и связь, энергетика, транспорт, биотехнологии, электроника, космос.

А.В. Липис, директор института ИТ, заведующий кафедрой вычислительной техники и информационных технологий СПбГМУ



Обычного инженера можно подготовить за короткий срок, но для подготовки элитных специалистов, способных удерживать и технологическую и экономическую логику, – требуется очень много времени.

Тем не менее, на пути внедрения образовательных инноваций организационных вызовов. Главные проблемы подготовки специалистов будущего лежат в изменении методов подготовки, а не просто в дополнении традиционных лекционных курсов новым материалом.

Ключевым в данном аспекте является признание необходимости обучения компетенциям отдельно от традиционной передачи знаний, а также фокусе на прикладных навыках решения задач промышленности совместно с командами заказчика.

Требования к подготовке инженерных специалистов от организаций реального сектора экономики:

- Организация совместных образовательных программ в кооперации университетов, корпораций, подразделений РАН;
- Создание курсов ДПО по интересным направлениям для студентов образовательных программ;
- Вовлечение студентов в реальные, а не учебные задания от предприятий;
- Раннее вовлечение студентов в проектную деятельность;
- Обучение с использованием как зарубежных, так и российских инструментов проектирования и цифрового моделирования;
- Кооперация с зарубежными партнёрами, университетами и компаниями;
- Увеличение объёма подготовки по внутренним, “тяжёлым” инженерным системам, таким как суперкомпьютеры (не на уровне software, а на уровне hardware).

Кейс. Новое подразделение СПбМТУ «Факультет цифровых промышленных технологий»⁶⁰

Актуальность создания нового факультета:

- Отсутствие «цифрового мышления» у руководителей предприятий судостроительной отрасли.
- Необходимость подготовки специалистов со смешанной специализацией в области судостроения и цифровых технологий.

Опора на уникальные проекты цифрового проектирования и производства – создаётся модель «цифровой верфи», связанная с глубокой модернизацией Онежского судостроительного завода. Сейчас строятся новые производственные мощности

⁶⁰ Официальный сайт Факультета цифровых промышленных технологий СПбМТУ, <https://www.smtu.ru/ru/viewfaculty/12/> (дата обращения: 26.12.2021).

предприятия – это уникальный проект, который требует кадрового, технологического обеспечения и является актуальным кейсом для подготовки специалистов в области цифровых технологий в судостроении.

Задача факультета – дать отрасли инженеров, в совершенстве владеющих как классическими методами проектирования и постройки судов, так и инновационными цифровыми технологиями «Индустрии 4.0» и лучшими мировыми практиками их применения. Выпускники факультета цифровых промышленных технологий станут бесспорными лидерами в разработке и внедрении самых современных цифровых технологий.

Факультет создан **на базе кафедр**: вычислительной техники и информационных технологий, прикладной математики и математического моделирования, компьютерной графики и информационного права, морской электроники. Кроме того, на факультете созданы четыре новые кафедры – производственных цифровых и лазерных технологий, киберфизических систем, когнитивного производства и защиты информации.

Технологическими партнёрами факультета уже стали ведущие зарубежные и отечественные компании-разработчики цифровых промышленных технологий – IBM, Dassault Systemes, SAP, Phoenix Contact, LMS, Hexagon Manufacturing Intelligence, Консорциум «РазВИТие», компания «Бизнес Технологии».

Концепция Индустрии 4.0, согласно которой современное общество и экономика переходят на цифровые процессы, стала отправной точкой для поиска новой образовательной парадигмы. Ответом на этот поиск со стороны Института передовых производственных технологий СПбПУ Петра Великого стала интерпретация концепции Университета 4.0 – исследовательского и образовательного хаба, который обеспечивает формирование кадрового и научного потенциала в соответствии с основными направлениями социально-экономического развития Российской Федерации.

В.А. Левенцов, директор института передовых производственных технологий
Центра НТИ «Новые производственные технологии» СПбПУ



«Университет 4.0. способен взять на себя решение задач-вызовов государственного значения, которые не может решить промышленность».

Модель подготовки инженеров-лидеров в Институте передовых производственных технологий СПбПУ Петра Великого

Институт передовых производственных технологий создан в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого в 2015 г. как институт-лидер в области развития и применения передовых производственных технологий, сфокусированный на подготовке глобально конкурентоспособных специалистов, инженерного «спецназа», обладающего компетенциями мирового уровня.

Институт передовых производственных технологий образован на базе передового российского инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» СПбПУ, имеющего многолетний опыт выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по заказам ведущих отечественных и зарубежных компаний, что обеспечивает практическую ориентированность обучения и участие студентов в выполнении реальных НИОКР по заказам промышленности уже на старших курсах.

Выпускники Института востребованы в российских и зарубежных исследовательских и инжиниринговых центрах, а также на предприятиях высокотехнологичной промышленности на должностях ведущего инженера, начальника расчётного отдела, директора департамента, главного инженера проекта, гарантирующих высокий и стабильный доход сразу после окончания университета.

Задачи Университета 4.0. по модели, разработанной в Институте передовых производственных технологий СПбПУ Петра Великого

1. Установление качественно новой взаимосвязи образования, науки и промышленности, развитие системы эффективного взаимодействия университета с ведущими отечественными и зарубежными научно-образовательными организациями и высокотехнологичными компаниями.

2. Развитие и совершенствование политехнической модели инженерного образования и выполнения научных исследований, обеспечивающей высокое качество подготовки всесторонне развитых, высококвалифицированных и глобально конкурентоспособных специалистов.

3. Опережающая подготовка научно-технических кадров, обладающих компетенциями мирового уровня на основе интеграции образовательного процесса с исследованиями и разработками по приоритетным направлениям развития с целью обеспечения конкурентоспособности и в интересах высокотехнологичных отраслей национальной экономики.

4. Развитие кадрового потенциала университета, привлечение и вовлечение в научно-исследовательскую деятельность талантливой молодёжи путём налаживания связей между проектами развития человеческих ресурсов, создания комфортной среды для научно-технического творчества молодёжи и междисциплинарных научно-исследовательских проектов.

5. Развитие предпринимательской инициативы, создание и развитие системы коммерциализации результатов научных исследований и разработок университета для обеспечения формирования устойчивого потока финансирования, независимого от бюджетного.

Примеры магистерских программ в рамках концепции Университета 4.0 приведены в Приложении 3.

4.4. Стандартизация

Создание стандартов в области передовых цифровых и производственных технологий – неотъемлемая часть процесса внедрения соответствующего пакета разработок и становления рынков. Любой передовой опыт в какой-то момент должен быть обобщён, генерализован и сохранён для использования следующими поколениями разработчиков и пользователей. Это обеспечивает воспроизводимость и качество результатов, а значит – безопасность и конкурентоспособность продуктов.

А.В. Самарин, глава Группы реализации проекта «Цифровой банк БРИКС»



«С помощью референсных архитектур мы создаём, тиражируем и масштабируем уникальную систему. Понятно, что каждое изделие уникально, и мы это делаем из типовых цифровых платформ и специализированных решений. Почему в нашей стране это очень важно? Большая страна, федеративное устройство: есть много небольших вариаций. Как раз с помощью цифры эти вариации можно очень легко принять во внимание и учесть комбинации стандартного и специального».

Согласно определению Росстандарта, «стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг»⁶¹.

Утверждённый в 2021 г. ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» выступает на данный момент передовой практикой в стандартизации, опережая работу международного уровня.

Создание серии стандартов ГОСТ Р 57700 началось ещё в 2017 г., однако 2021 г. можно считать прорывным в стандартизации, поскольку **впервые в мире** введён нормативный документ, сфокусированный на создании изделий с помощью технологии

⁶¹ Стандартизация. URL: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/standardization> (дата обращения: 26.12.2021).

цифровых двойников, а не на оцифровке производственной инфраструктуры и логистики, и устанавливается соответствующее единое определение «цифрового двойника изделия».

Впервые за последние годы **зашла речь об экспорте стандарта** в другие страны. Работа по обновлению этой серии продолжается, поскольку был создан стандарт по цифровым двойникам, за которым наступает время разработки отраслевых редакций, а также потребуется гармонизация терминов по ряду смежных стандартов.

Несмотря на успех, перед отраслью стоит ряд не менее амбициозных задач, озвученных участниками круглого стола «Цифровые двойники: развитие стандартизации» в рамках Третьего Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии»:

1. Задача по масштабированию практики использования цифровых двойников. Минпромторг России и всё сообщество передовых производственных компаний заинтересованы в продолжении работы по стандартизации и по популяризации технологии цифровых двойников как фронта и фундамента будущей конкурентоспособности промышленности. Необходимо формировать и воплощать организационные предложения от экспертного сообщества о том, как увеличить количество разрабатываемых цифровых двойников, как внедрять новую философию на производствах и в конструкторских бюро, как создать экосистему на предприятии, которая будет работать в рамках этой философии.

О.Н. Рязанцев, заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации



«Что нужно сегодня, чтобы как можно больше применялись технологии цифровых двойников, технологии расчётного моделирования в повседневной практике

конструкторских бюро и наших заводов? Потому что мы всё-таки должны понимать, что в недостаточной пока степени мы применяем этот уровень технологий, его нужно дальше развивать»⁶².

2. Задача цифровизации области стандартизации. Речь идёт о применении умных стандартов/смарт-стандартов, которые, с одной стороны, обеспечат человека, принимающего решение, необходимой информацией и требованиями, а с другой стороны – будут изложены машиночитаемым, машинопонимаемым языком. Кроме того, когда человек проектирует будущее изделие, он создаёт модель. Значит, нормативные требования, изложенные в различных документах, должны быть собраны и привязаны к моделям, которые создаёт человек. Модели должны понимать требования и соответствовать им. Эта задача стандартизации вызывает необходимость учиться оцифровывать все виды объектов.

С.Г. Тихомиров, президент Консорциума «Кодекс»



«Цифровая трансформация накладывает свой отпечаток и на тему стандартизации. Стандарты тоже должны поменяться в цифровую сторону, стать цифровыми стандартами. Эта тема цифровых стандартов, машиночитаемых стандартов, смарт-стандартов сейчас активно обсуждается и за рубежом, и у нас в России тоже».

3. Задача синхронизации деятельности разных рабочих групп и формирование онтологических стандартов. Решением может стать инициатива по формированию специальной рабочей группы либо регламентация взаимодействия между ТК Росстандарта на рабочем уровне. Необходим механизм, который позволит согласовывать

⁶² В рамках круглого стола «Цифровые двойники: развитие стандартизации» III Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии».

разрабатываемые стандарты, планы по разработке, не нагружая и не задерживая сам процесс, вовлекая председателей ТК и отдельных представителей заинтересованных крупных федеральных органов и организаций.

4. Задача вывода передовой практики стандартизации на международный уровень. Результаты, достигнутые ТК 700, СПбПУ и РФЯЦ ВНИИЭФ, позволяют строить планы на трансфер как опыта разработки стандарта в новой технологической области, так и на экспорт самого стандарта в международную практику.

Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»

16 сентября 2021 г. приказом № 979–ст руководителя Росстандарта А.П. Шалаева был утверждён национальный стандарт Российской Федерации – ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения». Работа по созданию стандарта велась в техническом комитете ТК 700 Росстандарта «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии» под председательством заместителя министра промышленности и торговли России Олега Николаевича Рязанцева. Этому предшествовали исследования всех стандартов в мире, которые затрагивали область численного моделирования.

Национальный стандарт продолжает уникальную серию стандартов ГОСТ Р 57700. Первые документы серии появились в 2017 г., а на сегодняшний день она объединяет уже более 25 документов по стандартизации и формирует систему нормативных технических требований для применения компьютерных моделей и виртуальных испытаний в процессе создания и обеспечения эксплуатации высокотехнологичных промышленных изделий, в т. ч. военной техники. В планах разработка ещё 37 стандартов.

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО ОПРОСА ПО ТЕМАТИКЕ РАЗВИТИЯ «ПЕРЕДОВЫХ ЦИФРОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

В рамках подготовки к III Международному форуму «Передовые цифровые и производственные технологии» участникам было предложено пройти экспертный опрос, посвящённый определению уровня развития технологий ПЦиПТ как на российских, так и на зарубежных предприятиях, готовности предприятий внедрять технологии ПЦиПТ, а также исследованию того, как экспертное сообщество видит экономические эффекты от внедрения той или иной технологии ПЦиПТ.

5.1. Выборка аудитории опроса

В экспертном опросе приняли участие 65 специалистов различных технологических направлений, представленных на рис. 8.

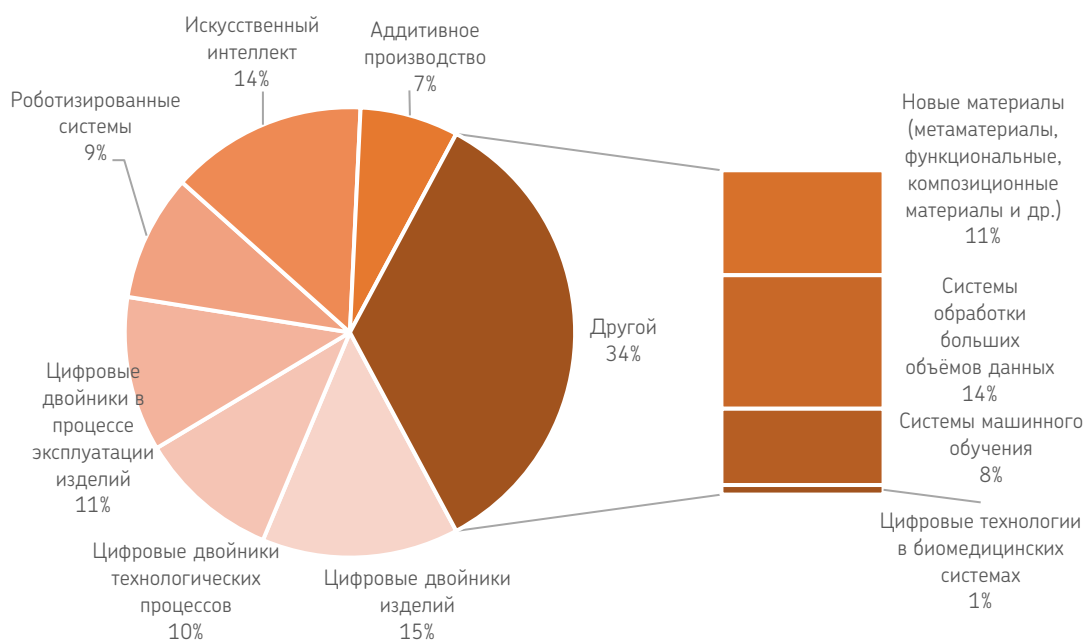


Рисунок 8. Распределение экспертов по областям технологий

Наибольшее количество экспертов, принявших участие в опросе, относится к областям «Цифровые двойники изделий» (15%), «Искусственный интеллект» (14%) и «Системы обработки больших данных» (14%).

5.2. Оценка готовности применения передовых цифровых и производственных технологий в различных отраслях промышленности

Ниже представлена разница экспертных мнений относительно использования ПЦиПТ российскими и зарубежными предприятиями.



Рисунок 9. Использование технологий ПЦиПТ российскими предприятиями.

Согласно рис. 9 на российских предприятиях активно внедряют систем обработки больших данных, роботизированные системы и новые материалы. Данные технологии входят в тройку лидеров по итогам опроса, в свою очередь экспертное сообщество оценивает цифровые двойники в процессе эксплуатации изделий и цифровые двойники технологических процессов как технологии, где нет доступных готовых решений.

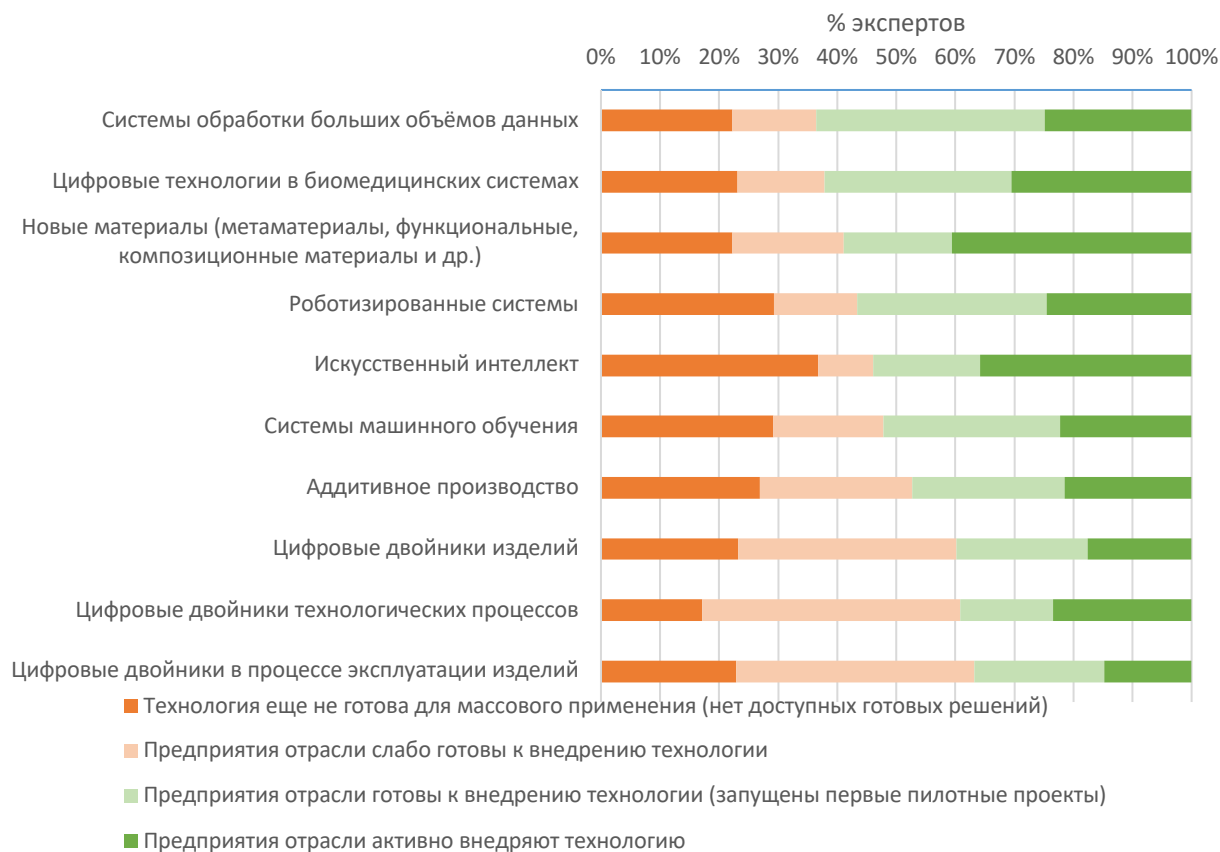


Рисунок 10. Использование технологий ПЦиПТ зарубежными предприятиями (внедряемые технологии)

Согласно рис. 10 ситуация на зарубежных предприятиях (по оценке прошедшего опрос экспертного сообщества) отличается тем, что первое место удерживает ИИ, прошедшее опрос экспертное сообщество аналогично оценивает цифровые двойники в процессе эксплуатации изделий и цифровые двойники технологических процессов и за рубежом с той разницей, что там больший акцент делается на неготовность самих предприятий.

Результаты опроса экспертов требуют дополнительного исследования, но, возможно, указывают на меньший уровень популяризации и разъяснения технологий ПЦиПТ в России в сравнении с зарубежными компаниями, в частности, количество технологий ПЦиПТ, не готовых к внедрению и использованию в России и за рубежом, оценивается как находящееся на схожем уровне, однако, количество пилотных проектов и уровень адаптации технологий ПЦиПТ (особенно для цифровых двойников) за рубежом оценивается выше.

5.3. Эффекты от внедрения передовых цифровых и производственных технологий

Основными эффектами внедрения ПЦиПТ в промышленность экспертами заявлены экономические эффекты, снижение затрат и времени на разработку/производство продукции, что соответствует классическому восприятию ПЦиПТ. Новые возможности адаптации к изменениям рынка и построение новых бизнес-моделей, как и достижение принципиально новых потребительских качеств продукции пока что воспринимаются сообществом как побочный эффект.



Рисунок 11. Эффекты внедрения ПЦиПТ в промышленность

Полученные результаты указывают на восприятие технологий ПЦиПТ в экспертном сообществе как утилитарное средство экономической оптимизации, позволяющее повысить рентабельность и увеличить прибыли, что подтверждается оценками вариантов «Сокращение затрат/времени на разработку/производство продукции», однако, возможности по снижению издержек на ремонт и обслуживание отмечаются как наименее востребованный эффект. Подобное расхождение и невысокие относительные результаты ПЦиПТ в области реформирования и создания новых бизнес-моделей и прорывных продуктов можно объяснить недостаточностью информационной поддержки технологий ПЦиПТ, освещения достигнутых результатов и успешных мировых кейсов.

Отдельно, экспертами были выделены следующие, дополнительные положительные эффекты:

1. Обеспечение рентабельности мелкосерийного производства.

2. Прозрачность всех процессов, полная автоматизация всех рутинных процессов.
3. Оптимизация организации цифровизации производства.
4. Возможность производства только требуемого продукта, рост научного развития.
5. Новые кадровые запросы.
6. Оперативный обмен технологиями.
7. Системная аналитика работы предприятий, прошедших цифровую трансформацию.
8. Снижение количества и стоимости ошибок.
9. Радикальное повышение уровня квалификации персонала.
10. Повышение уровней долговечности конструкций и их безопасности.
11. Оптимизация доступности под разные социальные слои.
12. Смена самого подхода к проектированию изделий и технологических линий, а вместе с ним и мышления руководства: оно становится более гибким, что очень важно в условиях меняющегося рынка и окружающего мира, волатильной экономики и пандемий.
13. Управление знаниями в предметной области, междисциплинарный трансфер знаний, связность процессов информационного взаимодействия.
14. Построение уникальных систем из готовых и дополнительных компонент.
15. Возможность использования новых физических принципов.
16. Дополнение методологии, методов и инструментов сдельно-ориентированного системного инжиниринга.

Влияние технологий ПЦиПТ по отдельным группам эффектов представлено ниже.



Рисунок 12. Достижение принципиально новых потребительских характеристик

Представление о достижении новых потребительских характеристик через смену используемых материалов является устаревшим представлением о ПЦиПТ, потенциал применения новых производственных технологий, согласно зарубежным кейсам, реализуется за счёт придания изделиям из существующих материалов новых эксплуатационных свойств за счёт новых конструкций и изменения бизнес-моделей компаний производителей⁶³. Результаты опроса указывают на неполноту информирования экспертного сообщества о новых разработках в области ПЦиПТ.

⁶³ Challenges of Additive Manufacturing Why companies don't use Additive Manufacturing in serial production, 2021, Deloitte. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/Deloitte_Challenges_of_Additive_Manufacturing.pdf (дата обращения: 26.12.2021).



Рисунок 13. Возможность внедрения новых бизнес-моделей, основанных на цифровой трансформации

Современные IT-инструменты (системы обработки больших данных, ИИ и машинное обучение) оцениваются как технологии, которые способны дать новые бизнес-модели. Более низкие позиции цифровых двойников, вероятно, вызваны сложностью технологии и невысоким уровнем её популяризации.



Рисунок 14. Возможность кастомизации продукта

Согласно рис. 16 экспертное сообщество связывает возможность кастомизации, прежде всего, с аддитивным производством и новыми материалами.



Рисунок 15. Сокращение времени на разработку/производство продукции

Согласно рис. 17 цифровые двойники лидируют в сокращении времени на разработку/производство продукции.



Рисунок 16. Сокращение затрат на разработку/производство продукции

Выводы о сокращении времени и затрат на разработку, используя ПЦиПТ, показывают лидерство цифровых двойников технологических процессов и цифровых двойников изделий.



Рисунок 17. Возможность быстрого отклика на запрос рынка

Теоретически выстроенный ИИ оценивается как способный предугадывать и разрабатывать ответные меры на любое изменение на рынке. При этом пока что сообщество низко оценивает потенциал цифровых двойников изделий в ответе на запрос рынка.



Рисунок 18. Снижение издержек на ремонт и обслуживание

Цифровые двойники оцениваются (с большим преимуществом) как технология, которая помогает снижению издержек на ремонт и обслуживание, что связано, прежде всего, с имеющимися кейсами применения технологии.

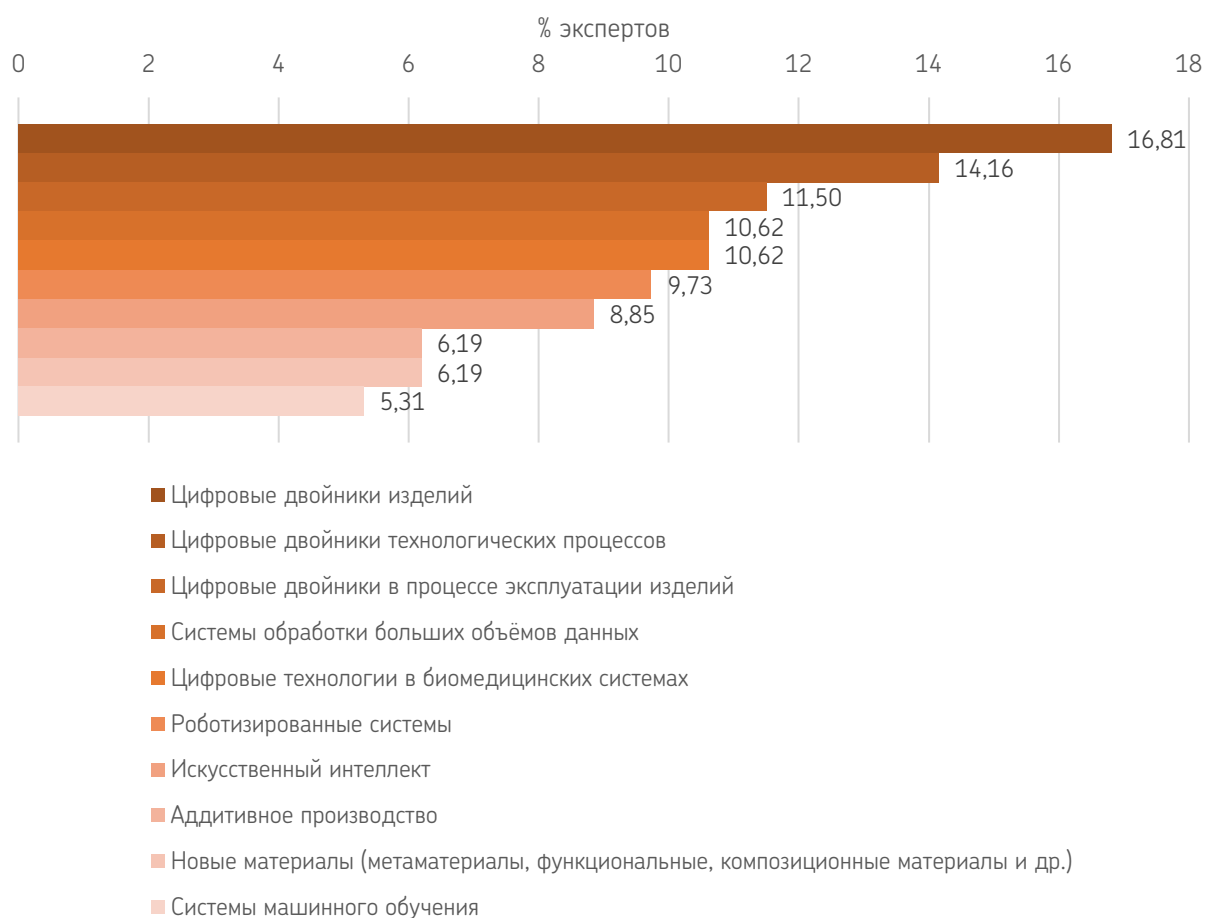


Рисунок 19. Важность технологий ПЦиПТ для цифровой трансформации

В качестве наиболее важных технологий для осуществления цифровой трансформации экспертным сообществом указываются цифровые двойники изделий, технологических процессов и изделий в процессе эксплуатации.

Инфраструктурные решения и инструменты отмечаются достаточно важными, но следуя результатам, текущий уровень данных технологий видится достаточным для осуществления цифровой трансформации.

Технологии-потребители цифровых решений (новые материалы, аддитивные технологии) указываются наименее важными для цифровой трансформации.

5.4. Ключевые барьеры цифровой трансформации в сфере передовых производственных технологий



Рисунок 20. Значимость основных барьеров внедрения ПЦиПТ, которые необходимо преодолеть к 2024 г.

Наиболее важными барьерами внедрения ПЦиПТ признаются нехватка квалифицированных кадров, способных использовать ПЦиПТ для решения практических задач, и проблемы нормативного характера, связанные с устаревшими отраслевыми нормами и регламентами, усложняющими сертификацию и вывод на рынок технологий ПЦиПТ.

В качестве ответа на один из барьеров внедрения ПЦиПТ был создан ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения», призванный частично снять нормативное давление и облегчить интеграцию ЦД на предприятиях промышленности, однако степень распространения и информированности промышленности о наличии профильного ГОСТ, хоть и велика (53% осведомлённых, см. рис. ниже), но требует мер по популяризации, разъяснению и трансляции практик применения.

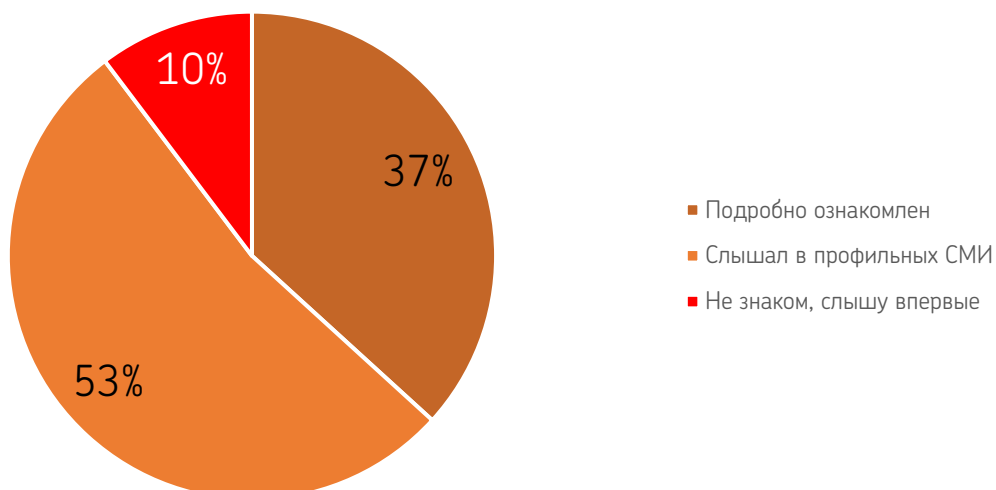


Рисунок 21. Степень осведомлённости о профильном ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»

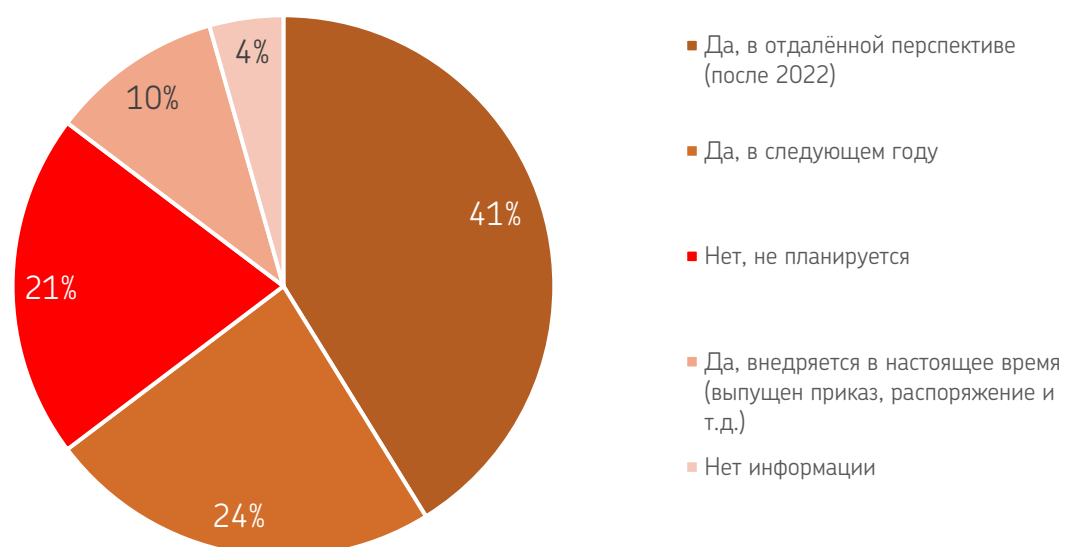


Рисунок 22. Планируется ли применение ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» в Вашей организации?

Экспертами – респондентами опроса предложен ряд шагов, которые можно предпринять для расширения использования ПЦиПТ в России:

1. Создание наукоёмкой промышленности.
2. Глобальная цифровая трансформация в максимальном количестве сфер жизнедеятельности человека, начиная с органов государственной и муниципальной власти, с использованием унифицированных форм для возможности использования во всех регионах.
3. Обучение высококвалифицированных кадров.
4. Создание специальных территориальных зон, свободных от налоговых сборов, для максимального распространения в данных зонах промышленных предприятий, на условиях продвижения цифровой трансформации.
5. Создания венчурного фонда путём объединения всех промышленников или создание государственного венчурного фонда из средств промышленных компаний.
6. Внедрение MBSE-подхода.
7. Оперативная подготовка специалистов в этой области.
8. Решение о переходе на новые принципы и организацию производства на уровне отраслевых нормативных.
9. Стимулирование через финансовые механизмы внедрение ПЦиПТ.
10. Создание высокотехнологичных рабочих мест, создание специализированных образовательных программ, отвечающих запросам современного трудового рынка.
11. Обеспечение доверия общества.
12. Создание электронной базы заказов на изделия.
13. Массовая просветительская работа и повышение уровня подготовки специалистов в области цифровых технологий.
14. Создание стека отечественных технологий цифровой трансформации.
15. Пересмотр образовательных программ, обновление стандартов, применение практик системной инженерии (для действительно системного, а не точечного внедрения)
16. Создавать консорциумы предприятий, вузов, НИИ и поставщиков ПО для совместного внедрения цифровых технологий.
17. Динамический контроль и ответственность уполномоченных кадров за итоги работы
18. Изменить мышление руководства и инженерно-технического персонала, повысить его цифровую культуру и, как следствие, понимание и уровень принятия новых технологических решений.
19. Информировать общество об удачных внедрениях технологий в реальной производсто.

- 20. Стандартизировать деятельность, предоставить возможность для масштабирования использования новых инструментов цифровой трансформации.
- 21. Нужны измеримые показатели внедрения.
- 22. Существенное обновление нормативно-правовой базы.
- 23. Создание новых требований к проектированию изделий (например, обязательное наличие цифрового двойника при государственной приёмке).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новая реальность предъявляет беспрецедентные требования к экономической эффективности, производительности труда, гибкости производственного предприятия. Ответом на эти требования может служить цифровая трансформация на базе пакета передовых цифровых и производственных технологий.

В экспертно-аналитическом докладе рассматривались экономические эффекты внедрения передовых цифровых и производственных технологий в России, преимущества развития ПЦиПТ и технологические, управленческие и нормативно-правовые вызовы, которые необходимо разрешить для успешной цифровой трансформации промышленности России.

Ядром доклада являются материалы, полученные в рамках дискуссий III Международного форума «Передовые цифровые и производственные технологии», который состоялся 1-2 декабря 2021 г., организаторами которого стали Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ) и его структурные подразделения – Научный центр мирового уровня «Передовые цифровые технологии» СПбПУ (НЦМУ СПбПУ) и Центр компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» СПбПУ (Центр НТИ СПбПУ). Форум прошел при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках национального проекта «Наука и университеты» и стал частью программы мероприятий Года науки и технологий.

В докладе:

- Рассмотрен контекст происходящей в мире цифровой трансформации.
- Сформулированы региональный и отраслевой контексты развития технологий.
- Зафиксирован сегодняшний статус по базовым направлениям передовых цифровых и производственных технологий (в первую очередь, цифровое проектирование и моделирование, новые материалы и аддитивные технологии, суперкомпьютерные технологии, искусственный интеллект).
- Проведён анализ экономических эффектов цифровой трансформации, а также приоритетных зон применения ПЦиПТ.
- Рассмотрен набор инструментов, которые способствуют скорейшему внедрению технологий (таких как трансфер технологий на предприятия промышленности, изменение в образовательной сфере и работа экспертных сообществ).
- Приведены результаты опроса экспертов в области ПЦиПТ: выявлены экономические эффекты внедрения этой группы технологий, проведена оценки уровней готовности к применению в разных отраслях, выявлены приоритетные и дефицитные технологические направления.

В результате проведённого анализа можно сформулировать следующие выводы:

- Для Российской Федерации ускоренная цифровизация промышленности и других реальных секторов экономики является одним из важнейших приоритетов для достижения глобальной конкурентоспособности национальной продукции и сервисов.
- Научные организации и промышленные лидеры экономики России обладают большим количеством разработок в области ПЦиПТ, находящихся на различных уровнях технологической готовности. Многие предприятия готовы к тестовому внедрению, проверкам в рамках технологических полигонов, однако механизмы кооперации между участниками рынка и научными организациями находятся в зачаточном состоянии, что существенно замедляет темпы широкого распространения применения ПЦиПТ в реальном секторе.
- ПЦиПТ имеют необычайно высокий потенциал применения в актуальных и перспективных отраслях промышленности, но пока сталкиваются с недостаточностью информационной поддержки и рядом нормативных барьеров, замедляющих распространение необходимых для внедрения подходов, методов и процессов, и, как следствие – цифровую трансформацию экономики и промышленности России.
- Требуется расширение и постоянная актуализация комплекса мер по популяризации, разъяснению и трансляции практик применения, валидации и адаптации новых технологий ПЦиПТ на предприятиях реального сектора.
- Наиболее важными барьерами внедрения ПЦиПТ признаются нехватка квалифицированных кадров, способных использовать ПЦиПТ для решения практических задач, и проблемы нормативного характера, связанные с устаревшими отраслевыми нормами и регламентами, усложняющими сертификацию и вывод на рынок технологий ПЦиПТ. В связи с этим особую значимость приобретает первый в мире профильный стандарт в области цифровых двойников – ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» и необходима дальнейшая работа по его продвижению и формированию практик отраслевого применения. По поручению Замминистра промышленности и торговли О. Н. Рязанцева во время форума стартовала работа по подготовке экспертных предложений по популяризации и масштабированию использования цифровых двойников на предприятиях России.

В качестве приоритетных шагов по развитию ПЦиПТ в России стоит обозначить усилия по созданию сообщества, задачей которого будет содействие распространению и внедрению научных разработок, устранение барьеров и актуализация нормативно-правовой базы, формирование новых требований к образовательным программам университетов и увеличение уровня информированности о возможностях ПЦиПТ.

Последовательная работа в данном направлении поспособствует цифровой трансформации экономики, повысит международную конкурентоспособность национальных товаров и услуг, улучшит инновационный климат страны.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. ДК «Технет 4.0» НТИ

В июне 2021 г. была обновлена концепция ключевого документа Рабочей группы «Технет» дорожной карты «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) НТИ, которая задала направление масштабной цифровой трансформации российской промышленности и сетевой вектор развития «Фабрик будущего». Документ поставил целью переход 250 предприятий России на применение технологий цифровых двойников к 2024 г. Дорожная карта «Технет 4.0» – действующий документ, она была утверждена на заседании Межведомственной рабочей группы НТИ 21 января 2021 г.

Принципами формирования новой редакции ДК «Технет 4.0» НТИ стали:

- Принцип преемственности в ДК «Технет» НТИ дорожных карт предыдущих этапов и направлений, связанных с развитием передовых производственных технологий.
- Согласование позиций участников направления «Технет» НТИ / координация государственных мер поддержки, направленных на развитие передовых производственных технологий с целью достижения синергетических эффектов.
- Поэтапное, системное развитие передовых производственных технологий и рынков от фундаментальных и прикладных исследований до реализации новых продуктов, услуг и решения проблем-вызовов, стоящих перед высокотехнологичной промышленностью.

Приложение 2. Зеркальные инжиниринговые центры

Зеркальные инжиниринговые центры – прогрессивный формат обмена компетенциями в области разработки и применения передовых цифровых и производственных технологий⁶⁴.

Зеркальный инжиниринговый центр (ЗИЦ) – способ организации партнёрского взаимодействия, обеспечивающий трансфер («отзеркаливание») компетенций в процессе выполнения проектов для высокотехнологичных отраслей промышленности и позволяющий тиражировать полученный успешный опыт.

Центр НТИ СПбПУ реализует программу по созданию и развитию зеркальных инжиниринговых центров:

- на базе российских образовательных организаций (университетские ЗИЦ, УЗИЦ);
- на базе промышленных корпораций (корпоративные ЗИЦ, КЗИЦ);
- на базе региональных операторов по решению технологических и инженерных задач промышленности (региональные ЗИЦ, РЗИЦ).



⁶⁴ Подробнее см. буклет о формате ЗИЦ: https://assets.fea.ru/uploads/files/MB_booklet_ALL_preview.pdf (дата обращения: 26.12.2021).

Результаты деятельности ЗИЦ:

- выполнение сложных научно-технических проектов (НИОКР);
- подготовка команды глобально конкурентоспособных специалистов;
- разработка цифровых двойников в рамках цифрового проектирования и моделирования высокотехнологичных изделий и технологических процессов.

Сотрудничество в формате ЗИЦ обеспечивает возможность быстро собирать проектные консорциумы и выстраивать взаимодействие с распределёнными носителями ключевых компетенций, объединяя интеллектуальные потенциалы и ресурсы промышленности, науки, образования и бизнеса.

Приложение 3. Примеры магистерских программ в рамках концепции Университета 4.0

Магистерская программа «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство»

Программа ориентирована на **опережающую подготовку научно-технических и инженерных кадров**, обладающих компетенциями мирового уровня в области современных компьютерных технологий создания новой техники, на основе интеграции фундаментального физико-механического и практико-ориентированного инженерно-технического образовательного процесса с исследованиями и разработками в рамках выполнения НИОКР в ИЦ «Центр компьютерного инжиниринга» по заказам предприятий высокотехнологичной промышленности.

Деятельность выпускников направлена на:

- Сопровождение жизненного цикла продукции машиностроения.
- Исследование производства и формирование предложений по его совершенствованию.
- Стратегическое управление процессами планирования производственных ресурсов и производственных мощностей.
- Стратегическое управление процессами организационной и технологической модернизации производства.
- Стратегическое управление процессами технического обслуживания и материально-технического обеспечения производства.

Профильные дисциплины:

- Техническое регулирование управления наукоёмкими производствами.

- Управление интеллектуальной собственностью при организации наукоёмких производств.
- Оптимизация процессов управления наукоёмкими производствами.
- Стратегическое управление созданием и развитием наукоёмкого производства.
- Управление жизненным циклом наукоёмкой продукции.
- Организация наукоёмкого производства.
- Логистика процессов управления наукоёмкими производствами.

Особенности обучения:

- передовое инженерное образование мирового уровня («инженерный спецназ»);
- возможность прохождения практики в Инжиниринговом центре «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ;
- стажировки в Европе;
- работа с реальными заказами высокотехнологичной промышленности России, Европы, Китая.

Профессии выпускников: инженер-расчётчик, ведущий инженер, инженер-конструктор, старший научный сотрудник, инженер-исследователь, менеджер проекта, технический директор, генеральный конструктор.

Магистерская программа «Организация и управление цифровыми наукоёмкими производствами»

Целью программы является подготовка специалистов в области производственного планирования и управления. Реализуется на базе холдинга «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ». Обучение проходит в связке с практическим производственным процессом. Магистратура доступна и для инженеров, и для экономистов.

Особенности обучения:

- деловые игры;
- участие в промышленных форумах;

- практические занятия с руководителями профильных комитетов;
- семинары с руководителями объединений промышленников: Торгово-промышленной палаты, Союза промышленников и предпринимателей, Ассоциации промышленных предприятий и других.

Магистерская программа «Организация и управление цифровыми наукоёмкими производствами» на базе НОЦ «Северсталь – Политех»

Программа нацелена на подготовку специалистов-инноваторов, ориентированных на внедрение инноваций в металлургической отрасли.

Ермаков Сергей, директор НОЦ «Северсталь – Политех»: *«Видя проблематику карьерного рынка в текущий момент, мы поняли, что и у «Северстали» есть потребность в кадрах по направлению организации цифрового наукоёмкого производства и его управления. Проанализировав свой опыт, мы поставили для себя цель создать образовательную программу, которая будет закрывать потребности партнёра в высококвалифицированных кадрах. Приёмная кампания магистерской программы «Организация и управление цифровыми наукоёмкими производствами», соответствующей основным критериям и запросам компании ПАО «Северсталь», стартует уже в 2022 г.»*

Особенности магистерской программы:

- Передовое инженерное образование мирового уровня;
- Занятия проводятся как преподавателями СПбПУ, так и сотрудниками предприятия;
- Возможность трудоустройства в ПАО «Северсталь»;
- Работа с реальными производственными задачами;
- Работа над инновационными проектами, выполняемыми в НОЦ.

Фокусировка программы – решение традиционных металлургических задач инновационными методами.

Образовательный курс «Школа коммуникаций в энергетике» совместно с ПАО «ТГК-1»

Курс специально разработан ПАО «ТГК-1» и Высшей школой медиакоммуникаций и связей с общественностью Гуманитарного института СПбПУ для студентов и магистрантов направления подготовки «Реклама и связи с общественностью».

Цель курса: содействовать подготовке специалистов по коммуникациям нового поколения, способных реализовывать стратегические коммуникации бизнес-процессов, сопровождать системные изменения в сфере технологического развития энергетической отрасли, управлять информационными потоками и антикризисными PR-кампаниями, а главное, способных обладать «опережающим видением» быстро меняющихся мировых процессов.

Образовательный интенсив, основанный на принципах практико-ориентированного подхода и направленный на освоение профессиональных компетенций будущих специалистов коммуникационной индустрии в сфере энергетики включает:

- мастер-классы;
- практические занятия с разбором кейсов;
- домашние задания;
- экскурсии на ТЭЦ;
- выполнение итогового аттестационного проекта в команде, который завершается публичной защитой.

Образовательный трек с АО «ТВЭЛ» в рамках магистерской программы «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство»

В рамках магистерской программы «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство» в 2020 г. был запущен совместный образовательный трек с ООО НПО «Центротех», ООО «Центротех-Инжиниринг», топливной компанией АО «ТВЭЛ», входящими в контур управления ГК «Росатом».

Фокус образовательного трека сосредоточен на обеспечении востребованными практическими навыками работы в производственном секторе и последующем трудоустройстве студентов в компании, решающие передовые инженерные задачи.

Одним из важных направлений развития ГК «Росатом» является цифровая трансформация, а именно переход к цифровому моделированию сложных мультидисциплинарных процессов, возникающих в различной продукции ядерного и неядерного назначения: тепловыделяющие сборки, газовые центрифуги, аккумуляторы, оборудование для нефтегазового сектора, установки для изготовления металлических порошков и, собственно, 3D-принтеры.

В период магистратуры студенты получают возможность участвовать в выполнении реальных актуальных НИОКР, выполняемых инженерами Инжинирингового центра CompMechLab® СПбПУ по заказам ООО НПО «Центротех», ООО «Политех-Инжиниринг» и АО «ТВЭЛ» госкорпорации «Росатом».

Ярким примером применения инструментов цифрового инжиниринга является проект по разработке цифрового двойника «Вибросита для системы очистки бурового раствора», выполненный специалистами Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) в 2018-2019 гг. Был разработан цифровой двойник конструкции, работающей в сложных динамических режимах работы (уровень средних виброускорений превышает 7g), сформирована матрица требований, целевых показателей и ресурсных ограничений, сгенерировано и проанализировано более 300 вариантов конструкции, обоснован выбор множества решений, удовлетворяющим требованиям технического задания, разработанные конструктивные решения учитывают особенности производства и обеспечивают конкурентную стоимость, проведена «материализация» цифрового двойника – производство изделия, пройдены межведомственные испытания и, наконец, успешный вывод изделия на высококонкурентный рынок. Разработанное Вибросито успешно работает в тяжёлых условиях 2,5 года.

Особенности обучения на треке:

- передовое инженерное образование мирового уровня («инженерный спецназ»);
- возможность прохождения практики в Инжиниринговом центре «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ;
- стажировки в Европе;
- работа с реальными заказами высокотехнологичной промышленности России, Европы, Китая.

Молекулярные и клеточные биомедицинские технологии на базе Института биомедицинских систем и биотехнологий (ИБСиБ) СПбПУ

Цель программы – подготовка будущих учёных в области биомедицинских систем и технологий для международного рынка труда. В целом программа направлена на изучение молекулярной и клеточной биологии с уклоном в вирусологию.

Предпосылками для создания новой программы стало развитие научной деятельности с международным уклоном: институт активно взаимодействует с такими всемирно известными университетами как Юго-западный медицинский центр Университета Техаса (США), Лондонский университет королевы Марии (Великобритания), Брюссельский

свободный университет (Бельгия), Шанхайский университет Цзяотун (Китай).

Ключевые дисциплины:

- основы молекулярной биологии;
- общая иммунология;
- молекулярная генетика;
- экспериментальные методы молекулярной биологии.

Читать лекции и проводить семинары будут как ведущие российские, так и зарубежные специалисты из Бельгии, Великобритании, США и других стран.

Уникальность программы заключается в сочетании физико-математических и медико-биологических дисциплин. В институте имеется хорошая лабораторная база для проведения практических и лабораторных занятий. Для прохождения научных практик будет задействована инфраструктура научных организаций-партнёров – НИИ гриппа им. А. А. Смородинцева и Петербургский институт ядерной физики (ПИЯФ), базовые кафедры которых созданы в Политехе.

Будущая работа выпускников по специальности направлена на изучение живых систем, вирусов, влияния их на человека, животных и растения, создание вакцин и поиска мишеней для лечения и диагностики. Выпускники смогут работать в научных исследовательских лабораториях, центрах, институтах и в биотехнологических компаниях.

Международная магистерская программа «Технологическое лидерство и предпринимательство»

Международная магистерская программа на английском языке «Technology leadership and entrepreneurship» ориентирована на подготовку технологических предпринимателей, а также внутрифирменных предпринимателей, которые отвечают за развитие инновационных процессов и проектов на промышленных предприятиях.

Во время обучения студентам предоставляется уникальная возможность создания и развития собственного инновационного проекта, который по окончании учёбы может стать полноценным бизнесом. Выпускная работа выполняется в формате технологического стартапа, консалтингового или исследовательского проекта.

Особенности обучения:

- обучение ведётся на английском языке;

- предлагаются индивидуальные траектории обучения по образовательным трекам «Технологическое предпринимательство» и «Внутреннее предпринимательство»;
- занятия проводят ведущие российские и иностранные преподаватели, тренеры и бизнес-ангелы;
- предоставляется возможность провести один семестр по обмену в одном из иностранных вузов-партнёров в Германии, Франции, Финляндии;
- возможны стажировки в ведущих высокотехнологичных компаниях: CML, BIOCAD, AGC;
- студенты могут принять участие в акселерационной программе.

Магистерская программа «Технологическое предпринимательство»

Цель: подготовка технологических предпринимателей, а также внутрифирменных предпринимателей, которые отвечают за внедрение и развитие инновационных процессов и проектов в крупных компаниях.

Студентам во время обучения предоставляется возможность создать и развить свой проект, который может в будущем стать основой их собственного бизнеса. Выпускная работа выполняется в формате технологического стартапа или консалтингового проекта. Студенты получают навыки командной работы над реальными бизнес-задачами в условиях бизнес-рисков, нестабильности и неопределённости.

Особенности обучения:

- обучение ведётся на русском языке;
- занятия проводят ведущие российские преподаватели, тренеры, бизнес-ангелы;
- возможны стажировки в CML и Российско-Германском Центре «Политех Strascheg»;
- студенты получают уникальный опыт работы в мультидисциплинарных командах с участием инженеров;
- студенты участвуют в акселерационной программе;

- программа предполагает акцент на самоопределении и целевом определении студентов посредством сквозных дисциплин, формирующих предпринимательское мышление.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Additive manufacturing trend report 2021 «3D printing market growth in the year of the COVID-19», 2021, HUBS. URL: <https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/4075618/Additive%20manufacturing%20trend%20report%202021.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).
2. Artificial Intelligence Market Size, Share & Trends Analysis Report By Solution, By Technology. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-market> (дата обращения: 26.12.2021).
3. BP Technology Outlook. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/what-we-do/bp-technology-outlook-2018.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).
4. Canada's Arctic and Northern Policy Framework. URL: <https://www.rcaanc-cimac.gc.ca/eng/1560523306861/1560523330587> (дата обращения: 26.12.2021).
5. Challenges of Additive Manufacturing Why companies don't use Additive Manufacturing in serial production, 2021, Deloitte. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/Deloitte_Challenges_of_Additive_Manufacturing.pdf (дата обращения: 26.12.2021).
6. China's 14th Five-Year Plan: A First Look. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11684> (дата обращения: 26.12.2021).
7. Cults. URL: <https://cults3d.com/en> (дата обращения: 26.12.2021).
8. Digital China: Powering the Economy to Global Competitiveness. McKinsey Global Institute, 2017. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/china/digital-china-powering-the-economy-to-global-competitiveness> (дата обращения: 26.12.2021).
9. Digital Twin Market Size By Application (Product Design & Development, Machine & Equipment Health Monitoring, Process Support & Service), By End Use (Manufacturing, Healthcare, Automotive, Aerospace & Defense, Energy & Utility, Infrastructure Buildings, Retail & Consumer Goods), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2021-2027. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-twin-market> (дата обращения: 26.12.2021).
10. Digital Twin Market size worth over USD 50 Bn by 2027. URL: <https://www.gminsights.com/pressrelease/digital-twin-market> (дата обращения: 26.12.2021).
11. Digitization, AI and Productivity. McKinsey Global Institute, 2018. URL: <https://www.oecd.org/sti/ind/digital-transformation-business-session-2-manyika.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).
12. Global Digital Twin Market By Type (System, Process and Product), By Application (Predictive Maintenance & Performance Monitoring, Business Optimization, Inventory Management, Product Design & Development and Others), By Industry (Automotive & Transportation, Residential & Commercial, Healthcare & Life Sciences, Manufacturing, Energy & Power, Agriculture, Retail & Consumer Goods and Others), By Regional Outlook, Industry Analysis Report and Forecast, 2021-2027. URL: <https://www.kbvresearch.com/digital-twin-market/> (дата обращения: 26.12.2021).
13. Global energy statistical yearbook. URL: <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html> (дата обращения: 26.12.2021).
14. Global High Performance Computing Market (2021 to 2026) – by Component, Infrastructure, Services, Price Band, HPC Applications, Deployment Types, Industry Verticals, and Regions. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20211116006109/en/Global-High-Performance-Computing-Software-Market-2021-to-2026---Growth-Trends-COVID-19-Impact-and-Forecasts---ResearchAndMarkets.com> (дата обращения: 26.12.2021).

15. Global Simulation and Analysis Software Market 2018–2022 URL: <https://www.technavio.com/report/global-simulation-and-analysis-software-market-analysis-share-2018> (дата обращения: 26.12.2021).
16. National Supercomputing Center of Tianjin. URL: <http://www.nsc-tj.gov.cn/en/> (дата обращения: 26.12.2021).
17. Notes From The AI Frontier. Insights From Hundreds Of Use Cases. McKinsey Global Institute. 2018. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-applications-and-value-of-deep-learning> (дата обращения: 26.12.2021).
18. Simulation and analysis market grows in 2020. URL: <https://www.controleng.com/articles/simulation-and-analysis-market-grows-in-2020/> (дата обращения: 26.12.2021).
19. Tech Soft 3D. URL: <https://www.techsoft3d.com/> (дата обращения: 26.12.2021).
20. The 14th Five-Year Plan: a high-speed roadmap for China. URL: <https://eias.org/op-ed/the-14th-five-year-plan-a-high-speed-roadmap-for-china/> (дата обращения: 26.12.2021).
21. The Additive Manufacturing Landscape 2020 Key insights and trends into the additive manufacturing market; AFMG, 2020. URL: <https://amfg.ai/whitepapers/the-additive-manufacturing-landscape-2020-report/> (дата обращения: 26.12.2021).
22. The Norwegian Government's Arctic Policy. URL: https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/arctic_policy/id2830120/#tocNode_43 (дата обращения: 26.12.2021).
23. Thingiverse. URL: <https://www.thingiverse.com/> (дата обращения: 26.12.2021).
24. Towards carbon neutrality and China's 14th Five-Year Plan: Green COVID-19 recovery, sustainable urban development and clean energy transition. URL: <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2021/02/Towards-carbon-neutrality-and-Chinas-14th-Five-Year-Plan.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).
25. Worldwide High Performance Computing Industry to 2026 - The Market is Driven Largely by Simulations, Engineering and Design Solutions. URL: <https://finance.yahoo.com/news/worldwide-high-performance-computing-industry-163000882.html> (дата обращения: 26.12.2021).
26. Андрей Белоусов провёл совещание о проектах-маяках на проектно-образовательном интенсиве «Архипелаг 2121». Агентство стратегических инициатив. URL: <https://asi.ru/news/183618/> (дата обращения: 26.12.2021).
27. Белоусов: инвестиции в технологические проекты в РФ в 2022–2024 гг. 652 млрд руб. ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/11938241> (дата обращения: 26.12.2021).
28. Буклет о формате ЗИЦ: https://assets.fea.ru/uploads/files/MB_booklet_ALL_preview.pdf (дата обращения: 26.12.2021).
29. В. Матвиенко. Россия должна стать одним из лидеров мировой экологической повестки. Совет Федерации. URL: <http://council.gov.ru/events/news/127202/> (дата обращения: 26.12.2021).
30. Воркута сменила хозяина: «Северсталь» спешно избавляется от угольных активов URL: <https://nevnov.ru/region/Syktvykar/917546-vorkuta-smenila-khozyaina-severstal-speshno-izbavlyaetsya-ot-ugolnykh-aktivov> (дата обращения: 26.12.2021).
31. Гончаров В. В., Поярков С.Ю. Арктика в 21 веке: возможен ли военный конфликт за обладание ею? // Арктика и Антарктика. – 2016. – № 2. – С. 131–137. DOI: 10.7256/2453-8922.2016.2.20356 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=20356 (дата обращения: 26.12.2021).
32. Государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 30 марта 2021 г. №484. URL: <http://static.government.ru/media/files/bIT1JdKAw1JWhBgHy1SAZikBRINmT3pG.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).

33. Интеллектуальные сети электроснабжения. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_\(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8\)#.D0.A2.D0.B5.D0.BD.D0.B4.D0.B5.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.B8_.D1.80.D0.B0.D0.B7.D0.B2.D0.B8.D1.82.D0.B8.D1.8F_.D0.BC.D0.B8.D1.80.D0.BE.D0.B2.D0.BE.D0.B9_.D0.B8_.D0.A0.D0.BE.D1.81.D1.81.D0.B8.D0.B9.D1.81.D0.BA.D0.BE.D0.B9_.D1.8D.D0.BD.D0.B5.D1.80.D0.B3.D0.B5.D1](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8)#.D0.A2.D0.B5.D0.BD.D0.B4.D0.B5.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.B8_.D1.80.D0.B0.D0.B7.D0.B2.D0.B8.D1.82.D0.B8.D1.8F_.D0.BC.D0.B8.D1.80.D0.BE.D0.B2.D0.BE.D0.B9_.D0.B8_.D0.A0.D0.BE.D1.81.D1.81.D0.B8.D0.B9.D1.81.D0.BA.D0.BE.D0.B9_.D1.8D.D0.BD.D0.B5.D1.80.D0.B3.D0.B5.D1) (дата обращения: 26.12.2021).
34. На Nobel Vision рассказали о проектах-маяках. Сколково. URL: <https://sk.ru/news/nobel-vision-proekty-mayaki/> (дата обращения: 26.12.2021).
35. Национальный проект «Экология». URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/> (дата обращения: 28.12.2021).
36. Обновлён рейтинг мощнейших суперкомпьютеров. Его лидер не изменился. URL: <https://www.ferra.ru/news/computers/obnovlyon-reiting-moshneishikh-superkompyuterov-29-06-2021.htm> (дата обращения: 26.12.2021).
37. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 г. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 г. №164. URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/f8ZpjhpAaQ0WB1zjywN04OgKil1mAvaM.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).
38. Официальный сайт Факультета цифровых промышленных технологий СПбМТУ, <https://www.smtu.ru/ru/viewfaculty/12/> (дата обращения: 26.12.2021).
39. Паспорт проекта «О мерах государственной поддержки создания и развития передовых инженерных школ в партнёрстве с высокотехнологичными компаниями», URL: <https://regulation.gov.ru/projects#npa=122132> (дата обращения: 26.12.2021).
40. «Передовые цифровые и производственные технологии»: ведущие эксперты обсудили экономические эффекты цифровой трансформации промышленности. URL: <https://fea.ru/news/7955> (дата обращения: 26.12.2021).
41. Перечень инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г. Утверждён распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 октября 2021 г. № 2816-п. URL: <http://static.government.ru/media/files/jwsYsyJKWGGQAAaCSMGrd7q82RQ5xECo3.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).
42. Полярные интересы. Коммерсант. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4836656> (дата обращения: 26.12.2021).
43. Постановление Правительства РФ от 16 июня 2021 г. № 916 «Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета грантов в форме субсидий на оказание государственной поддержки создания и развития центров трансфера технологий, осуществляющих коммерциализацию результатов интеллектуальной деятельности научных организаций и образовательных организаций высшего образования». URL: <http://static.government.ru/media/files/4nDnd4UfC1BDraEV3aT0dlFLQf2MnHLo.pdf> (дата обращения: 26.12.2021).
44. Правовой режим Арктики. URL: <https://archive.is/20130417111321/www.rgo.ru/2010/04/pravovoj-rezhim-arktiki/#selection-527.0-527.22> (дата обращения: 26.12.2021).
45. Программа «Цифровая экономика» URL: <https://digital.ac.gov.ru> (дата обращения: 26.12.2021).
46. Россия внезапно ворвалась в мировой топ самых мощных суперкомпьютеров. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-11-16_rossijskie_superkompyutery (дата обращения: 26.12.2021).
47. Сайт Национальной Ассоциации трансфера технологий, URL: <https://rusnatt.ru/> (дата обращения: 26.12.2021).
48. «Северсталь» с партнёрами прорабатывает производство «зелёного» водорода в Карелии URL: <https://tass.ru/ekonomika/12875583> (дата обращения: 26.12.2021).

49. «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.». URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fW032e2yA0BhtlpyzWfHaiUa.pdf> (дата обращения: 28.12.2021).
50. Семь картинок, «раскрывающих» новый облик Китая в 2025 г. URL: https://news.dayoo.com/china/202103/09/139997_53824191.htm (дата обращения: 26.12.2021).
51. Стандартизация. URL: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/standardization> (дата обращения: 26.12.2021).
52. Сто лет тому вперёд: прогнозы футурологов на Архипелаге 2121. Хабр. URL: https://habr.com/ru/company/2035_university/blog/570100/ (дата обращения: 26.12.2021).
53. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 26.12.2021).
54. Стратегия развития Арктической зоны России и обеспечения национальной безопасности до 2035 г. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033?index=31&rangeSize=1> (дата обращения: 26.12.2021).
55. Суперкомпьютер Fugaku. URL: <https://www.fujitsu.com/global/about/innovation/fugaku/> (дата обращения: 26.12.2021).
56. Третий Международный форум «Передовые цифровые и производственные технологии»: круглый стол «Цифровая трансформация ЖКХ и сферы природопользования» <https://fea.ru/news/7973> (дата обращения: 26.12.2021).
57. Цели в области устойчивого развития ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 26.12.2021).
58. Цифровые модели и двойники: почему за ними будущее и где учат с ними работать. URL: <https://vc.ru/education/294400-cifrovye-modeli-i-dvoyniki-pochemu-za-nimi-budushchee-i-gde-uchat-s-nimi-rabotat> (дата обращения: 26.12.2021).